

SUMMARY

GIUSEPPE DE GIOVANNI (EDITED BY)	<i>Editoriale</i> Editorial	3
GIORGIO GIALLOCOSTA	<i>Caratteri e Criticità di Innovazioni di Processo</i> Features and Critical Issue of Process Innovation	5
FRANCESCO ZURLO	<i>Designerly Way of Organizing. Il Design dell'Organizzazione Creativa</i> Designerly Way of Organizing. The Design of Creative Organization	11
PAOLO DE MARCO, ANTONINO MARGAGLIOTTA FRAN SILVESTRE	<i>Processo, Progetto e Architettura</i> Process, Project and Architecture	21
GIUSEPPE RIDOLFI, ARMAN SABERI	<i>Intelligenze Computazionali nel Progetto post-Ambientale. Esempi da MAILAB</i> Computational Intelligences in the post-Environmental Design. Examples from MAILB	31
ROSSELLA FRANCHINO, CATERINA FRETTOLOSO NICOLA PISACANE	<i>Tecnologia BIM e Innovazione Materiale. La Dimensione Ambientale</i> BIM Technology and Material Innovation. The Environmental Dimension	41
MARIA ANTONIETTA ESPOSITO, ALESSANDRA DONATO FILIPPO BOSI	<i>BIM e Pratiche Collaborative. Abilità e Competenze per l'Ambiente Digitale</i> BIM and Collaborative Practices. Expertise and Skills from the Digital Environment	51
CESARE SPOSITO, FRANCESCA SCALISI	<i>Innovazione di Materiali Naturali. Terra e Nanotubi di Argilla per una Sfida Sostenibile</i> Natural Material Innovation. Earth and Halloysite Nanoclay for a Sustainable Challenge	59
DANIELA BESANA, CLAUDIA FERRARI	<i>Costruire con la Plastica. Una Nuova Possibile Soluzione per l'Ambiente</i> Building with Plastic. A New Possible Solution for the Environment	73
SERENA BAIANI, PAOLA ALTAMURA	<i>Il Processo del Progetto per la Resource Productivity. Un Caso Studio</i> The Design Process towards Resource Productivity. A Case Study	81
SERGIO RUSSO ERMOLLI, GIULIANO GALLUCCIO	<i>Industrializzazione Edilizia e Prefabbricazione tra Materialità e Immaterialità</i> Building Industrialization and Prefabrication between Materiality and Immateriality	93
MARINA BLOCK, MASSIMO PERRICCIOLI MONICA ROSSI-SCHWARZENBECK	<i>Processi Digitali per la Riqualificazione dell'Edilizia Sociale in Plattenbau</i> Digital Processes for the Redevelopment of Social Housing in Plattenbau	101
ANTONIO MAGARÒ, ADOLFO F. L. BARATTA	<i>Machine Learning e Architetture Sicure e Inclusive per una Utente Fragile</i> Machine Learning and Safe and Inclusive Architecture for Fragile Users	109
CRISTINA CÀNDITO, MANUEL GAUSA MATILDE PITANTI, GIULIA SOLA	<i>Dati Open Source e Progetto Strategico per la Città Resiliente</i> Open Source Data and Strategic Project for Resilient City	117
CABIRIO CAUTELA, LUCIA RAMPINO	<i>Le Tipologie d'Innovazione nel Design. Analisi Critica di una Relazione Complessa</i> Design Innovation Typologies. A critical Analysis of a Complex Relationship	127
DARIO RUSSO	<i>Carattere Universale. Innovazione senza Stile</i> Universal Typeface. Innovation without Style	137
RAFFAELLA FAGNONI, CHIARA OLIVASTRI	<i>Hardesign vs Softdesign</i> Hardesign vs Softdesign	145
ROSSELLA MASPOLI	<i>Cemento ad Alte Prestazioni. Innovazione e Filiera per la Public Art e l'Arredo Urbano</i> High-Performance Concrete. Innovation and Supply Chain for Public Art and Urban Furniture	153
XUE PEI, FRANCESCO ZURLO	<i>Co-Design per il Rebranding di una Fondazione Italiana</i> Co-Design for Rebranding an Italian Foundation	161
MAURIZIO VRENNA, MATTHIEU CRÉTIER SIMON NELSON LANDÉN	<i>Monitoraggio Partecipativo dell'Aria Urbana con Apparecchi Open Source</i> Participative Urban Air Quality Monitoring Using Open Source Devices	167
MARIO BISSON, SHANTI A. ALBERTI DI CATENAJO STEFANIA PALMIERI	<i>MERLINO. Realtà Virtuale per la Stimolazione di Processi Neurocognitivi</i> MERLINO. Virtual Reality for Stimulation of Neuro-cognitive Processes	175
ANNALISA DI ROMA, ALESSANDRA SCARCELLI VINCENZA MINENNA	<i>RESTONED. Dalla Polvere di Scarto alla Pietra Sostenibile</i> RESTONED. From Waste Material to Sustainable Stone	183

5

PRO-INNOVAZIONE: PROCESSO PRODUZIONE PRODOTTO | PRO-INNOVATION: PROCESS PRODUCTION PRODUCT

AGATHÓN

PRO-INNOVAZIONE  
PROCESSO PRODUZIONE PRODOTTO

PRO-INNOVATION  
PROCESS PRODUCTION PRODUCT





Scientific Director  
GIUSEPPE DE GIOVANNI

Managing Editor  
MICAELA MARIA SPOSITO

International Scientific Committee

ALFONSO ACOCELLA (University of Ferrara, Italy), ROBERTO BOLOGNA (University of Firenze, Italy), TAREK BRIK (University of Tunis, Tunisia), TOR BROSTRÖM (Uppsala University, Sweden), JOSEPH BURCH I RIUS (University of Girona, Spain), JORGE CRUZ PINTO (University of Lisbon, Portugal), MARIA ANTONIETTA ESPOSITO (University of Firenze, Italy), EMILIO FAROLDI (Polytechnic University of Milano, Italy), GIOVANNI FATTA (University of Palermo, Italy), PIERFRANCO GALLIANI (Polytechnic University of Milano, Italy), ANDREAS HEYMOWSKI (Uppsala University, Sweden), MOTOMI KAWAKAMI (Tama Art University, Japan), JAVIER GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO (Polytechnic University of Madrid, Spain), WALTER KLASZ (University of Innsbruck, Austria), INHEE LEE (Pusan National University, South Korea), MARIO LOSASSO (University of Napoli, Italy), MARIA TERESA LUCARELLI (University of Reggio Calabria, Italy), ALICIA CASTILLO MENA (Complutense University of Madrid, Spain), RENATO TEOFILO GIUSEPPE MORGANTI (University of L'Aquila, Italy), OLIMPIA NIGLIO (Kyoto University, Japan), MARCO ROSARIO NOBILE (University of Palermo, Italy), ROBERTO PALUMBO (University of Roma, Italy), ROBERTO PIETROFORTE (Worcester Polytechnic Institute, USA), CARMINE PISCOPO (University of Napoli, Italy), PAOLO PORTOGHESI (University of Roma, Italy), PATRIZIA RANZO (University of Napoli, Italy), JAVIER GALEGO ROCA (University of Granada, Spain), DOMINIQUE ROUIL-LARD (National School of Architecture Paris Malaquais, France), LUIGI SANSONE (Art Reviewer, Milano, Italy), ANDREA SCIA-SCIA (University of Palermo, Italy), BENEDETTA SPADOLINI (University of Genova, Italy), CONRAD THAKE (University of Mal-ta), FRANCESCO TOMASELLI (University of Palermo, Italy), MARIA CHIARA TORRICELLI (University of Firenze, Italy).

Editor in chief  
CESARE SPOSITO (University of Palermo, Italy)

Editorial Board

MIGUEL BAPTISTA-BASTOS (University of Lisbon, Portugal), MARIO BISSON (Polytechnic of Milano, Italy), TIZIANA CAMPISI (University of Palermo, Italy), GENTUCCA CANELLA (Polytechnic of Torino, Italy), CLICE DE TOLEDO SANIAR MAZZILLI (University of São Paulo, Brazil), GIUSEPPE DI BENEDETTO (University of Palermo, Italy), ANA ESTEBAN-MALUENDA (Polytechnic of Madrid, Spain), RAFFAELLA FAGNONI (University of Genova, Italy), ANTONELLA FALZETTI (University of Roma, Italy), PEDRO ANTÓNIO JANEIRO (University of Lisbon, Portugal), MASSIMO LAURIA (University of Reggio Calabria, Italy), INA MACAIONE (University of Basilicata, Italy), FRANCESCO MAGGIO (University of Palermo, Italy), FRIDA PASHAKO (Epoka University of Tirana, Albania), ALEXANDER PELLNITZ (THM University of Giessen, Germany), PIER PAOLO PERRUCCIO (Polytechnic of Torino, Italy), DARIO RUSSO (University of Palermo, Italy), FRANCESCA SCALISI (DEMETRA Ce.Ri.Med., Italy), ZEILA TESORIERE (University of Palermo, Italy), ANTONELLA TROMBADORE (World Renewable Energy Network, UK), GASPARE MASSIMO VENTIMIGLIA (University of Palermo, Italy), FEDERICO WULFF (Cardiff University, UK), ALESSANDRA ZANELLI (Polytechnic of Milano, Italy).

Assistant Editor  
SANTINA DI SALVO (DEMETRA Ce.Ri.Med.)

Graphic Designer  
GIORGIO FARACI

Executive Graphic Designer  
ANTONELLA CHIAZZA, PAOLA LA SCALA

Web Editor  
PIETRO ARTALE

Il Journal è stampato con il contributo degli Autori che mantengono i diritti sull'opera originale senza restrizioni.  
*The Journal is published with fund of the Authors whom retain all rights to the original work without any restrictions.*

AGATHÓN adotta il sistema di revisione del double-blind peer review con due Revisori che, in forma anonima, valutano l'articolo di uno o più Autori. I saggi nella sezione 'Focus' invece non sono soggetti al suddetto processo di revisione in quanto i relativi Autori sono invitati dal Direttore Scientifico nella qualità di esperti sul tema trattato.

*The AGATHÓN Journal adopts a double-blind peer review by two Referees under anonymous shape of the paper sent by one or more Authors. The essays on 'Focus' section are not subjected to double-blind peer review process because the Authors are invited by the Scientific Director as renowned experts in the subject.*

AGATHÓN International Journal of Architecture Art and Design

ISSUES for year: 2

ISSN 2464-9309 (print) | ISSN 2532-683X (online)

Registrazione n. 12/2017 del 13/07/2017 presso la Cancelleria del Tribunale di Palermo  
*Registration number 12/2017 dated 13/07/2017 registered at the Palermo Court Registry*

Editorial Office  
c/o DEMETRA CE.RI.MED. | Via Alloro n. 3 | 90133 Palermo (ITA)  
E-mail: [redazione@agathon.it](mailto:redazione@agathon.it)

Promoter  
DEMETRA CE.RI.MED.  
Centro Documentazione e Ricerca Euro-Mediterranea | *Euro-Mediterranean Documentation and Research Center*

Publisher  
Palermo University Press | Viale delle Scienze | 90128 Palermo (ITA)  
E-mail: [info@newdigitalfrontiers.com](mailto:info@newdigitalfrontiers.com)

Finito di stampare nel Giugno 2019 da  
*Printed in June 2019 by*  
FOTOGRAF s.r.l. | viale delle Alpi n. 59 | 90144 Palermo (ITA)

AGATHÓN è un marchio di proprietà di Alberto Sposito  
*AGATHÓN is a trademark owned by Alberto Sposito*



Per le attività svolte nel 2018 relative al double-blind peer review process, si ringraziano i seguenti Revisori:  
*As concern the double-blind peer review process done in 2018, we would thanks the following Referees:*

ERNESTO ANTONINI (University of Bologna), EUGENIO ARBIZZANI (Sapienza University of Roma), VENANZIO ARQUILLA (Polytechnic University of Milano), GINEVRA BALLETO (University of Cagliari), ADOLFO BARATTA (University of Roma Tre), MARIO BISSON (Polytechnic University of Milano), GIULIA BONAFEDE (University of Palermo), IVANA BRUNO (University of Cassino), RICCARDO BUTINI (University of Firenze), ELIANA CANGELLI (Sapienza University of Roma), RENATO CAPOZZI (University of Napoli Federico II), ANNA CATANIA (University of Palermo), GIUSEPPE CENTAURO (University of Firenze), GUIDO CIMADOMO (University of Malaga), VALERIA D'AMBROSIO (University of Napoli Federico II), ANTONIO DI RAIMO (University of Portsmouth), PAOLA DE JOANNA (University of Napoli Federico II), ORIO DE PAOLI (Polytechnic University of Torino), MARIA CONCETTA DI NATALE (University of Palermo), EDOARDO DOTTO (University of Catania), MARIA ANTONIETTA ESPOSITO (University of Firenze), GIOVANNI FATTA (University of Palermo), BARBARA FERRI (University of Chieti-Pescara), MARIA CRISTINA FORLANI (University of Chieti-Pescara), EMILIA GARDA (Polytechnic University of Torino), MARIA LUISA GERMANÀ (University of Palermo), ANDREA GIACHETTA (University of Genova), MARINA GIORDANO (International High School G. Meli of Palermo), MATTEO IEVA (Polytechnic University of Bari), LUCA LANINI (University of Pisa), ROBERTO LIBERTI (University of Campania Luigi Vanvitelli), INA MACAIONE (University of Basilicata), ALESSANRO MERLO (University of Firenze), MARTINO MILARDI (University of Reggio Calabria), LUIGI MOLLO (University of Campania Luigi Vanvitelli), ANTONELLO MONSÙ SCOLARO (University of Sassari), ELENA MUSSINELLI (Polytechnic University of Milano), OLIMPIA NIGLIO (Kyoto University), EMANUELE PALAZZOTTO (University of Palermo), ROBERTO PALUMBO (Sapienza University of Roma), INGRID PAOLETTI (Polytechnic University of Milano), FRANCESCO PASTURA (University of Reggio Calabria), GABRIELLA PERETTI (Polytechnic University of Torino), SILVIA PERICU (University of Genova), CLAUDIO PIFERI (University of Firenze), MANUELA RAITANO (Sapienza University of Roma), GIUSEPPE RIDOLFI (University of Firenze), CHIARA RIZZI (University of Basilicata), SERGIO RUSSO ERMOLLI (University of Napoli Federico II), MARCO SALA (University of Firenze), PAOLA SCALA (University of Napoli Federico II), FILIPPO SCHILLECI (University of Palermo), PAOLO TAMBORRINI (Polytechnic University of Torino), ZEILA TESORIERE (University of Palermo), CRISTINA TONELLI (Polytechnic University of Milano), NICOLETTA TRASI (Sapienza University of Roma), GIUSEPPE TROMBINO (University of Palermo), ALBERTO ULISSE (University of Chieti-Pescara), THEO ZAFFAGNINI (University of Ferrara).



Il futuro e la realtà aumentata  
*The future of augmented reality*  
(credit: www.parametricdesign.com)



EDITORIALE di Giuseppe De Giovanni

L'inizio del terzo millennio ha avviato un'era di cambiamenti senza precedenti per le città, l'architettura e il design. Fattori economici, sociali e ambientali hanno stimolato e condizionato negli ultimi due decenni la ricerca e la produzione verso sostanziali cambiamenti di paradigma, orientandola verso nuove sfide per realizzare sistemi urbani, edifici e oggetti più intelligenti, più resilienti, più responsivi e adattivi, più efficienti e più sostenibili – dal nearly Zero Energy Buildings (nZEB) fino al Positive Energy Architecture (PEA) – progettati e realizzati più velocemente, con costi inferiori e con un impatto positivo sull'ambiente, sulla società, sulla salute e sulla produttività, in una parola più innovativi. È opinione condivisa che l'innovazione sia oggi più che mai lo strumento attraverso cui è possibile uscire dalla crisi economica globale, mirare alla prosperità economica e al miglioramento della qualità della vita, aumentare la produttività, favorire la competitività, sostenere la sfida della globalizzazione e della sostenibilità ambientale, sia essa di livello 'incrementale' (miglioramento di un processo produttivo già esistente) sia 'radicale' (tale da introdurre un nuovo metodo o sistema produttivo che non ha eguali nel passato).

Alla luce di quanto sopra, AGATHÓN si è proposta di affrontare il tema 'Pro-Innovazione | Processo Produzione Prodotto' con l'obiettivo di raccogliere saggi e riflessioni critiche, ricerche e sperimentazioni, progetti e realizzazioni (di nuove architetture, interventi di recupero e restauro, arte e design) che potessero costituire casi esemplari per innovazione, sostenibilità e inclusione sociale, declinando il tema sulla: 1) Innovazione di Processo, come sequenza e modelli di organizzazione, di gestione e di controllo delle fasi di processo, come metodologie operative (ideative, compositive/progettuali, produttive, realizzative, di esercizio, gestionali e di dismissione dell'opera/prodotto) dell'intero ciclo di vita del manufatto, come apparati normativi, nuove figure professionali e competenze tecniche, modalità di coinvolgimento degli operatori e degli utenti nei diversi step decisionali, ecc.; 2) Innovazione di Produzione, come strumenti funzionali all'ottimizzazione delle varie fasi del processo di produzione tra cui macchinari e robotica per la fabbricazione digitale (fresatura CNC, taglio al laser, stampa 3D, ecc.), per la prototipazione e per la prefabbricazione, relativa a software di analisi e di progettazione e simulazione (anche con realtà virtuale) CAD e CAM, BIM, digitale, parametrica, algoritmica e generativa, ambientale, strutturale, energetica e termica; tecniche e tecnologie costruttive d'installazione e di assemblaggio, ecc.; 3) Innovazione di Prodotto, come materiali/componenti/oggetti intelligenti, avanzati e compositi, riciclabili e sostenibili, nanostrutturati, a memoria di forma, a cambiamento di fase e autoriparanti, responsivi e adattivi, dal basso costo, dal contenuto impatto ambientale e dalle elevate prestazioni, come apparecchiature di automazione, di rilevamento, di gestione e di controllo per l'ottimizzazione delle prestazioni, come tecnologie 'passive' per involucri efficienti, tra cui i sistemi di ventilazione e raffrescamento naturale, di recupero, di stoccaggio e riciclo dell'acqua, di produzione di energie rinnovabili off-grid.

Queste le premesse della Call del numero 5 di AGATHÓN che chiedeva d'indagare con saggi e riflessioni critiche sui processi d'innovazione del prodotto e sull'innovazione del processo stesso. Nella sezione Focus, i saggi introduttivi riportano il personale contributo degli studiosi di chiara fama invitati. Nello specifico: Giorgio Giallocosta (Professore Ordinario di Programmazione e Organizzazione della Produzione presso il Dipartimento di Progettazione e Costruzione dell'Architettura di Genova), in relazione alle problematiche poste dagli attuali 'regimi di complessità' che caratterizzano il settore delle costruzioni, delinea alcuni caratteri, antefatti e criticità dell'innovazione di processo e di prodotto; Francesco Zurlo (Professore Ordinario in Industrial Design e afferente al Design Department del Politecnico di Milano) evidenzia come negli ultimi anni, all'interno del dibattito sul Design Thinking, emerga un interesse per la Creative Confidence la quale se da un lato agevola il superamento delle resistenze al cambiamento dall'altro richiede la creazione e l'assorbimento di codici e modelli culturali, l'assunzione, in sintesi, di una nuova 'cultura del progetto'.

L'insieme degli interventi selezionati per il presente volume raccoglie un quadro che copre le declinazioni e i vari aspetti richiesti dalla Call. A partire da un nuovo concetto di sistematizzazione del processo costruttivo e da una nuova visione e teorizzazione dei principi di serialità, di modularità e di standardizzazione, questo numero di AGATHÓN riporta contributi scientifici che indagano sulla gestione digitale del processo e sulla necessità di formare nuove figure professionali in grado di assolvere compiti e funzioni organizzative e gestionali. Altri contributi approfondiscono i temi: del life-cycle relativo alla modalità di selezione e di approvvigionamento dei materiali bio ed eco-compatibili; della sperimentazione di terra cruda migliorata con 'nanotecnologie verdi'; del riuso di materiali plastici; dello sviluppo dell'industria 4.0 nell'investigare sulle possibilità di coordinamento fra sistemi per la gestione integrata del processo progettuale (Building Information Modeling) e strumenti per la prototipazione rapida (Computer Aided Manufacturing); della sperimentazione di algoritmi di machine learning per l'apprendimento di reti neurali da BIM, finalizzato alla generazione di realtà aumentata; delle miscele cementizie UHPC (Ultra High Performance Concrete); dei dispositivi in grado di misurare gli inquinanti aerei e di riportarli in tempo reale su una mappa dettagliata ad accesso libero; del reimpiego di materiale di sfido lapideo.

Una varietà di proposte e di nuove visioni del processo, della sua gestione e della produzione edilizia, che indica nuove strade d'innovazione e di figure professionali, ma nello stesso tempo fanno riflettere anche sulla perdita (forse) di una conoscenza culturale e tecnologica che vedeva il progettista detentore di un sapere globale che oggi sembra essere sempre più frammentato.



EDITORIAL by Giuseppe De Giovanni

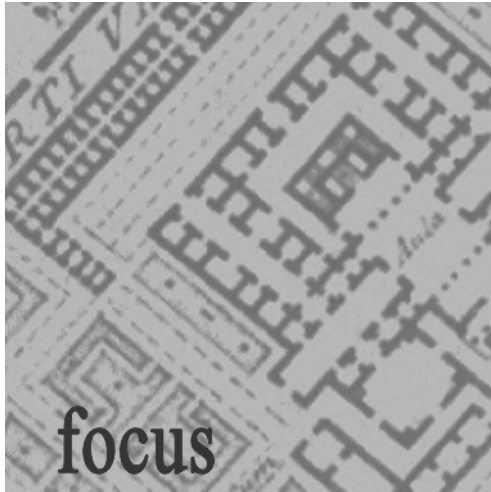
*The beginning of the third millennium has marked a period of unprecedented change for cities, architecture and product/visual design. Over the last two decades, economic, social and environmental causes have stimulated and conditioned research and production, directing them towards substantial paradigm changes, proposing new challenges to create more smart, more resilient, more responsive and adaptive, more efficient and more sustainable urban systems, buildings and objects – from nearly Zero Energy Buildings (nZEB) to Positive Energy Architecture (PEA) – designed and built faster, with lower costs and with a positive effect on the environment, society, health and productivity: more innovative, in a nutshell. It is a common knowledge that innovation is, now more than ever, the tool needed to recover from the global economic crisis, to aim for economic prosperity and quality of life improvement, to increase productivity, to foster competitiveness, to support the challenge of globalization and environmental sustainability, both at an ‘incremental’ level (improvement of an already existing production process) and ‘radical’ (to create a new unmatched method or production system).*

*In this regard, AGATHÓN deals with the subject of ‘Pro-Innovation | Process Production Product’ with the aim of collecting essays and critical reflections, researches and experiments, projects and creations (of new architectures, recovery and restoration interventions, art and product/visual design) that might be case studies for innovation, sustainability and social inclusion, describing the subject: 1) Process Innovation as sequence and organization models, management and control of the process stages, operating methodologies (ideational, design, productive, operational, management and of disposal of the work/product) of the whole life cycle of the artifact; regulations; new professional experts and technical skills; ways to involve professionals and users in the several decision-making stages, etc.; 2) Production Innovation, i.e. tools suitable for the optimization of the different stages of the production process including machines and robots for digital manufacturing (CNC milling, laser cutting, 3D printing, etc.), for prototyping and for prefabrication, relating to analysis and design/simulation software (also with virtual reality) CAD and CAM, BIM, digital, parametric, algorithmic and generative, environmental, structural, energetic and thermal; installation and assembly techniques and technologies, etc.; 3) Product Innovation, i.e. smart, advanced, composite, recyclable, sustainable, nanostructured, shape-memory, phase-change, self-repairing, responsive, adaptive, low-cost and high-performance materials/components/objects with a low environmental impact; automation, detection, management and control equipment for performance optimization; ‘passive’ technologies for efficient casings, including natural ventilation and cooling systems, water collection, storage and recycling, and off-grid renewable energy production.*

*This was the introduction of AGATHÓN’s Call Number 5, asking to investigate with essays and critical reflections on the innovation processes of the product and on the innovation of the process itself. In the Focus section, the introduction essays report the personal contribution of the renowned scholars we have invited. Specifically: Giorgio Giallocosta (Full Professor of Planning and Organization of Production at the Department of Architecture Design and Construction in Genoa) about the problems caused by the current ‘systems of complexity’ that characterize the building industry, he outlines some features, background and problems of the innovation of the process and product; Francesco Zurlo (Full Professor in Industrial Design and member of the Design Department of the Polytechnic University of Milan) highlights how, over the past few years, within the debate on Design Thinking, an interest in Creative Confidence has risen, which if, on the one hand, facilitates overcoming resistance to change, on the other, needs the creation and absorption of cultural codes and models, the assimilation, in a nutshell, of a new ‘project culture’.*

*The selected papers create a framework dealing with the subjects and the different aspects listed in the Call. Starting from the new concept of systematized building production and a new vision and theorization of the principles of seriality, modularity and standardization, this issue of AGATHÓN reports scientific papers that investigate the digital management of the process and the need to train new professionals able to perform organizational and managerial tasks and roles. Other papers deepen the subjects of: the life-cycle on the method of selection and obtaining bio and eco-compatible materials; the experimentation on rammed earth improved with ‘green nanotechnologies’; the re-use of plastic materials; the development of industry 4.0 in investigating the possibilities of coordination between the systems for the integrated management of the design process (Building Information Modeling) and tools for rapid prototyping (Computer Aided Manufacturing); experimentation on the machine learning algorithms for learning neural networks from BIM, aimed at generating augmented reality; of UHPC cementitious mixtures (Ultra High Performance Concrete); devices capable of measuring air pollutants and reporting them live on an open-access detailed map; the reuse of stone scrap material.*

*Many proposals and new visions of the process, its management and building production, showing new paths for innovation and professionals. But, at the same time, they also make us think on the (possible) loss of a cultural and technological knowledge that considered the designer as the one holding a global knowledge that nowadays seems to be increasingly fragmented.*



## CARATTERI E CRITICITÀ DI INNOVAZIONI DI PROCESSO

### FEATURES AND CRITICAL ISSUES OF PROCESS INNOVATIONS

Giorgio Giallocosta<sup>a</sup>

#### ABSTRACT

Innovazioni 'di processo' – inclusive (ma non sostitutive) di analoghe evoluzioni 'di prodotto' (e di ulteriori fattori con cui si dipanano attività di produzione e gestione dell'architettura) – rappresentano altrettante 'contromisure' alle problematiche poste dagli attuali 'regimi di complessità' che caratterizzano il settore delle costruzioni. Se ne delineano alcuni caratteri, antefatti e criticità.

'Process' innovations – inclusive (but not substitutive) of similar 'product' evolutions (and further factors with which unravel activities of architecture's production and management) – represent as many 'countermeasures' to the challenges posed by the current 'complexity's' that characterize the construction industry. Some features, background and critical issues are outlined.

#### KEYWORDS

processo, innovazione, caratteri, antefatti, criticità  
process, innovation, features, background, criticalities

In un intervento a un convegno svoltosi a Firenze nel 1997 (Costruire verso il 3° Millennio), i cui Atti venivano pubblicati successivamente (Buccolieri and Giallocosta, 1999), si osservava: il grande problema «[...] che abbiamo tutti, oggi, è sempre relativo a *come* organizzare il processo e il progetto di architettura [...] e poi: *come* si costruisce, come si sviluppa la tecnologia, ecc. [...] Quando si pensa al *come*, ma anche al *cosa*, si fa spesso riferimento a un processo edilizio che, per il fatto di essere stato studiato (e *rappresentato*), ci sembra essere un fenomeno modellato in maniera semplice, *lineare* appunto. Dato un problema – si potrebbe essere indotti a ritenere – basta fare riferimento a una serie di regole ormai conosciute, per chiarirne la natura e risolverlo; se la soluzione non è soddisfacente, o non è del tutto soddisfacente, basta procedere alla messa a punto di un *modello di processo* più preciso, in modo da renderlo – così – maggiormente idoneo per la volta successiva, e via di seguito [...] Come si costruirà, e cosa si costruirà nel terzo millennio? Anche di fronte a tali interrogativi, si può essere tentati di ritenere che previsioni in questo senso possano discendere da un modello di valutazione di tipo *lineare*: osservando come e cosa si fa oggi, si può immaginare come e cosa succederà domani [...] Anche la tecnologia del futuro potrebbe essere immaginata come uno sviluppo *lineare* di ciò di cui disponiamo oggi [...] Ma tutto ciò, forse, non è del tutto vero. La tradizionale linearità di processo edilizio, appunto, è ormai decisamente obsoleta» (Turchini, 1999, p. 76).

A una tale crisi di modello 'lineare', emblematica di uno scenario denso di significative diversificazioni dei mercati, di continui sviluppi di apparati tecnico-procedurali, ecc., poteva accomunarsi (come peraltro alcuni sostenevano in quegli anni)<sup>1</sup>, e in sinergia con la prima, un'altra (o quantomeno tendenziale) obsolescenza circa il 'tradizionale dualismo processo-prodotto', o fra l'Innovazione di Prodotto e l'Innovazione di Processo (con la seconda sempre più integrata con la prima, o addirittura 'inclusiva' di questa)<sup>2</sup>. Né le stesse euristiche del progetto di architettura, come parimenti si osservava<sup>3</sup>, palesavano significative estraneità a tali 'nuovi assunti paradigmatici': in particolare in alcune opere per esempio (la Hongkong & Shanghai Banking Corporation di Norman Foster negli anni 1979-1985, la Copertura dello Stadio Olimpico di Roma negli anni 1987-

1990, ecc.)<sup>4</sup>, emblematiche della messa a punto di strategie costruttive ad hoc (vere e proprie 'innovazioni di processo', dunque), si fruisce di queste ultime non solo in termini 'meramente esecutivi', ma anche come 'esplicitazioni formali' degli esiti conseguiti (Falotico, 2003).

Ancora oggi, permane la notevole importanza di quelle innovazioni 'organizzative', o 'di processo' (metodologie operative, di controllo, ecc.). Parimenti le stesse (sintomatiche per esempio appaiono le attività gestionali e operative nelle diverse fasi di manutenzione delle opere durante i rispettivi cicli di vita), pur includendole, non esaurano tuttavia innovazioni tecniche 'di prodotto' (nanostrutturati, materiali o componenti a memoria di forma, automanutentivi, ecc.). Su questo però, come si vedrà, permangono significativi nodi critici.

*Caratteri e antefatti della Innovazione di Processo* – Si legge, nella parte introduttiva a un recente contributo inerente tematiche paesaggistiche: già da tempo, il pensiero architettonico «[...] si trova dinanzi a una sfida. La necessità di fare del paesaggio un oggetto definito e aperto al movimento [...] richiede un deciso ripensamento dell'idea stessa di progetto che soprattutto evolva [...] superando retaggi tradizionalisti e rigide tutele» (Facciolongo, 2018, p. 25). E inoltre: l'approccio sistemico, per esempio, è «[...] una metodologia che afferma la necessità di estendere il lavoro progettuale oltre il progetto stesso [...] Più che al prodotto, insomma, si rende necessario fare riferimento alle sue procedure e alle sue codificazioni» (Facciolongo, 2018, pp. 25, 26).

In tal senso, e con opportuna trasposizione da ambiti prettamente paesaggistici, quella 'idea stessa di progetto che evolva superando retaggi tradizionalisti', proiettandolo oltre deterministiche prefigurazioni di quanto 'contestualmente' atteso<sup>5</sup>, compendia uno dei tratti salienti (ancorché non recentissimi) degli attuali 'regimi di complessità' in architettura. Le questioni della 'gestione dell'obsolescenza dell'opera architettonica'<sup>6</sup>, e dunque del suo 'ciclo di vita', per esempio, rappresentano necessità ormai ineludibili (soprattutto a fronte del crescente dinamismo e complessità delle prestazioni attese, o di quelle opportunità e opzioni tecnologiche oggi disponibili, ecc.) di una significativa 'estensione', concettuale e operativa, dello stesso progetto di architettura. Quest'ultimo in effetti sempre più si dispiega, quantomeno nei



Fig. 1 - Contour crafting (credit: [www.123rf.com/photo\\_16528092\\_abstract-word-cloud-for-contour-crafting-with-related-tags-and-terms.html](http://www.123rf.com/photo_16528092_abstract-word-cloud-for-contour-crafting-with-related-tags-and-terms.html)).

suoi approcci esperienziali migliori, secondo evoluzioni non più tradizionalmente perimetrabili a indicazioni ‘semplicemente’ concernenti la ‘costruzione delle opere’, quanto anche inerenti ad ambiti relativi alle fasi ‘a monte’ e ‘a valle’ della stessa, coinvolgendo per esempio adeguamenti e/o miglioramenti di predisposizioni organizzative, manutenzioni programmate, ecc., e dunque interi cicli di vita (fino alla ‘gestione dell’obsolescenza’, appunto, e alla dismissione)<sup>7</sup>: è quanto peraltro può ascrivere a una certa analogia con quel concetto di ‘miglioramento continuo’, tipico (e ben oltre varianti sostanzialmente terminologiche) della Teoria della Qualità.

In questo senso il ‘progetto di architettura’ evolve, quantomeno nelle esperienze migliori, dai tradizionali confini di ‘fatticità del suo presente’ verso ‘dinamiche più ampie’ (Facciolongo, 2018), implementando definizioni costantemente ‘in fieri’ dell’idea progettuale, e così ‘assecondando’ l’attualità di quel ‘modello non lineare di processo edilizio’ e di assetti maggiormente sinergici fra Innovazioni di Processo e Innovazioni di Prodotto (e fra accezioni di ‘project’ e ‘design’)<sup>8</sup>, e con le prime sempre più ‘inclusive’ delle seconde<sup>9</sup>: ottimizzazioni ‘organizzative’ per esempio, o predisposizioni a perfezionamenti nelle modalità esecutive di parti d’opera (si pensi, fra le altre, alle tematiche inerenti la sicurezza nei cantieri), o mitigazioni di impatto ambientale, ecc., sempre più ‘determinano’ orientamenti nelle stesse innovazioni ‘di prodotto’. Anche le innovazioni ‘adattive’ (prodotti, ma anche attrezzature, servizi, ecc., provenienti da altre realtà produttive) non possono prescindere evidentemente da idonei sviluppi di quelle fasi di processo dei settori verso cui migrano, o quantomeno (appunto) da ‘adattamenti’ alle stesse (e naturalmente ai requisiti posti); i ritardi (più o meno accentuati) nel perseguimento di tali adattabilità, o in quelle innovazioni di processo di cui necessitano, causano in effetti – soprattutto nel settore delle

costruzioni – ritmi analogamente lenti nell’affermazione di nuove offerte adattive.

In particolare in edilizia, peraltro, non si accettano acriticamente tali tipologie di innovazione, spesso dilazionandole o addirittura rifiutandole; per «[...] fare un esempio ci si può riferire al tentativo che il settore siderurgico sta operando da oltre cent’anni in Italia per persuadere il settore delle costruzioni a impiegare l’acciaio per la costruzione delle strutture degli edifici e, più in generale, dei componenti per l’edilizia; a dispetto di questi tentativi, il settore dell’edilizia continua a impiegare in termini massicci soltanto il tondino d’acciaio e la rete metallica, lasciando ai margini del grande mercato delle costruzioni le lamiere grecate di solaio [...] le travi reticolari [...]» (Sinopoli, 2002, p. 11). Opportunità offerte da avanzamenti tecnologici in molteplici settori produttivi – si pensi per esempio ai nanostrutturati, o ai materiali compositi a base polimerica, ecc. – dunque, o necessità insite in dinamiche esigenti, possono naturalmente determinare orientamenti evolutivi verso nuovi prodotti e componenti edilizi che però richiedono – per apprezzabili affermazioni di mercato (e come già brevemente esposto) – idonei sviluppi (organizzativi, metodologici, ecc.) quantomeno delle fasi processuali pertinenti, e compatibilità con i ritmi di ‘sedimentazione dell’innovazione’ peculiari al settore delle costruzioni.<sup>10</sup>

La particolare enfasi (seppure spesso implicita) che soprattutto oggi rivestono tematiche di innovazioni di processo, tuttavia, deriva fondamentalmente da difficoltà, ancora per certi aspetti sussistenti, di adeguata comprensione delle fenomenologie caratterizzanti lo scenario edilizio contemporaneo (disomogeneità dello stesso, frammentazione dei mercati, ecc.): scenario, che ormai da decenni viene ricorrentemente definito ‘complesso’. È evidente infatti, quantunque per certi versi ‘attribuibili’ a complicità intrinseche a fenomenologie in atto, come i caratteri di comples-

sità di queste ultime dipendano ‘anche’ da inadeguatezze più o meno accentuate dei relativi schemi interpretativi e di gestione.

Per alcuni, «[...] è forse proprio nell’esplosione obbligata del *grande* che la nostra epoca finisce poi [‘contestualmente’ – nda] per caratterizzarsi come *complessa*. E [...] appare singolare questo automatico collegamento fra grande e complesso, in quanto ogni manifestazione del grande costituisce, generalmente, il risultato di una somma di fenomeni più piccoli, in interazione fra loro [...] Proprio il momento interattivo rende difficile la gestione delle singole situazioni [...] Si deve cercare di esaminare i fenomeni complessi sotto un aspetto metodologico di tipo sistemico osservandoli come un aggregato di eventi semplici, elementari, ciascuno dotato di sufficiente autonomia in grado però di dar vita a un proprio *campo* di interazioni interpenetrato con altri *campi* originati dagli altri organismi [...] In sostanza ci si deve abituare ad affrontare lo scenario complesso in termini di *macroscopio*, la divertente notazione semantica di Joël de Rosnay inventata per esprimere la necessità di osservare l’infinitamente complesso attraverso nuovi metodi sia di natura logica, in grado di individuare i vari poli elementari e le loro sfere di autonomia, sia di natura sistemica per inquadrare in forma ordinata le interazioni che si generano, rendendo di fatto *complessa* la loro aggregazione [...] Nuovi strumenti del pensiero che fanno da contrappunto agli strumenti meccanici che i nostri avi inventarono per l’analisi dell’infinitamente piccolo (microscopio) o dell’infinitamente grande (telescopio)» (Dioguardi, 1995, pp. 67-69).<sup>11</sup>

Fra gli ulteriori antefatti inoltre, uno in particolare concerne quella ‘innovazione’ di processo relativa a tematiche manutentive. Già Thomas More, nella sua celebre Utopia (1516?), ne segnalava l’importanza e i vantaggi conseguibili: in Utopia «[...] dove tutto è ben disposto e lo Stato è in ordine, ben di rado succede che uno vada in cerca di una nuova area per porvi casa; ivi non solo si provvede rapidamente ai guasti, via via che si presentano, ma si ovvia anche a quelli possibili. Così avviene che con pochissima fatica le costruzioni vi durano molto a lungo, e gli operai di tal fatta a volte non hanno gran che da fare; salvo che intanto non venga loro ordinato di piallar legname in bottega o squadrar pietre e approntarle, acciocché, se capita una fabbrica, possa elevarsi al più presto» (Moro, 1996, pp. 67, 68).

*Criticità* – In molteplici segmentazioni di mercato, e non solo nel settore delle costruzioni, innovazioni di processo (concernenti per esempio gli ambiti dei ‘servizi al prodotto’, quali reti post-vendita, organizzazioni per la pianificazione e l’esecuzione di cicli di monitoraggio, ecc.), se non idoneamente gestite soprattutto in riferimento alle necessarie sinergie con le analoghe evoluzioni in ambiti progettuali, produttivi, ecc. (e spesso anche a causa di malintese ‘politiche di marketing’), determinano di fatto anomalie – e dunque effetti di ‘non qualità’ – durante i cicli di vita dei manufatti. Emblematico è quanto per esempio avviene nei mercati cosiddetti ‘avanzati’ – informatica, telematica, ecc. – spesso contraddistinti da farraginosità nell’attivazione dei servizi di assistenza (e non di raro, nelle stesse procedure per la fruizione delle prestazioni), costi frequentemente non proporzionati rispetto a quanto atteso, e soprattutto ‘strategie di marketing’ di fatto



Fig. 2 - Arno Schlüter, Adaptive solar façade prototype including soft robotic actuators (credit: [www.ita.arch.ethz.ch/chairs/architecture-and-building-systems.html](http://www.ita.arch.ethz.ch/chairs/architecture-and-building-systems.html)).



Fig. 3 - Bim Process Management (credit: [www.ellison.com/subservice/bim-process-management/](http://www.ellison.com/subservice/bim-process-management/)).

acceleratrici di obsolescenze<sup>12</sup>. Anche nel settore delle costruzioni – seppure con talune mitigazioni – possono rilevarsi analoghe criticità, soprattutto negli ambiti dell’impiantistica e in particolare della domotica. Anche qui, in effetti, le stesse attività ‘manutentive’ spesso debordano peraltro in comportamenti o ‘strategie’ di tipo ‘usa e getta’ – è il caso per esempio di avarie in impianti di condizionamento, aereazione forzata, ecc., ma anche del cattivo funzionamento di infissi, di lacune prestazionali che insorgono in componenti di pareti gessate, pareti attrezzate, ecc. – che di fatto vanificano asseriti obiettivi di ‘affidabilità’, ‘sostenibilità’, o altro. In tal senso dunque ‘innovazioni di processo’, inclusive di ‘innovazioni di prodotto’, non esauriscono le seconde (come già osservato) ma, se non idoneamente perseguite e condotte, ne vanificano le potenzialità.

Ulteriori nodi critici concernono discrasie ancora ricorrenti fra istanze di ‘modernizzazione’ e ‘valorizzazione’ di preesistenze (particolarmente quelle portatrici di valori, anche potenziali), e delle relative implicazioni procedurali. Si osserva, per esempio, come i ‘valori’ attribuiti (o attribuibili) ai patrimoni esistenti non possano prescindere anche dal riconoscimento dalle propensioni di questi ultimi a idonei usi e funzioni: ma «[...] qui emerge quella persistente dicotomia tra *valore d’uso* e *valore culturale* delle preesistenze che ancora condiziona prassi operative correnti» (Giallocosta, Lanza, Pirlone and Ugolini, 2017, pp. 15, 16); in effetti, spesso si evince una «[...] sostanziale dualità di atteggiamento che traduce [...] dicotomie ancora persistenti fra *valori d’uso* (o posizionali, ecc.) e *sedimentazioni* (di tipo *testimoniale*, *documentale*, ecc.), con tendenziale prevalenza dei primi nella determinazione dei relativi valori di mercato [...]» (Giallocosta, Lanza, Pirlone and Ugolini, 2017, p. 17).<sup>13</sup>

Né a una tale malintesa accezione di ‘modernizzazione’ possono ritenersi estranee consuetudini procedurali di pianificazione e gestione dei ter-

ritori: qui in effetti, pur attribuendosi caratteri distintivi di ‘valore d’uso’ e ‘valore culturale’ (quantomeno nelle esperienze migliori), spesso – e salvo ‘forse’ per quei brani portatori di peculiarità riconosciute e formalizzate (storiche, artistiche, ecc.) – se ne obliterano significative sinergie. Queste ultime invece, che per esempio intercorrono fra ‘identità di luogo’ ed esigenze di trasformazione, andrebbero piuttosto validate ‘interpretando’ i ‘significati’ delle prime (simbolici, documentali, ecc.) e assumendone ‘vincoli e propensioni modificatrici’: in tal modo, anziché quasi esclusivamente sulla base delle risorse disponibili (e spesso anche in funzione di modelli di pianificazione che sostanzialmente reiterano vecchie impostazioni di ‘zoning’), prassi operative coerenti dovrebbero piuttosto programarsi e graduarsi ‘anche’ in relazione a quei ‘vincoli e propensioni’ (opere previste, tipologie di intervento, ecc.). Si tratta dunque di esigenze di perfezionabilità procedurali, che ancora implicano innovazioni attese ‘di processo’ nella pianificazione e gestione dei territori (soprattutto in chiave modificatrice, ma non obliteratrice, di assetti preesistenti).

*Conclusioni* – Caratteri e criticità di ‘innovazioni di processo’ compendiano alcuni fra i principali fattori in cui si dipanano i ‘regimi di complessità’ di era contemporanea. Similmente ne rivelano attualizzazioni di antefatti, e chiariscono implicazioni circa prassi operative e propri dispiegamenti.

Anche su queste ultime, ovviamente, si concentrano quei nodi critici che possono minarne l’efficacia. È però importante rimarcare come tali criticità influenzino negativamente soprattutto la qualità attesa delle prestazioni erogate. Ne conseguono necessità di ulteriori sviluppi nelle innovazioni di processo, e che in particolare obliterino quelle (e ulteriori) discrasie di cui qui si è trattato. Ma per questo occorre una maggiore consapevolezza circa l’importanza dei rapporti sinergici che una reale Innovazione di Processo attiva e gesti-

sce in ‘altri ambiti’ (prodotto, produzione, ecc.).

#### ENGLISH

*In a speech at a conference held in Florence in 1997 (Costruire verso il 3° Millennio), whose Deeds were subsequently published (Buccolieri and Giallocosta, 1999), it was observed: the great problem «[...] that we all have, today, always concerns how to organize the process and the project of architecture [...] and then: how to build, how technology is developed, etc. [...] When we think of how, but also of what, we often refer to a building process that, due to the fact that it has been studied (and represented), seems to be a phenomenon modeled in a simple, linear way. To identify the nature of a problem and resolve it, one could be led to believe that it’s enough to refer to a series of known rules; if the solution is not satisfactory, or is not entirely satisfactory, it is sufficient to proceed with the development of a more accurate process model, to make it suitable for the next time, and so on [...] How will it be built, and what will be built in the third millennium? Even in the face of these questions, one might be tempted to assume that predictions in this sense can derive from a linear evaluation model: observing how and what is done today, it’s possible to imagine how and what will happen tomorrow [...] Even the technology of the future could be imagined as a linear sequence of what we have today [...] But all this, perhaps, is not entirely true. The traditional linearity of construction process became significantly obsolete» (Turchini, 1999, p. 76).*

*To such a crisis of ‘linear’ model, emblematic of a scenario full of significant market diversifications, of continuous developments of technical-procedural apparatuses, etc., could be joined (as some claimed in those years)<sup>1</sup>, and in synergy with the first, a similar (or at least tendential) obsolescence about the ‘traditional process-product dualism’, or between Product Innovation and Process Innovation (with the second increasingly integrat-*





Fig. 4 - Pop-Up House: the passive house is ready in 4 days (credit: [www.ingenio-web.it/3239-pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni](http://www.ingenio-web.it/3239-pop-up-house-la-casa-passiva-pronta-in-4-giorni)).

ed with the first, or even 'inclusive' of it)<sup>2</sup>. Neither the heuristics of the architectural project, as observed<sup>3</sup>, revealed noticeable extraneousness to these 'new paradigmatic assumptions': in particular in some works for example (the HongKong & Shangai Banking Corporation of Norman Foster in the years 1987-1985, the Coverage of the Olympic Stadium in Rome in the years 1987-1990, etc.)<sup>4</sup>, emblematic of the development of specific constructive strategies (real 'process innovations'), these strategies are used not only in 'merely executive' terms, but also 'formal' of of the results achieved (Falotico, 2003).

Even today, the considerable importance of those 'organizational' or 'process' innovations (operational methodologies, control methodologies, etc.) remains. Likewise these innovations (for instance, management of operational activities seems to be symptomatic in the various phases of maintenance during life cycles of buildings), do not weaken the 'product' technical innovations (nanostructured, materials or components with shape memory, self-maintenance of components, etc.), even incorporating them. However on this point, as shown below, there are still significant critical nodes.

**Features and background of the Process Innovation**  
– In the introduction to a recent contribution concerning landscape issues, it's written: for some time now, architectural thought «[...] is facing a challenge. The landscape need to become an object defined and open to movement [...] and this requires a deep redefinition of the very idea of project, that above all evolves [...] overcoming traditionalist legacies and rigid protections» (Facciolongo, 2018, p. 25). Moreover: the systemic approach, for example, is «[...] a methodology that affirms the need to extend the design work beyond the project itself [...] In short, rather than just to the product it is necessary to refer to its procedures and its codifications» (Facciolongo, 2018, pp. 25, 26).

In this sense, and with appropriate transposition from purely landscape areas, that 'very idea of project that evolves overcoming traditionalist legacies', projecting it beyond deterministic pre-figurations of what is 'contextually' expected<sup>5</sup>, summarizes one of the salient features (even if not

very recent) of the current 'systems of complexity' in architecture. The issues about 'managing the obsolescence of the architectural work'<sup>6</sup>, and therefore about its 'life cycle', for example, make it crucial a significant 'extension', conceptual and operative, of the architectural project itself (especially as a consequence of the growing dynamism and complexity of the expected performances, or of those opportunities and technological options available today, etc.). And the architectural project, on its best experiential approaches, is increasingly unfolded in evolutions that are no more just narrowed to the concept of 'construction of works' – according to the tradition – but extended to areas related also to the 'upstream' and 'downstream' phases, involving for example adaptation and/or improvements of the preparing organizational procedures, programmed maintenances, etc., so a whole life cycle (up to the 'obsolescence management', and the dismantling)<sup>7</sup>: this can be ascribed to a sort of analogy with the idea of 'ongoing improvement' so typical (and well over essentially terminological variants) of the Theory of Quality.

In this sense, at least in the best experiences, the 'architectural project' evolves from the traditional boundaries of 'facticity of its present' towards 'larger dynamics' (Facciolongo, 2018), implementing definitions of the project idea that are constantly 'in fieri', and thus 'pandering' the topicality of that 'non-linear model of building process' and of greater synergetic arrangements between Process Innovations and Product Innovations (and between the meanings of 'projects' and 'design')<sup>8</sup>, where the former become more and more 'inclusive' of the seconds<sup>9</sup>: 'organisational' enhancement, for instance, or predispositions to improvements in execution modalities whereby parts of the work are carried out (just to think, one of many, a topics relating building site safety), or environmental impact mitigation etc., 'determine' more and more orientations in the 'product' innovations themselves. Even the 'adaptive' innovations (products, but also equipment, services, etc., from other productive realities) cannot depart from suitable developments of the various phases of the process in the sectors they migrate towards, or at least from 'adaptations' to this phases (and to requirements they set); any lag (more or less pro-

nounced) in pursuing that adaptabilities, or in that process innovations they need, actually provokes as consequence corresponding slow rhythms in the new adaptive offers achievement (especially in the construction sector).

Moreover, in construction, these types of innovation are not accepted uncritically, often delaying them or even refusing them; to «[...] give an example we can refer to the attempt that the steel industry has been operating for over a hundred years in Italy to persuade the construction sector to use steel for the construction of building structures and, more generally, of building components; in spite of these attempts, the building sector continues to use in massive quantities exclusively the steel rod and the wire mesh, leaving the corrugate steel slab sheet [...], the truss work girders [...] at the margins of the market» (Sinopoli, 2002, p. 11). Opportunities offered by technological progress in several productive sectors – for instance nanostructured materials, or polymer-based composite materials, etc. – or necessities contained in demand dynamics, may lead developing of new products and building components which – for appreciable market assertions (and as already briefly explained) – require appropriate (methodological, organizational, etc.) developments of each pertinent stage of the process, and suitability with the 'sedimentation of the innovation' rhythms that are typical of the building sector.<sup>10</sup>

However, the particular emphasis (although often implicit) that especially today covers issues of process innovation basically derives from difficulties, still somehow existing today, of a proper understanding of the phenomenology's that characterize the contemporary building scenario (inhomogeneity of it, fragmentation of markets, etc.): scenario which for decades has been recurrently called 'complex'. Indeed, it is evident how the complexity features of some phenomena in place 'also' depend on more or less marked inadequacies of the interpretative and managements schemes related to them, although in some ways these features are 'attributable' to intrinsic complications of the phenomena themselves.

According to some, «[...] it is maybe precisely in the forced growth of the great that our age then ends ['contextually' – author's note] to be characterized as complex. And [...] this subsequent connection between great and complex is very peculiar, since every manifestation of the great constitutes, generally, the result of a sum of smaller phenomena, interacting among them [...] Own the interactive moment makes the management of individual situations hard [...] It is important to examine complex phenomena under a systemic methodological aspect by observing them as an aggregate of simple, elementary events, each endowed with sufficient autonomy but capable of giving life to its own field of interactions interpenetrated with other fields generated by other organisms [...] Essentially we must get used to deal with the complex scenario in terms of macro-scope, the amusing semantic notation by Joël de Rosnay invented to express the need to observe the infinitely complex through new methods both logical – able to identify the various elementary poles and their own spheres of autonomy – and systemic to define in an ordered way the interactions that are generated, thus making their aggregation complex [...] New thinking tools that act as

a counterpoint to the mechanical tools that our ancestors invented for the analysis of the infinitely small (microscope) or the infinitely large (telescope)» (Dioguardi, 1995, pp. 67-69).<sup>11</sup>

Furthermore antecedents, one in particular concerns that process ‘innovation’ based on maintenance issues. Already Thomas More, in his famous Utopia (1516?), pointed out the importance and the achievable advantages: in Utopia «[...] all things are so regulated that men very seldom build upon a new piece of ground; and are not only very quick in repairing their houses, but show their foresight in preventing their decay: so that their buildings are preserved very long, with but little labour, and thus the builders to whom that care belongs are often without employment, except the wood planing and the squaring of stones, that the materials may be in readiness for raising a building very suddenly when there is any occasion for it» (Moro, 1996, pp. 67, 68).

**Criticality** – In a variety of market segmentations, and not only in the construction sector, process innovations (concerning for example the areas of ‘product services’, such as post-sales networks, organizations for planning and carrying out monitoring cycles, etc.), if not properly managed, especially with reference to the necessary synergies with similar developments in design and production areas, etc. (and often also due to misguided ‘marketing policies’) actually lead to anomalies – and therefore ‘non-quality’ effects – during the life cycles of products. It is emblematic, for example, what happens in the so-called ‘advanced’ markets – information technology, telematics, etc. – which are often characterized by cumbersome procedures in assistance services (and, not infrequently, even in the procedures for the fruition of services), costs often not proportional to what is expected, and above all ‘marketing strategies’ which accelerate obsolescence<sup>12</sup>. In the building sector as well – albeit with certain mitigations – similar criticalities can be detected especially in the areas of plant building and, in particular, of domotics. Here too, indeed, ‘maintenance’ activities themselves often degenerate into ‘disposable strategies’ – as in the case, for example, of faults in conditioning equipment, forced aeration, etc., and also of malfunction of fixtures, performances gaps arising in components in plaster walls, equipped walls, etc. – which frustrate, as a matter of fact, alleged objective concerning ‘reliability’, ‘sustainability’ or similar. In

this sense, ‘process innovations’, that include ‘product innovations’, do not weaken the latter (as said before) but frustrate their potentiality, if not appropriately pursued and effected.

Further critical issues concern still recurrent discrepancies between instances of ‘modernization’ and ‘valorisation’ of existing structures (particularly those characterized by values, even potential ones), and attributable to the related procedural implications. It can be observed, for example, how the ‘values’ attributed (or attributable) to the existing heritage cannot disregard the recognition by the propensities of the latter to appropriate uses and functions: but «[...] here is the persistent dichotomy between use value and cultural value of the pre-existing heritage that still influence current operating practices» (Giallocosta, Lanza, Pirlone and Ugolini, 2017, pp. 15, 16); in fact, often transpires a «[...] significant dual attitude that translates [...] dichotomies still persistent between use values (or positional values, etc.) and sedimentations (documental, etc.), with prevalence of the former in determining relative market values [...]» (Giallocosta, Lanza, Pirlone and Ugolini, 2017, p. 17).<sup>13</sup>

Nor procedural customs about planning and management of territories can they be considered extraneous to a such misguided meaning of ‘modernisation’: in this area, indeed, even if distinctive features are usually attributed to ‘value in use’ and ‘cultural value’ (at least in the best experiences), it’s frequent to forget their synergies, apart ‘perhaps’ for those buildings characterized by of accepted and formalized peculiarity (historical, artistic, etc.). These synergies, for example when they flow between ‘identity of the place’ and transformation needs, should be rather enhanced by ‘interpreting’ the ‘meanings’ of the first (symbolic meanings, documental meanings, etc.) and by assuming ‘constrains and the modifying inclinations’: in this way consistent operational practices should be programmed and ordered ‘also’ in relation to those ‘constrains and inclinations’ (planned projects, types of action, etc.), rather than only on the basis of the available resources (and often also depending of planning models that basically retrace old ‘zoning’ settings). We are talking about the need for procedures to be perfected, that still involve expected ‘process’ innovations in territorial planning and management (especially in terms of modifications, but not abrogation, of pre-existing layouts).

**Conclusions** – Features and criticalities of ‘process innovations’ summarize some of the main factors in which the ‘systems of complexity’ of contemporary times they unfold. At the same time reveal their actualizations of antecedents, and define implications about operational practices and how these practices unfold themselves.

The latters as well, of course, involve those critical issues that may undermine their own effectiveness. It is important, anyway, underline that these criticalities affect above all the quality level expected from the performances provided. Hence the need for additional developments in process innovations, which in particular abrogate those (and further) discrepancies discussed here. This requires a greater awareness about the importance of the synergic relations that a real Process Innovation can set up, and manage ‘in other areas’ (product, production, etc.).

NOTES

- 1) Cf. for example: Baldi and Sanvito, 2001.
- 2) It already appears, for instance, with the first ‘innovative’ measures on issues related to public works, that the rules remove «[...] the description of the subject or of the performance that are required of it, instead, deal with the problem of the process leading to achieve the object that will give certain predefined performances [...] As can be seen, the passage is from a static element (the description of the object, the determination of the desired performance) to a dynamic phase that decides how, in what way, with which controls, it has to be determined a [...] process that allows creating the desired object [...] It should be specified that, then, to point out that the meaning of process [...] cannot be reduced to the mere productive moment [...] since it is not possible to separate the place of production from all the other functions that nevertheless affect the ‘quality’ of the final product, on safety, on health and the environment» (Baldi and Sanvito, 2001, pp. 17, 18).
- 3) Cf. in particular: Falotico, 2003.
- 4) The second is particularly due to Joseph and Patrizia Zucker, Massimo Majowiecki and Giorgio Caloisi.
- 5) More clearly, and as will be immediately repeated, it is a matter of definitely assuming the extension of project beyond the boundaries of «[...] facticity of its present and verifying its qualities in broader dynamics» (Facciolongo, 2018, p. 26).
- 6) It is significant what was mentioned in the program of the Gestione del Progetto course, conducted by Prof. Del Nord at the University of Florence during the Academic Year 2016-17.
- 7) It seems to be significant arguments, to a certain extent similar, those concerning urban planning and terri-

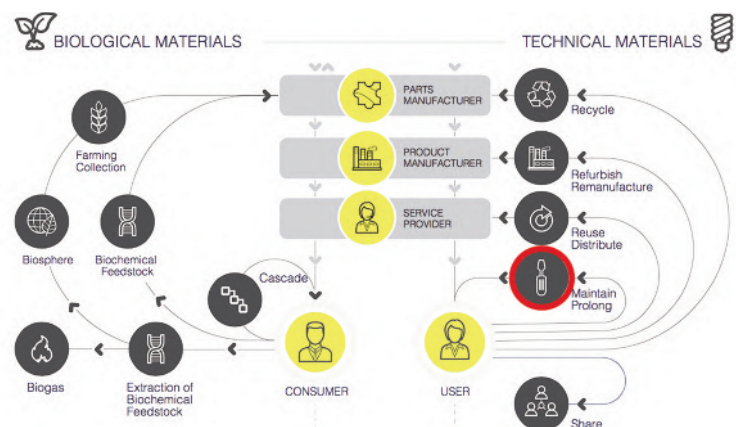


Fig. 5, 6 - Simulation of executive phases (credit: steamcommunity.com); Circular Economy systems diagram (credit: Ellen MacArthur Foundation).



Fig. 7, 8 - Augmented Reality (credits: [beyonddesign.typepad.com/posts/2016/10/augmented-reality-the-next-interface-for-design-and-making.html](http://beyonddesign.typepad.com/posts/2016/10/augmented-reality-the-next-interface-for-design-and-making.html); Autodesk).



Fig. 9, 10 - Robotics applications (credit: [www.bioedil-progetti.com/robot-costruira-case-digitalizzazione-edilizia/](http://www.bioedil-progetti.com/robot-costruira-case-digitalizzazione-edilizia/)); Drone on construction site (credit: [Kalinovsky.it.depositphotos.com/202239006/stock-photo-drone-operated-by-construction-worker.html](http://Kalinovsky.it.depositphotos.com/202239006/stock-photo-drone-operated-by-construction-worker.html)).

torial issues. It is observed, for example, as already in an article published by Dioguardi in 1993 he himself decisively dealt with the serious problems of urban deprivation phenomena, appearing to be unrealistic «[...] resort to the usual urban plans, fit only “for those historical moments in which urban areas had quite stable characteristics”. But in the case of processes in constant adjustment, in function of realities that change daily, the plan itself must become process, structured in such a way as

to “prevent the new from becoming immediately ancient, that is [...] characterized by premature obsolescence. In other words, today ‘the city should not only be designed or built’; it must also be the recipient of an incessant maintenance work in the broadest sense of the term» (Giorello, 2014, p. 13).

8) The ‘linearity’ of construction process can be found – while with inevitable historiographical schematism – both in pre-industrial era (but also afterwards, especially for some entrepreneurial realities, as in the Italian case; cfr. for example Garaventa and Pirovano (1994) and Garaventa, Giallocosta, Scanu, Syben and du Tertre (2000), in which the ‘rules of the art’, usually reiterated, constitute veritable operational guidelines, although often implicit, as a guarantee of the quality of the expected results, both during the historical phases of prefabrication and ‘building industrialization’ (in which requirements of tendential uniformity and repetitiveness of building process schemes are postulated, so permissive, together with the need for medium-large and large-scale operational contexts, of convenient economies of scale); today they show obsolescences – as in part already mentioned – consistently with the contemporary building scenario: diversification and heterogeneity of interventions, greater levels and types of expected quality, ‘personalization’ of the demand, etc. Nor does the progressive emergence of interoperable applications, in particular the BIM (Building Information Model), which also tend to standardize tools and procedures (Arlati and Giallocosta, 2009), seem to effectively contradict assumptions about the ‘obsolescence of linear building process models’, for example, when one considers those performances that are still expected to be more perfect in terms of operational flexibility (and non-sequentiality, at least in the most rigorous aspects), in the face of significant heterogeneity – especially in recovery, restoration, etc. – of multiple areas of intervention (and of intrinsic deployment).

9) Here, however, we reiterate that such an inclusion does not remove ‘product’ innovations, but how, as we will see, criticalities will remain.

10) Cfr. in particular, in relation to this last aspect: Sinopoli, 2002.

11) «Around the mid-1970s, a French scientist, Joël de Rosnay, published a book entitled *Le Macroscopie. Vers une Vision Globale* [...]. The macroscopie is a method of approach for the knowledge of the infinitely complex [...]. Previously, just few authors explicitly dealt with complexity, even though they practically dealt with it daily [...]. The *Macroscopie* therefore represents one of the first essays that propose the theme of complexity in a general and systematic way, not only, therefore, as a specific adjective for a single science» (Dioguardi, 2000, pp. 21, 22).

12) Nor can it be possible in general to charge this situation on lack of computer literacy for several users, when the burden of draw up procedures more suited to the different users would depend instead the dispenser – both public and private – of ‘digital’ services, ensuring ease of access especially to less equipped subjects, and providing appropriate assistance initiative, short training courses, etc. Particularly where the services offered do not foresee alternatives to digital and/or telematics supports, lack of information and assistance in this area cause huge discriminatory risks.

13) «Frequent discrepancies between market values and (albeit evolved) meanings of cultural values also depend on an insufficient awareness (and not sharing) of the importance of the seconds in determining the firsts, and indeed, of the potential of the seconds in increasing the firsts (if governed by coherent reuse / conservation policies)» (Giallocosta, Lanza, Pirlone and Ugolini, 2017, p. 17).

#### REFERENCES

Arlati, E. and Giallocosta, G. (2009), “Questions of Method on Interoperability in Architecture”, in Minati, G., Abram, M. and Pessa, E. (eds), *Processes of Emergence of Systems and Systemic Properties, Proceedings of International Conference, Castel Ivano (TR), 18-20*

*October 2007*, World Scientific, Singapore, pp. 67-78.

Baldi, C. and Sanvito, M. (2001), *La Gestione della Qualità nel Processo Edilizio*, Uni, Milano.

Buccolieri, C. C. and Giallocosta, G. (eds), *Progetto e Produzione nello Scenario Edilizio Contemporaneo, Atti del Convegno Nazionale Costruire Verso il 3° Millennio, Firenze 10 October 1997*, Alinea, Firenze.

Dioguardi, G. (2000), *Al di là del Disordine*, CUEN, Napoli.

Dioguardi, G. (1995), *Organizzazione come bricolage*, Donzelli, Roma.

Dioguardi, G. (1993), *Il museo dell'esistenza*, Sellerio, Palermo.

Facciolongo, A. (2018), *Paesaggi e Marginalità*, Mimesis, Milano-Udine.

Falotico, A. (2003), *Cantiere e Costruzione*, Liguori, Napoli.

Garaventa, S., Giallocosta, G., Scanu, M., Syben, G. and du Tertre, C. (2000), *Organizzazione e flessibilità dell'impresa edile*, Alinea, Firenze.

Garaventa, S. and Pirovano, A. (1994), *L'Europa dei progettisti e dei costruttori*, Masson, Milano.

Giallocosta, G., Lanza, S. G., Pirlone, F. and Ugolini, P. (2017), *Patrimonio storico/architettonico e rischio idraulico*, Genova University Press, Genova.

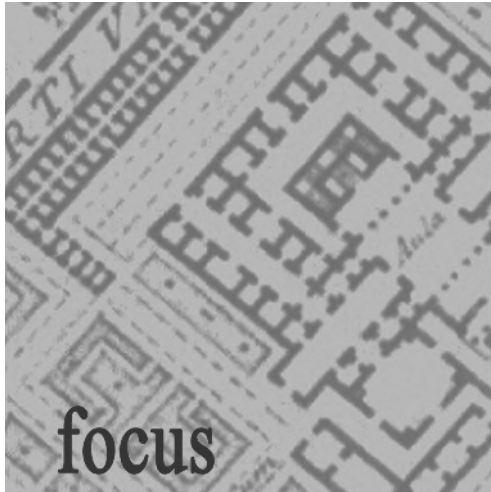
Giorello, G. (2014), “Presentazione”, in Dioguardi, G., *Nuove alleanze per il terzo millennio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 9-17.

Moro, T. (1996), *L'Utopia* [orig. ed. *Libellus vere aureus, nec minus salutaris quam festivus de optimo rei publicae statu, deque nova insula Utopia*, 1516?], Laterza, Bari.

Sinopoli, N. (2002), “L'innovazione tecnologica in edilizia: una premessa”, in Sinopoli, N. and Tatano, V. (eds), *Sulle tracce dell'innovazione*, FrancoAngeli, Milano, pp. 7-20.

Turchini, G. (1999), in Buccolieri, C. C. and Giallocosta, G. (eds), *Progetto e Produzione nello Scenario Edilizio Contemporaneo, Atti del Convegno Nazionale Costruire Verso il 3° Millennio, Firenze 10 October 1997*, Alinea, Firenze, pp. 76-78.

<sup>a</sup> *GIORGIO GIALLOCOSTA, Architect, is Full Professor of Tecnologia dell'Architettura at the Architecture and Design Department of the University of Genova (Italy). He is currently deals with systemic approach to architecture, perceptual factors and Third Landscape issues. He is the author of numerous publications. Mob. +39 338/38.18.280. E-mail: giallocosta@dada.it*



## DESIGNERLY WAY OF ORGANIZING IL DESIGN DELL'ORGANIZZAZIONE CREATIVA

### DESIGNERLY WAY OF ORGANIZING THE DESIGN OF CREATIVE ORGANIZATION

Francesco Zurlo<sup>a</sup>

#### ABSTRACT

*Il design ha ampliato, negli ultimi anni, i propri 'oggetti di progetto' includendo, tra essi, anche l'organizzazione. Nello specifico è nel dibattito sul Design Thinking che emerge tale interesse, in una delle tipologie che lo caratterizzano: la Creative Confidence. La dimensione creativa è funzionale per il coinvolgimento dei membri di un'organizzazione, consente di superare le resistenze al cambiamento, abilita al rischio che ogni processo creativo comporta. L'obiettivo è innovare prodotti e servizi attraverso una maggiore disponibilità e accettazione, abilitata da leadership accorte, alla creatività. Il design è espressione creativa, ma come la creatività stessa, richiede la creazione e l'assorbimento di codici e modelli culturali, l'assunzione, in sintesi, di una 'cultura del progetto'.*

In recent years, design has expanded its 'design objects' to include organization. Specifically, it is within the debate on Design Thinking that this interest emerges, in one of the typologies that characterize it: Creative Confidence. The creative dimension is functional with regard to involving the members of an organization; it allows to overcome the resistance to change and it enables the risk that every creative process entails. The aim is to innovate products and services through greater availability and acceptance, enabled by careful leadership, towards creativity. Design is a creative expression, yet, like creativity itself, it requires the creation and absorption of cultural codes and models; the assumption, in summary, of a 'design culture'.

#### KEYWORDS

*design thinking, innovazione, creatività, organizational design, cultura del progetto*

design thinking, innovation, creativity, organizational design, design culture

Innovazione è parola-problema<sup>1</sup>, cioè un concetto che implica diversi piani di lettura da angolazioni disciplinari differenti, oltre ad essere un termine spesso abusato per parlare di competitività dell'impresa. Parola-problema è anche Design che oltre alla tradizionale e popolare idea del 'bello e ben fatto', estende la sua operatività a tutti quei domini, potenziali oggetti di progetto, che caratterizzano ogni tipo di attività umana (dai servizi alle questioni sociali, dall'interazione all'organizzazione). Da qualche anno Innovazione e Design incrociano i propri destini. Un incontro favorito dal management che, a fronte di un'oggettiva difficoltà nel confronto con un ambiente competitivo sempre più complesso, cerca nuovi approcci, meno rigidi, per gestire la complessità, per accorgersi dei disturbi e superare le incertezze dei fenomeni socio-tecnici e di mercato, propri della contemporaneità. Con ciò portando, inevitabilmente, a decisioni strategiche (e tattiche) ad alto tasso creativo, che richiamano i processi euristici propri del 'problem solving' del design.

Il fenomeno che, più di altri, segna l'incontro tra design e management è quello del Design Thinking. È ad esso che ci si riferirà in questo saggio, pensando a un suo contributo funzionale per l'innovazione. Il modello interpretativo a supporto è quello del Designerly Way of Knowing, un modo di costruire e validare conoscenza, con approcci, strumenti e finalità specifiche e originali propri del design (Cross, 2006). È da questa peculiarità, intuiamo, che possa derivare il contributo del design alle scienze dell'organizzazione, superando l'impasse di conoscenze prevalentemente processuali e ingegneristiche proprie dell'Organizational Design, per individuare una formula che potremmo chiamare, appunto, una Designerly Way of Organizing. Troviamo in nuce queste intuizioni – già nel 1953 – nel lavoro di John E. Arnold (2016) che associa creatività e processi strutturati (engineering) e nelle ricerche di scienziati come Herbert Simon (1981) o Donald Schön (1984), ma è il management nordamericano che porta alla ribalta l'approccio e il modello mentale del design.

Tra gli autori di riferimento c'è, in primis, Roger Martin, uno dei primi studiosi di management a darne evidenza scientifica, studiando alcuni casi di successo. Dapprincipio Martin (2007) ha esitato a usare il termine Design Thinking. Parlerà, infatti, di Integrative Thinking, pur partendo dall'analisi empirica di processi di problem solving pro-

pri del design, giustificando la scelta dell'aggettivo con il fatto che quell'approccio è capace di integrare analisi e sintesi, focus sul problema e apertura verso lo spazio che lo contiene, grazie a una circolarità (ed elasticità mentale) che rimanda tra aspetti di insieme e minimi dettagli, senza farsi condizionare da eventuali 'disturbi' di percezione e di coerenza dei dati, che anzi, vengono accolti positivamente. Il problema è analizzato rispetto a un contesto, più ampio, talvolta divergente dal problema in sé, e l'uno e l'altro, tendono costantemente a riconfigurarsi nell'iter di avvicinamento alla soluzione, attraverso un processo di 'framing e reframing' continuo (Martin, 2009). L'approccio descritto da Martin è in contrasto con il classico modello manageriale, che è basato solo su un processo di pensiero convergente e tende a trovare nel problema stesso indicazioni per la sua soluzione.

Il pensiero integrativo, o di design, è funzionale quando si è alla ricerca di una innovazione radicale, quando ci si confronta con rivoluzioni tecnologiche che portano con sé potenti discontinuità o quando – date le circostanze competitive – le imprese sono orientate a cambiare i propri modelli di business (Gruber, de Leon, George and Thompson, 2015; Zurlo and Cautela, 2014). Il Design Thinking si è codificato nel tempo attraverso set di strumenti, metodi e tecniche funzionali a promuovere alcune competenze: la capacità di individuare, ridefinire, risolvere i problemi a partire dalla centralità dell'utente (per cui Design Thinking e Human Centered appaiono, spesso, come fenomeni strettamente correlati), la capacità di far vedere ad altri, grazie a potenti strumenti di storytelling, potenziali soluzioni e, infine, la dimensione del fare come espressione funzionale al pensiero, con ciò sancendo l'esigenza di chiudere il cerchio tra dimensione sovrastrutturale – il pensiero – e dimensione strutturale – la mano (Lee and Benza, 2015; Liedtka, 2018). Le imprese tendono sempre più a chiamare i designer non solo e non più per creare nuovi prodotti o servizi, ma per apportare nuova linfa al pensiero strategico e per contribuire ai processi di cambiamento organizzativo (Beaudry, 2009; Brown, 2009; Zurlo and Cautela, 2014; Kolko, 2015). In alcuni casi i designer sono chiamati a occuparsi di ridisegnare le organizzazioni, intese come veri e propri oggetti di progetto (Beaudry, 2009; Buchanan, 2015).

*Design Thinking: una lettura fenomenologica – Ov-*

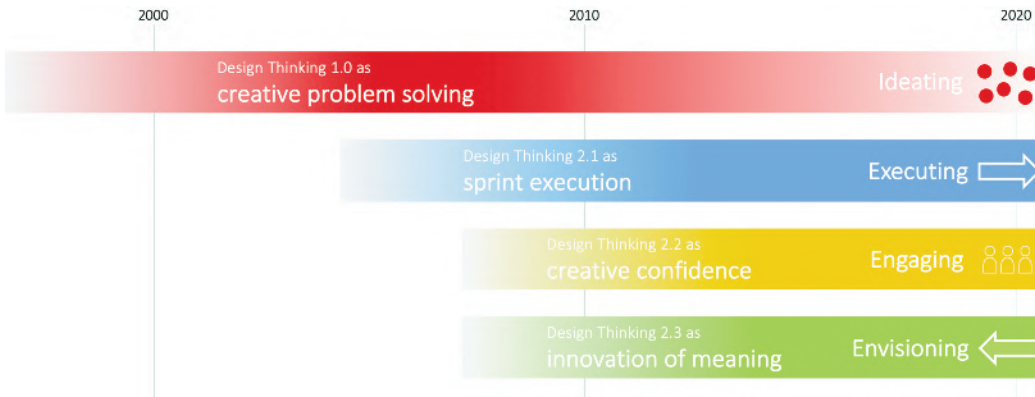


Fig. 1 - The evolution of Design Thinking: from Ideating to E<sup>3</sup>: Executing, Engaging, Envisioning (credit: Osservatorio Design Thinking for Business, Politecnico di Milano, 2018).

viamente il Design Thinking potrebbe essere visto come la più recente tecnologia sociale a supporto dei processi creativi dell'organizzazione. O, in combinazione, potrebbe essere letto come la più recente 'mania' del management. Si scorge tale rischio nell'esplosione esponenziale di interesse da parte dell'establishment del management globale. Ne è prova anche la pletera di strumenti che accompagna la promozione commerciale di tante imprese di design alla ricerca di originalità a ogni costo. Con un inglesismo potremmo dire che 'toolism and latestism' sembrano essere le parole chiave di tale mania: tanti strumenti e giocoforza, per differenziarsi, i più attuali possibile. Le conseguenze sono spesso bizzarre: workshop di poche ore o di pochi giorni, senza alcun seguito che sostanzii i risultati (parziali) raggiunti, in più realizzati da non designer o da presunti esperti (Rauth, Carlgren and Elmquist, 2014). Esiti di iniziative creative insufficienti al primo esperimento che, se mal gestiti, tendono ad allontanare dal fare creativo (talvolta per sempre) i membri di un'organizzazione. Il Design Thinking mette in discussione le pratiche manageriali ricorrenti, quelle della Ricerca e Sviluppo tradizionale come quella del marketing, richiede legittimità e coinvolgimento, un solido appoggio della leadership, un ambiente attivato, con sostenitori (champion) dedicati alla promozione di questo approccio differente. Richiede, inoltre, un allineamento tra culture: quella propria dell'impresa con quella propria del design (Rauth, Carlgren and Elmquist, 2014).

L'osservatorio del Politecnico di Milano sul Design Thinking for Business (DTB)<sup>2</sup> fa parte del sistema degli osservatori dell'Ateneo lombardo, volti a monitorare gli effetti della trasformazione digitale in atto in diversi settori economici e di mercato. L'osservatorio DTB analizza la domanda e l'offerta di Design Thinking in Italia e le dinamiche che caratterizzano la diffusione di tale approccio. Un primo report ha evidenziato, attraverso una ricognizione sulla letteratura e l'analisi empirica, quattro diversi modi di fare Design Thinking, individuando una evoluzione dell'approccio, ancora in atto, a partire dal noto modello a doppio diamante (double-diamond) promosso da IDEO, la celebre Design Firm californiana, che Tim Brown (2008), al tempo amministratore delegato di IDEO, descrive in un saggio per Harvard Business Review, titolandolo, concisamente, Design Thinking. Il modello di Brown parte dal presupposto che il design risolve problemi. Ci dice come individuarli a partire

da un accurato processo di ricerca e analisi dei comportamenti delle persone nei propri contesti d'uso (utilizzando tecniche proprie delle scienze sociali, interpretate alla luce di nuove tecnologie), atto a rilevare gap e mancanze di prodotti e servizi. Il processo creativo è attivato dai 'dati' raccolti sul campo (stadio del problema) e si alimenta di una fase divergente (brainstorming) e di una convergente, per arrivare a una prima, rapida, prototipazione dell'idea, per poi riattivare nuovamente divergenza e convergenza per cercare soluzioni. Il doppio diamante visualizza il processo creativo che è gestito da un team multidisciplinare, coordinato (ma non necessariamente) da un designer.

Un secondo modello è in sintonia con i processi, creativi e di sviluppo propri del mondo digitale. È sintetizzato, anche questo, in un testo, Sprint, di Jake Knapp (2016), ingegnere di Google Ventures. Il modello proposto da Knapp è funzionale per i processi di sviluppo di nuovi software e nuove applicazioni. La tecnologia Agile, che caratterizza il processo di sviluppo del prodotto digitale, ha anch'essa una fase divergente che utilizza euristiche molto vicine a quelle proprie del design e della creatività più in generale. L'approccio di Knapp però è diverso rispetto a quello di IDEO. La sua idea è che i membri di una comunità di sviluppatori, da sempre focalizzati su certi prodotti e servizi, siano già per sé capaci di individuare nuove traiettorie per l'innovazione. E aggiunge che il processo di sviluppo deve essere breve: nel modello Sprint il team di esperti propone un'idea, la valida, la prototipa e solo allora coinvolge gli utenti per raccogliere feedback e confermare o meno il prosieguo del progetto. In cinque giorni. Chiaramente questo aspetto è in qualche modo facilitato dal fatto che si possa velocemente prototipare, grazie a tecnologie di programmazione e componenti hardware modulari, ad esempio, una nuova applicazione di un servizio, pur in bozza, ma funzionale alla comprensione del funzionamento della stessa e alla raccolta di feedback preziosi per consolidare o meno l'idea. Insomma un pre-totipo, cioè l'attivatore di comprensione di nuove funzioni e significati (Savoia, 2011).

Punti di contatto con Sprint, sono leggibili nel modello di Roberto Verganti (2009) detto della Design Driven Innovation. L'obiettivo del modello è di individuare nuove direzioni per il business, superando, con creatività e capacità critica, le resistenze dell'organizzazione e degli attori chiave dei processi innovativi. Per Verganti, come per Knapp, non è (solo) osservando l'utente che si riesce a co-

gliere spunti per realizzare nuovi prodotti/servizi ma è utile partire dall'esperienza interna dell'azienda e confrontarsi con una rete di 'interpreti', mediatori di conoscenza, sorta di antenne, con competenze e provenienze geografiche e culturali diverse, che accompagnano il processo creativo attivato internamente, validandolo. L'ideazione è un fatto individuale che trova riscontro, anche attraverso una potente attività critica, nel gruppo. Prototipi e soluzioni, pur abbozzate, possono essere a quel punto proposte agli utenti target, per comprenderne reazioni e accettazione. E validare le scelte di sviluppo prodotto.

*Design Thinking come Creative Confidence: note* – Il quarto modello del Design Thinking è quello su cui vorremmo maggiormente concentrare l'attenzione di questo saggio. Il tema del Designerly Way of Organizing, secondo la nostra lettura, è affine con il concetto di Creative Confidence, usato in un testo scritto dai fratelli Kelley (fondatori e promotori di IDEO) e ormai d'uso comune nel considerare il contributo della creatività (e del design) dentro l'organizzazione (Kelley and Kelley, 2013). Anche in questo modello c'è un utente: l'impiegato. Analizzando le sue esigenze, si scoprono possibilità nuove per potenziare il suo coinvolgimento (engagement) e abilitare, dal basso, l'intera organizzazione al pensiero creativo. Un livello di engagement maggiore, peraltro, è garanzia di incremento di produttività (Aon Hewitt, 2018), realizzando un risultato 'win win' che oltre a motivare il dipendente, migliora le performance complessive dei gruppi. Da qui deriva, sostanzialmente, una disposizione positiva del management. Ma come funziona questo processo di coinvolgimento? Esso non lo si raggiunge con iniziative 'one shot', richiede repliche e opportune azioni di 'coaching' da parte di esperti. Aprire la porta della creatività, e farlo in modo consapevole, e non richiudendola, crea, col tempo, una nuova cultura.

Creatività, pure, è la terza parola-problema che incontriamo in questo saggio. Diverse discipline se ne sono occupate e continuano a farlo (dalle scienze comportamentali alla psicologia, dalla scienza dei sistemi alle neuroscienze). Ai fini di questa riflessione e per provare a semplificare un modello complesso, il riferimento è a quattro concetti di creatività, intuitivi e immediati<sup>3</sup>. Il primo vede la creatività come un processo cibernetic di input, elaborazione e output. Il risultato, come è ovvio, è condizionato dalla qualità dell'input (e ciò spiega l'interesse di molte scuole di design per il metaprogetto, cioè per quell'insieme di strumenti e metodologie atto a raccogliere e organizzare dati funzionali al progetto). Processare i dati richiede condizioni ambientali (e spaziali) ottimali (ad esempio il sentirsi motivati dentro un gruppo) oltre che specifiche capacità personali, 'soft e smart skills', come capacità di iniziativa (entrepreneurship), negoziazione, team building, visione, soluzione dei problemi ecc. Cose che si apprendono grazie all'esperienza del fare.

Un secondo concetto, mette insieme creatività e innovazione, considerando il secondo come risultato del primo. La creatività è funzionale a costruire nuove utili combinazioni tra ingredienti spesso esistenti, come specifica, lucidamente, il fisico e matematico Henry Poincaré (1997). Se gli ingredienti, poi, sono molto diversi tra loro, è più probabile che la loro combinazione porterà a risul-

tati radicalmente diversi rispetto all'esistente. È un'osservazione promettente: tanto più si verifica inclusione e diversità dentro l'organizzazione (e nei team di sviluppo prodotto), tanto maggiore risulterà essere il 'quoziente creativo' della stessa, come lo chiamerebbe Bruce Nussbaum (2013).

Un'altra utile nota sul tema della creatività viene da Gerd Binnig, premio Nobel per la Fisica nel 1986. Le sue considerazioni ben si adattano alle caratteristiche di un'organizzazione: l'atto creativo come un processo che rende possibile nuove unità di inter-azione (la capacità, quindi, di costruire nuove relazioni) e ancora la creatività come l'attitudine di un sistema alla sua evoluzione (Binnig, 1991). Le parole di Binnig sono illuminanti perché legano la creatività all'evoluzione, al progresso, alla crescita. La creatività, infine, è dimensione individuale, in accordo con la teoria del 'flow' di Mihály Csíkszentmihályi (1996), anche se una buona idea, per poter evolvere e far evolvere un sistema, dovrà necessariamente essere riconosciuta, sostenuta e accettata da tutti coloro che sono vicini al singolo che ha avuto la giusta intuizione. Alle responsabilità personali, si associa, nell'organizzazione, una disciplina rigorosa e una forma di intolleranza per l'incompetenza, oltre che una leadership capace di riconoscere gli sforzi dei singoli e censurare le iniziative confuse e senza un supporto competente (Pisano, 2019).

La creatività, abilitata da tecnologie sociali come il Design Thinking, fornisce un add-on alle altre culture d'impresa agendo come strumento di riforma della cultura organizzativa prevalente, quella organizzativa (Sapelli, 1988; Buchanan, 1995). Non è una novità: Dumas e Mintzberg (1989) avevano studiato buone pratiche e casi di successo di PMI nel Regno Unito e individuato un modello mentale diffuso, una cultura del progetto pervasiva, che avevano caratterizzato con il termine di Silent Design, perché incorporato nelle pratiche anche di persone non riconducibili alla professionalità del designer. Anche Tom Peters (1995), a più riprese, a metà degli anni '90, sottolinea questa cultura del progetto pervasiva, portando alcuni esempi significativi e di successo e coniando un altro termine, meno fortunato eppure altrettanto evocativo, come quello di Design Mindfulness, con ciò intendendo la piena consapevolezza di ogni membro dell'organizzazione dell'importanza del design e del suo contributo per l'innovazione.

Il tema della Creative Confidence attiene a un processo che avviene per gradi, assumendo un diverso modo di affrontare i problemi, di relazionarsi, di comprendere le reali esigenze degli utenti.

Con aspetti operativi e con altri che riguardano le routine organizzative, gli spazi, gli stili di leadership. Ci sono aspetti ricorrenti in letteratura che manifestano tale dimensione: a) sviluppare una maggiore empatia verso le persone, target dei prodotti/servizi realizzati dall'azienda; b) riconoscere l'importanza della sperimentazione continua come chiave per l'individuazione di nuovi percorsi innovativi, accettando i 'bias' che tale ricerca porta con sé, considerandoli quali ulteriori strumenti di ricerca; c) sviluppare 'soft skills', in particolare per favorire il lavoro in gruppo e il confronto; d) riconoscere la dimensione olistica insita in ogni dettaglio, senza perdere di vista l'insieme, esercitando la capacità di lettura dal piccolo al grande, dalla 'forma' al suo 'spazio'; e) promuovere una capacità di anticipazione critica dei possibili futuri, attualizzando al presente le conseguenze delle scelte progettuali.

#### *Costruire cultura del progetto nell'organizzazione*

– La tesi da cui partiamo tiene conto di tali aspetti ma ne valorizza un altro, senza il quale, riteniamo, sia difficile per l'organizzazione valorizzare e rendere sostenibile lo sforzo creativo. C'è ritenzione di creatività e suo sfruttamento quando si abilita una cultura della creatività. In questo processo abilitante il Design Thinking svolge un ruolo trainante (anche per le premiali situazioni di contesto) e favorisce più che una cultura creativa una 'cultura del progetto' diffusa e silente, una 'mindfulness' proattiva verso il cambiamento e l'innovazione. Cos'è cultura del progetto? Al di là delle definizioni che sono rintracciabili in letteratura, vediamo alla cultura come un set distintivo di una comunità, composto da valori condivisi, da stili di vita e da modelli comportamentali. La cultura si esprime in valori dichiarati, in artefatti fisici e in fatti organizzativi (Heskett, 2002). La cultura del progetto, in particolare quella italiana, è quella che fa discutere del 'valore del numero zero' nella cultura occidentale e dell'impatto di questa nozione in ogni atto progettuale<sup>4</sup> o che fa dire a Vico Magistretti, durante un tour nel Regno Unito negli anni '80, a una studentessa che gli chiedeva del perché non fossero attive scuole del design in Italia, «perché abbiamo i licei classici». Una dimensione umanistica che si intreccia con la dimensione puramente tecnica e ingegneristica nella soluzione dei problemi, connettendo in una nuova unità questi approcci e insiemi di conoscenze.

Con qualche semplificazione si potrebbe dire che 'cultura del progetto' è insieme: 1) dimensione narrativa, che considera il progetto come l'atto narrativo e dialogico attivato con un ipotetico, interlo-

cutore in differita temporale; 2) dimensione esplorativa, con una tensione costante verso l'innovazione, atta ad arricchire la nostra relazione con il mondo; 3) dimensione responsabile per migliorare la qualità della vita manipolando e trasformando tecnologie 'grezze'; 4) capacità di lettura dell'evoluzione del mondo materiale e immateriale ma in continuità con il passato (mettendo al centro il ruolo della storia e il suo contributo all'innovazione); 5) capacità di 'anticipazione critica', cogliendo le potenzialità di scelte dell'oggi e le conseguenze del domani nel dominio della 'validità' delle scelte, più che in quello dell'affidabilità delle stesse; 6) ricerca del bello e del bel fatto, in un dialogo con gli altri attori dei processi socio-tecnici. Sono solo alcuni spunti di riflessione che attendono di essere esplorati nel dettaglio, anche alla luce dei potenti cambiamenti tecnologici in atto.

La cultura del progetto, nella nostra ipotesi, diventa una cultura ausiliare della cultura d'impresa che è un insieme organico di culture (Sapelli, 1988). È funzionale a questa argomentazione la visione di Edgar Schein (1985) sul tema: per lo psicologo statunitense, esperto di cultura organizzativa, la cultura d'impresa è composta di valori, di competenze, di visione ed è connotata da espressioni 'visibili' (artefacts), da valori 'esposti' (exposed values) e assunti 'impliciti' (implicit assumptions). Portare cultura del progetto in azienda significa integrare, in queste espressioni e dimensioni, tale cultura, con l'obiettivo di renderla una costante dei processi organizzativi e non solo una dimensione attivabile a comando.

#### *Il contributo del Design Thinking per le espressioni visibili della cultura d'impresa*

– La cultura del progetto si rappresenta, principalmente, attraverso espressioni visibili e tangibili, in particolare nel disegno degli spazi del lavoro così come negli artefatti che popolano tali spazi. Il tema del Workplace, quale espressione della cultura dell'impresa e come 'abilitante' alla creatività, ricorre spesso nella letteratura e nella pratica. Nei nuovi spazi di lavoro le persone hanno piacere ad esserci, lo spazio comunica loro dei valori che favoriscono un allineamento tra tutti, incluso stakeholder e clienti, e lo spazio stesso educa chiunque, non solo gli addetti ai lavori, a quel principio di 'deep empathy', proprio, come visto, dei processi di Design Thinking. La creatività richiede che le persone si sentano libere, proponendo spazi con un palinsesto di soluzioni e opzioni d'uso in funzione delle varie attività – lavoro singolo, in due, in gruppo, in remoto, ecc. – e in funzione dell'esperienza richiesta – con-

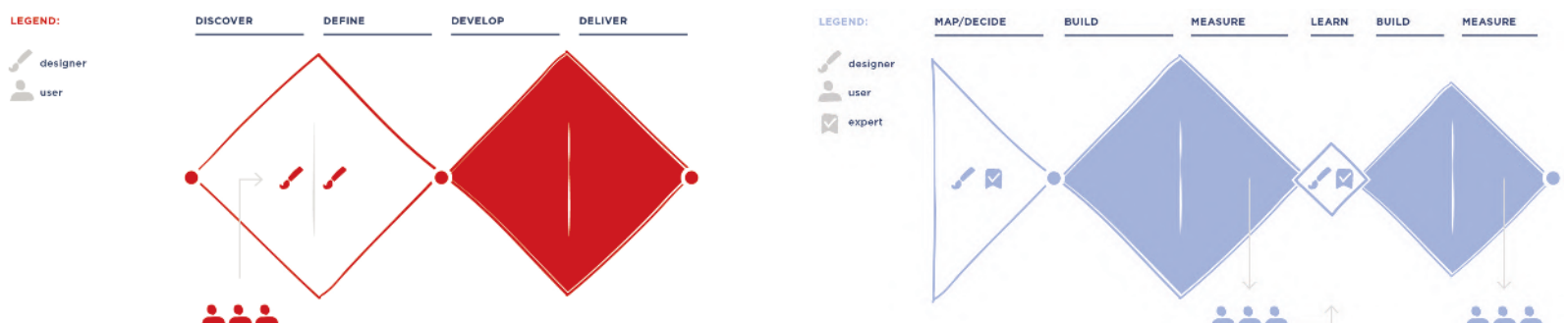


Fig. 2, 3 - The process of Creative Problem Solving: discovering users' gaps to trigger creative processes; The process of Sprint Execution: the good ideas flow into the organization are fast prototyped and tested by the targeted users, then validate and developed (credits: Osservatorio Design Thinking for Business, Politecnico di Milano, 2018).



Figg. 4, 5 - Design Thinking as Creative Confidence: the user is the employee, to be engaged, with Design Thinking tools, in creative and innovative processes; Innovation of Meanings: setting up the right conditions to engage stakeholders, organization's members and users, to find and pursue new meanings for business and available technologies (credits: Osservatorio Design Thinking for Business, Politecnico di Milano, 2018).

centrarsi, collaborare, apprendere, ecc. (Zurlo, 2015). Lo spazio dà forma ai comportamenti che, sostenuti e perseguiti nel tempo, creano una cultura (Steelcase, 2014).

Si è accennato parlando di 'combinazione creativa' all'importanza della diversità (e dell'inclusione) per l'innovazione. Si è diversi non solo per formazione, per provenienza geografica, per religione, per sesso. In un'organizzazione, si è diversi anche perché si è dentro silos aziendali (la Ricerca e Sviluppo, il Marketing, la Finanza, le Operations, ecc.) che parlano gerghi differenti, hanno sistemi valoriali svariati e background disparati. Dentro i silos, le persone hanno legami forti con i membri della stessa comunità e legami deboli con i componenti degli altri silos. Favorire la relazione tra persone con legami deboli sembra essere un potente attivatore di cultura creativa e innesco di innovazione (Ito e Howe, 2016). L'incontro può essere favorito da luoghi informali, progettati ad hoc, o nelle situazioni liminari proprio per favorire questa dimensione (Edwards, 2011): tra questi i cosiddetti Work Cafè, da qualche anno diventati parte integrante, talvolta fulcro, del lay-out degli uffici di molte imprese.

*Il contributo del Design Thinking per i valori esposti della cultura d'impresa* – I valori 'esposti' sono rappresentati in vari artefatti comunicativi, nella corporate image, nella narrazione per simboli e segni di identità e indirizzo strategico dell'organizzazione. Ai nuovi arrivati di Ogilvy, una delle più grandi agenzie pubblicitarie globali, viene dato un kit di benvenuto che esplicita loro valori, stili mentali e approccio dell'Ogilvy-Person. È un modo, pratico, per accelerare i processi di assimilazione dello stile aziendale. Lago Industrie, un'azienda dell'arredamento tra le più innovative, propone ai suoi stakeholder un Lago Interior Life Manifesto con 11 punti che riassumono le direzioni strategiche della marca. I valori esposti, tuttavia, sono anche quelli che si assumono attraverso la pratica. La pedagogia del progetto ci insegna, infatti, che la cultura del progetto si assume (anche) attraverso il fare, poiché attiene alla dimensione 'implicita' della conoscenza (Polanyi, 1958; Shön, 1984).

Il design, nello specifico, costruisce conoscenza in mondo fisico, tangibile, sentendo la relazione corporea con ciò che è attorno e nella relazione con altri corpi fisici, animati e non. Assimilare cultura del progetto all'interno della cultura di impresa significa costruire le condizioni, ambientali e procedurali, affinché emerga nell'organizzazione una

mentalità tipo 'fai qualcosa e falla subito' (a do-something mindset). Un prototipo realizzato, grezzo o dettagliato, ha una funzione dimostrativa – secondo il diktat di Nicholas Negroponte (1995) 'Demo or Die' – e funge da oggetto di confine (boundary object), per attivare conversazione tra più attori a partire da qualcosa di visibile e tangibile (Zurlo and Nunes, 2016). Molte organizzazioni, specie in grandi aziende, si dotano di strutture laboratoriali, fab-lab, che anche grazie a dispositivi digitali ma non trascurando utensili e lavoro della mano, consentono a tutti di mettersi in gioco e sperimentare la realizzazione di una prima idea.

Un esempio è il fab-lab di LINC (Learning Innovation Center) a Monaco di Baviera di Steelcase. Il laboratorio è usato dai dipendenti per realizzare le idee che emergono in sessioni di lavoro collettive o a seguito di ricerche personali. Una buona organizzazione tende a 'prepararsi alla scoperta' che può emergere da queste iniziative legate al fare, attraverso percorsi di attivazione e formazione che realizzano una sorta di 'happstance' (happening + circumstance) del gruppo, che si presenta con menti preparate per cogliere nuovi elementi di innovazione. Tutto questo ha un evidente collegamento con il processo di formazione all'interno di un'organizzazione: quello che viene definito da Kolb (2014) come 'experiential learning framework' e che enfatizza il collegamento fra l'anima sperimentale insita nella cultura del progetto (e nella disciplina del design) e l'efficacia delle esperienze vissute in prima persona come vero mezzo di apprendimento per singoli individui all'interno della cultura organizzativa. Un'esperienza vissuta che ha bisogno di tempo: la confidenza con il fare, proprio della cultura del progetto, si consegue attraverso micro-successi sequenziali, provando di volta in volta livelli di difficoltà successivi, come avviene quando ci si confronta con l'apprendimento di un videogioco. Sono proprio questi micro-successi che costruiscono motivazione intrinseca e favoriscono questa attenzione al fare (Amabile and Kramer, 2011).

*Il contributo del Design Thinking per gli assunti impliciti della cultura d'impresa* – La terza dimensione, nascosta e condizionata da relazioni e comportamenti, contribuisce attraverso nuove routine, modelli di ingaggio e di condivisione (anche attraverso community building o con processi di gamification), ad attivare processi di assorbimento di creatività. Nelle scienze dell'educazione vige il concetto di 'curriculum nascosto' (Cinque, 2016),

ciò che la fenomenologia visuale di un ambiente trasferisce all'individuo in quanto specchio del sistema valoriale (e motivazionale) di una comunità o di un gruppo. Secondo Cook (1991, p. 1463), «la conformazione fisica degli spazi e il posizionamento degli oggetti rivela ciò che gli studenti imparano in termini di attitudini, convinzioni e valori che permeano l'istituzione». Il tema 'visuale' è dunque cruciale, anche perché creatività e design si nutrono di immagini. A questo proposito Henry Poincaré (1997, p. 64) scrive: «Una sera, contrariamente alle mie abitudini, ho bevuto del caffè nero e non sono riuscito a dormire. Una folla di idee mi si è palesata; le ho percepite mentre collidevano fino a che, appaiate, si intrecciavano tra loro, per, diciamo, realizzare combinazioni stabili [...]». L'aneddoto di Poincaré associa le idee a immagini che emergono a frotte e che si muovono in uno spazio indefinito, talvolta attorcigliandosi, incrociandosi, organizzandosi (Harman and Rheingold, 1986). Le immagini sono un potente attivatore di senso e lo sono, di conseguenza, i disegni. I fratelli Kelley (2013) suggeriscono di stimolare le persone ad apprendere il disegno, per essere in grado di comunicare velocemente le proprie idee.

Il 'visual awakening' (Kim e Mauborgne, 2015) proposto da diversi autori di management, insiste proprio sulla qualità comunicativa e sintetica di un'immagine, capace di rendere immediatamente comprensibile un fenomeno, pur complesso. Il risveglio visivo lo si gestisce anche attraverso oggetti, campioni di materiali, dettagli tecnici, altri artefatti che, all'occorrenza, possano dare spunti significativi. Tutti questi 'oggetti' sono conoscenza reificata a cui una persona resta esposta per il tempo necessario a maturare soluzioni potenzialmente utili. È d'uso, negli studi di design, la pratica di 'colonizzare' uno spazio (una parete, una libreria, un tavolo), dove, a partire dagli input di progetti in corso, si tende ad accumulare materiale visuale. È l'organizzazione 'topologica' della conoscenza, propria del design, che aiuta il team a focalizzare e tendere verso soluzioni creative. Zone dell'ufficio 'colonizzate' rispetto a specifici progetti, stimolano risposta creativa.

La cultura di progetto è cultura principalmente collaborativa. Un ambiente che stimoli attività in team, favorendo l'integrazione di diverse competenze, sostenendo l'adozione di un gergo e uno stile di relazione comuni, mettendo in pratica il fare collaborativo, favorisce questa cultura. Il successo del lavoro in team è talvolta sostenuto da humor, dall'assenza di gerarchie, da una modalità

di non-giudizio dei comportamenti e azioni altrui, dalla reciproca fiducia. La spinta 'gentile' della leadership è funzionale al concretizzarsi di tale fenomenologia. In questo processo sono diverse le analogie con il modello delle cosiddette comunità di pratiche (Lave and Wenger, 1991), che non a caso, si rileva spesso, come fenomeno proprio del processo del design.

Il 'curriculum nascosto' registra la consapevolezza che la creatività sia una qualità che tutti possiedono ma che va esercitata e stimolata. Molto spesso si ritiene che la creatività e l'innovazione siano invece attinenza di 'tipi creativi' ma la pratica della creatività dimostra, invece, il contrario. Il concetto è semplice: tutti sono creativi, ciò che serve è azione, un ambiente stimolante, una buona leadership e, il chiedersi, incessantemente, le ragioni di ogni scelta fatta; la percezione di non essere creativi, infatti, è spesso una profezia auto-avverante che va, ovviamente, contrastata, creando le condizioni ambientali più efficaci. Ad esempio lasciando spazio all'osare, al mettersi in gioco e non temere il giudizio degli altri. Un esempio è quello di /BAN.King, progetto di 'corporate graffiti' ideato dall'artista Verbo insieme a Storyfactory e al Servizio Formazione di Intesa Sanpaolo nel 2010. Nato nell'ambito della formazione dei capi del personale, /BAN.King è un'opera pittorica (ora visibile lungo i sei piani delle scale della sede della Formazione di Milano Bonola) che nella prima fase della sua realizzazione ha coinvolto in una performance sessanta manager. Il progetto rappresenta una riflessione sulla necessità di raccontare sé stessi in un contesto organizzativo, affidandosi al processo artistico per innescare nuove progettualità e nuove modalità di vivere lo spazio di lavoro. I manager hanno fatto, durante la performance, un ottimo lavoro, dialogando con gli artisti, ma con una piccola accortezza: ognuno di loro aveva una maschera. L'anonimato se da una parte ha premiato il loro grande contributo creativo, dall'altro ha evidenziato il 'timore' della creatività, collegato inevitabilmente al giudizio degli altri.

Sono casi scuola, invece, quelle situazioni che hanno attivato la creatività dei propri dipendenti (in un quadro di riferimento più ampio collegato a tematiche dell'open innovation): ad esempio la multinazionale americana 3M che consente ai propri lavoratori di destinare un 15% del loro tempo per cercare nuove opportunità di innovazione (si pensi al successo di Post It, nato proprio da questa disposizione). O, ancora, Google che ha portato al 20% il tempo a disposizione per attività creative. Dare autonomia creativa ai dipendenti è inoltre un forte incentivo per le generazioni più giovani (i cosiddetti millennials e le generazioni 'Z') che percepiscono sé stessi, anche assunti in posizioni apicali, come professionisti autonomi, alla ricerca sul luogo di lavoro, di motivazioni che vanno ben oltre il solo riscontro salariale. Cultura del progetto, design e creatività, sono certamente abilitate da questi processi ma più di ogni cosa hanno bisogno della legittimità del capo. Agli inizi degli anni '50, Henry Dreyfuss (1955), il noto designer americano, fu invitato ad Harvard a tenere delle lezioni sul design e sul suo contributo per l'innovazione. Tra le raccomandazioni proprio questo aspetto di legittimità: il design può dare un contributo strategico all'organizzazione (e ai processi innovativi) se c'è il sostegno incondizionato del leader. In altre parole è una leadership, autorevole, che può abilitare

creatività e abilitare cultura del progetto, perché può ispirare, stimolare, orientare la comunità.

*Conclusioni* – Questo breve saggio raccoglie e sistematizza alcuni contributi da letteratura e i risultati della ricerca dell'Osservatorio di Design Thinking for Business del Politecnico di Milano, in particolare focalizzando sul ruolo del Design Thinking per migliorare le performance e la proattività verso l'innovazione dell'organizzazione. La tesi è che non sia sufficiente adottare strumenti e metodi del Design Thinking per trasformare l'organizzazione in un'entità creativa, capace di affrontare il cambiamento e con un'attitudine all'assunzione di rischi che ogni cambiamento comporta. Il Design Thinking, in quanto espressione preminente della creatività nell'organizzazione contemporanea, non solo deve essere azione iterativa, ma deve aprire una porta per consentire alla cultura del progetto di diventare parte integrante della cultura organizzativa. Ci si chiede, dunque, come favorire l'adozione di tale cultura e come integrarla all'interno della cultura organizzativa d'impresa?

Agire sugli aspetti 'rappresentativi' della cultura d'impresa (gli artefatti, i valori esposti, gli assunti impliciti), riconducendoli a dimensioni del Design Thinking e del Design sembra essere una strada significativa e funzionale allo sviluppo, anche attraverso il consolidamento empirico, per ulteriori ricerche.

Nello specifico riteniamo che sia proprio nell'ambito degli assunti impliciti che si possa esplorare questo tema, valorizzando gli aspetti del design che influenzano il clima ambientale di un'organizzazione, i processi di apprendimento, la fiducia nel fare collaborativo. In questo quadro emerge un'intuizione, degna appunto di ulteriori approfondimenti, che evidenzia un loop concettuale: se è vero che è l'engagement di ogni attore dell'organizzazione che favorisce processi di 'creative confidence', è vero anche il contrario e cioè che l'attivazione di un'attitudine creativa è in grado di produrre, anche velocemente, fenomeni di engagement. Insomma, 'engagement for creative confidence' e 'creative confidence for engagement'. Una strada, anche operativa, per le organizzazioni, che vogliono potenziare le proprie performance per l'innovazione oltre ad individuare un nuovo ambito, in evoluzione, del design. Ciò che, al principio di questo saggio, abbiamo chiamato, partendo dalle peculiarità del design, appunto una 'Designerly Way of Organizing'.

#### ENGLISH

*Innovation is a problem-word<sup>1</sup>, or rather, a concept that implies various interpretative plans from different disciplinary angles, as well as being a term that is often abused when referring to a company's competitiveness. Problem-word is also Design which, in addition to the traditional and popular idea of 'beautiful and well made', extends its functioning to all those domains, potential design objects, that characterize every type of human activity (from services to social issues, from interaction to organization). For some years now, Innovation and Design have been crossing their destinies. An encounter favoured by management which, in the light of an objective difficulty in confronting an increasingly complex and competitive environment, is looking for new, less rigid approaches to manage complexity, to detect problems and over-*

*come the uncertainties of socio-technical and market phenomena, which are typical of the contemporary world. These leads, inevitably, to strategic (and tactical) decisions with a high level of creativity, which recall the heuristic processes typical of design 'problem solving'.*

*The phenomenon which, more than others, marks the encounter between design and management is that of Design Thinking. We shall refer to this throughout the essay, keeping in mind its functional contribution to innovation. The Designerly Way of Knowing is the interpretative model in its support; a way of constructing and validating knowledge, with specific and original approaches, tools and purposes that form part of design (Cross, 2006). Through this peculiarity, we realize that it can derive from the contribution of design to the organization's sciences, overcoming the impasse of mainly procedural and engineering knowledge of the Organizational Design, so as to identify a formula that we may call, precisely, a Designerly Way of Organizing. We find these intuitions – already in 1953 – in the work of John E. Arnold (2016) which combine creativity and structured processes (engineering) and in the research of scientists such as Herbert Simon (1981) or Donald Schön (1984), however it is North American management that brings to the fore the approach and the mental model of design.*

*Among the authors of reference we find, above all, Roger Martin; one of the first management scholars to provide scientific evidence by studying some success stories. Martin hesitates to use the term Design Thinking. In fact, he talks about Integrative Thinking (Martin, 2007), even though he begins from the empirical analysis of the problem solving processes specific to design, justifying the choice of the adjective by the fact that such an approach is capable of integrating analysis and synthesis, focus on the problem and openness to the space that contains it, thanks to a circularity (and mental elasticity) that refers to the entirety and minimum detail aspects, without being influenced by any 'disturbances' of perception and coherence of the data which, actually, are welcomed positively. The problem is analysed with respect to a wider context, at times diverging from the problem itself, and both tend to constantly reconfigure themselves in the process of approaching the solution, through continuous 'framing and reframing' process (Martin, 2009). The approach described by Martin is in contrast with the classic managerial model, which is based only on a convergent thought process and tends to find indications for its solution in the problem itself.*



Fig. 6 - Values and Assumption in the Enterprise's Culture by Edgar Schein, 1985 (credit: scheme elaborated by the author).





Fig. 7 - Space shapes behaviors: informal places as Work Cafe, enable 'weak ties' within the organization, supporting creative processes (credit: picture courtesy of Steelcase Inc., LINC, Munich).

Integrative or design thinking is functional when we are looking for radical innovation, when we are confronted with technological revolutions that bring with them powerful discontinuity or when (given the competitive circumstances) companies are oriented to change their business models (Gruber, de Leon, George and Thompson, 2015; Zurlo and Cautela, 2014). Design Thinking has been codified over time through sets of tools, methods and techniques that are functional in fostering certain skills: the ability to identify, redefine, solve problems starting from the centrality of the user (for which Design Thinking and Human Centred appear, often, as closely related phenomena), the ability to make others see, thanks to powerful storytelling tools, potential solutions and, finally, the dimension of 'doing' as a functional expression of thought, thereby sanctioning the need to close the circle between the super-structural dimension – the thought – and the structural dimension – the hand (Lee and Benza, 2015; Liedtka, 2018). Companies increasingly tend to call designers not only, and no longer, to create new products or services, yet to bring new life to strategic thinking and to contribute to processes of organizational change (Beaudry, 2009; Brown, 2009; Zurlo and Cautela, 2014). In some cases designers are asked to redesign organizations, intended as fully-fledged design objects (Beaudry, 2009; Buchanan, 2015).

Design Thinking: a phenomenological interpretation – Obviously Design Thinking could be seen as the most recent social technology in support of an organization's creative processes. Or, combined, it could be read as the most recent management 'fad'. We discern this risk in the exponential explosion of interest from the global management establishment. Proof of this is also the plethora of tools that accompanies the commercial promotion of many design companies in search of originality at all costs. We could say that 'toolism and latestism' appear to be the key words of this mania: many and inevitable tools, to differentiate themselves, as con-

temporary as is possible. The consequences are often bizarre: workshops that last a few hours or a few days, without any follow-up that substantiates the (partial) results achieved, furthermore created by non-designers or presumed experts (Rauth, Carlgren and Elmquist, 2014). Insufficient results of creative initiatives, which, after the first experiment, if poorly managed, tend to distance the members of an organization from being creative (sometimes forever). Design Thinking questions recurring managerial practices; those of traditional Research and Development, including marketing, require legitimacy and involvement, solid leadership support, an activated environment, with 'champions' (supporters) dedicated to promoting this different approach. It requires, as well, an alignment between cultures: that of the company with that of design (Rauth, Carlgren and Elmquist, 2014).

The Politecnico di Milano observatory on Design Thinking for Business (DTB)<sup>2</sup> is part of the Lombard University observatories system, aimed at monitoring the effects of the digital transformation that is taking place in various economic and market sectors. The DTB observatory analyses the demand and supply of Design Thinking in Italy and the dynamics that characterize the circulation of this approach. An initial report highlighted, through a survey on literature and empirical analysis, 4 different ways of carrying out Design Thinking, identifying an evolution of the approach, still in progress, starting from the well-known (double-diamond) model promoted by IDEO, the famous Californian Design Firm, which Tim Brown (2008), at the time managing director of IDEO, describes in an essay for Harvard Business Review, entitling it, precisely, Design Thinking. Brown's model is based on the premise that design solves problems. It tells us how to identify them starting from a careful process of research and analysis of people's behaviour in their contexts of use (using techniques typical of social sciences, interpreted in the light of new technologies), capable of detecting gaps and the lack of products and services. The creative process is activated by 'data' collected in

the field (stage of the problem) and is fed by a divergent phase (brainstorming) and a convergent phase, to arrive at an initial, rapid prototyping of the idea and to then reactivate, once again, divergence and convergence to find solutions. The double diamond envisages the creative process that is managed by a multidisciplinary team, coordinated (but not necessarily) by a designer.

A second model is in line with the creative and development processes of the digital world. This is also summarized in *Sprint* by Jake Knapp (2016), engineer of Google Ventures. The model proposed by Knapp is functional for the development processes of new software and new applications. Agile technology, which characterizes the digital product's development process, also has a divergent phase that uses heuristics very close to those inherent to design and creativity in general. Knapp's approach, however, is different from that of IDEO. His idea is that the members of a community of developers, which have always focused on certain products and services, are capable of identifying new trajectories for innovation. And he adds that the development process must be concise: in the *Sprint* model the team of experts puts forth an idea, validate it, prototype it, and only then does it involve the users to gather feedback and confirm, or interrupt, the continuation of the design. In five days. Clearly this aspect is somewhat facilitated by the fact that you can quickly prototype, thanks to programming technologies and modular hardware components, for example, a new application of a service, albeit in draft, but functional to the understanding of its operation and to collecting valuable feedback so as to consolidate or abandon the idea. In short, a pre-prototype, or rather the activator for understanding new functions and meanings (Saviola, 2011).

Points of contact with *Sprint* can be read in the Roberto Verganti (2009) model called *Design Driven Innovation*. The objective of the model is to identify new directions for business, while overcoming, with creativity and a critical capacity, the resistance of the organization and of the key players in the innovative processes. According to Verganti, and Knapp, it is not (just) observing the user that makes it possible to seize ideas to create new products/services, rather it is useful to start from the company's internal experience and compare it with a network of 'interpreters', mediators of knowledge, a variety of antennas, with different geographical and cultural origins, which accompany the internally activated creative process, thus validating it. The ideation is an individual fact that is reflected in the group through a powerful critical activity. Prototypes and solutions, even if outlined, can then be proposed to target users, to understand their reactions and acceptance. And to validate product development choices.

Design Thinking as Creative Confidence: notes – The fourth model of Design Thinking refers to the one which we would most like to focus our attention in this essay. The theme of Designerly Way of Organizing, according to our interpretation, is similar to the concept of Creative Confidence, used in a text written by the Kelley brothers (founders and promoters of IDEO) and now commonly used in considering the contribution of creativity (and design) within the organization (Kelley and Kelley, 2013). This model too has a user: the employee. By

analysing his/her needs, new possibilities are discovered to enhance his/her involvement ('engagement') and enable the entire organization to think creatively from the bottom up. Moreover, a higher level of engagement is a guarantee of increased productivity (AON Hewitt, 2018), leading to a 'win win' result which, in addition to motivating the employee, improves the overall performance of the groups. What derives from this is, essentially, management's positive disposition. However, how does this process of involvement work? It is not achieved through 'one shot' initiatives; it requires replies and appropriate 'coaching' actions by experts. Opening the door of creativity, and doing it consciously, and not closing it, creates a new culture over time.

Creativity, as well, is the third problem-word we encounter in this essay. Several disciplines have dealt with it and continue to do so (from behavioural sciences to psychology, from systems science to neurosciences). For the purposes of this reflection and to try to simplify a complex model, the reference is to four concepts of creativity, intuitive and immediate<sup>3</sup>. The first considers creativity as a cybernetic process, with input, processing and output. The result, indeed, is conditioned by the quality of the input (and this explains the interest of many design schools in meta-design, that is, the set of tools and methodologies designed to collect and organize functional data for the design). Processing data requires optimal environmental (and spatial) conditions (for example feeling motivated within a group) as well as specific personal skills, 'soft and smart skills', such as 'entrepreneurship', negotiation, team building, vision, problem solving etc. These are things that are learned thanks to the experience of 'making'.

A second concept sets side by side creativity and innovation, considering the second as a result of the first. Creativity is functional in constructing useful new combinations of ingredients that often exist, as the physicist and mathematician Henry Poincaré (1997) specifies in detail. If the ingredients are then very different from each other, it is more likely that their combination will lead to radically different results than the existing one. This is a promising observation: the more inclusion and diversity that occurs within the organization (and in the product development teams), the greater the 'creative quotient' of the organization as Bruce Nussbaum (2013) would call it.

Another useful note on the subject of creativity stems from Gerd Binnig, Nobel Prize for Physics in 1986. His considerations are well suited to the characteristics of an organization: the creative act as a process that makes new units of interaction possible (the ability, therefore, to build new relationships) and creativity as the attitude of a system towards its evolution (Binnig, 1991). Binnig's words are illuminating because they link creativity to evolution, to progress and to growth. Creativity is, lastly, an individual dimension, in accordance with the Mihály Csikszentmihályi (1996) 'flow' theory; even though it's a good idea it will necessarily have to be recognized, supported and accepted by all those who are close to the individual who had the right intuition, in order to evolve and help a system evolve. Personal responsibilities are associated, in the organization, with a rigorous discipline and a form of intolerance towards incompetence, as well as a leadership capable of

recognizing the efforts of individuals and censoring confused initiatives without competent support (Pisano, 2019).

Creativity, enabled by social technologies such as Design Thinking, provides an add-on aspect to other corporate cultures by acting as a tool for reforming the prevailing organizational culture (Sapelli, 1988; Buchanan, 1995). This is not something new: Dumas and Mintzberg (1989) had studied good practices and success stories of SMEs in the UK and identified a widespread mental model, a pervasive design culture, which they characterized using the term Silent Design, because it was incorporated into the practices of people who were not referable to the profession of designer. Tom Peters (1995) too, on several occasions, in the mid-nineties, emphasizes this culture of pervasive design, providing some significant and successful examples and coining another term, less fortunate and yet equally evocative, such as Design Mindfulness, which meant the full awareness of each member of the organization of the importance of design and its contribution to innovation (Peters, 1995).

The theme of Creative Confidence complies with a process that takes place by steps, taking on a different way of dealing with problems, of associating, of understanding the real needs of users; with operational aspects and with others regarding organizational routines, spaces and leadership styles. There are recurrent aspects in literature that demonstrate this dimension: a) develop greater empathy towards people, target of the products/services created by the company; b) recognizing the importance of continuous experimentation as a key to identifying new innovative paths, accepting the 'bias' aspects that such research brings with it, considering them as further research tools; c) develop 'soft skills', in particular to encourage teamwork and comparison; d) recognize the holistic dimension innate in every detail, without losing sight of the entirety, exercising the capability of interpreting from small to large, from the 'form' to its 'space'; e) promote a capacity for critical anticipation of possible futures, modernizing the consequences of design choices.

Building a design culture in the organization – The thesis from which we begin takes these aspects into account while enhancing another, without which, we believe, it is difficult for the organization to improve and make the creative effort sustainable. Creativity retention, and its exploitation, exists when a culture of creativity is enabled. In this enabling process, Design Thinking plays a central role (thanks to rewarding context situations) and favours not just creative culture but a widespread and silent 'design culture'; a proactive 'mindfulness' towards change and innovation. What is design culture? Aside from the definitions that can be found in literature, we see culture as a distinctive set of a community, composed of shared values, lifestyles and behavioural models. Culture is expressed in declared values, in physical artefacts and in organizational facts (Heskett, 2002). Design culture, in particular the Italian design culture, triggers the discussion regarding 'the value of the number zero' in Western culture and the impact of this notion in every design act<sup>4</sup> or that which made Vico Magistretti say, during a tour in the United Kingdom in the eighties, to a student who asked him why there were no design schools in Italy, «be-

cause we have 'liceo classico'». A humanistic dimension that intertwines with the purely technical and engineering dimension in solving problems, connecting these approaches and sets of knowledge in a new unity.

Simplifying, we could say that 'design culture' is a combination of: 1) a narrative dimension, which considers the design as a narrative and dialogical act activated with a hypothetical, deferred interlocutor; 2) an exploratory dimension, with a constant tension towards innovation, aimed at enriching our relationship with the world; 3) a dimension responsible for improving the quality of life by manipulating and transforming 'raw' technologies; 4) the ability to interpret the evolution of the material and immaterial world, yet in continuity with the past (focusing on the role of history and its contribution to innovation); 5) the ability to adopt 'critical anticipation', grasping the potential of today's choices and the consequences of tomorrow's within the domain of the 'validity' of choices, as opposed to their reliability; 6) the search for beauty and 'well made' in a dialogue with other key players in the socio-technical processes. These are just a few reflections that are waiting to be explored in detail, in light of the powerful technological changes that are taking place.

The culture of design, in our hypothesis, becomes an auxiliary culture of the corporate culture which is an organic set of cultures (Sapelli, 1988). Edgar Schein's view on the subject (1985) is functional to this argument: the American psychologist, an expert in organizational culture, considers corporate culture as being composed of values, skills, vision and is characterized by 'visi-



Fig. 8 - Lago Manifesto: a way of make explicit the values belonging to the narratives of the brand (credit: Lago).

Fig. 9 - The designer as facilitator within the organization: a way to mediate different languages coming from different departments (credit: F. Zurlo, 2012).



Fig. 10 - The Welcome Kit for the newcomers in Ogilvy (credit: Ogilvy, 2015).

ble' expressions ('artefacts'), 'exposed values' and 'implicit assumptions'. Bringing design culture to the company means integrating this culture into these expressions and dimensions, with the objective of making it a constant in organizational processes and not just a dimension that can be activated upon command.

The contribution of Design Thinking to the visible expressions of corporate culture – *The design culture is primarily represented through visible and tangible expressions, in particular in the design of the work spaces including the artefacts that occupy these spaces. The theme of the Workplace, as an expression of corporate culture and as an 'enabler' for creativity, can often be seen in both literature and in practice. In the new work spaces, people are pleased to be there; the space communicates to them values that favour an alignment amongst everyone, including stakeholders and customers, while the space itself teaches everyone, not just the experts, the principle of 'deep empathy', similar to design thinking processes. Creativity requires that people feel free, proposing spaces with an agenda of solutions and use options depending on the various activities – single work, in two, in a group, remotely etc. – and depending on the required experience – concentration, collaboration, learning, etc. (Zurlo, 2015). Space gives shape to behaviours which, sustained and pursued over time, create a culture (Steelcase, 2014).*

The 'creative combination' of the importance of diversity (and inclusion) for innovation was mentioned earlier on. We are different not only in terms of education, geographical origin, religion and gender. We are also different, in an organization, because we are allocated in company silos (Research and Development, Marketing, Finance, Operations, etc.) that speak different jargons, have various value systems and disparate backgrounds. Inside the silos, people have strong ties with members of the same community and weak ties with the components of other silos. Encourag-

ing the relationship between people with weak ties seems to be a powerful activator of creative culture and innovation (Ito and Howe, 2016). The encounter can be encouraged by informal places, designed ad hoc, or in liminal situations with the aim of favouring this dimension (Edwards, 2011): among these the so-called 'Work Cafes', which for some years now have become an integral part, sometimes the fulcrum, of the layout of the offices in many companies.

The contribution of Design Thinking to the exposed values of corporate culture – *The 'exposed' values are represented in various communicative artefacts in the corporate image and in the organization's narration through symbols and signs of identity and strategic direction. The newcomers at Ogilvy, one of the largest global advertising agencies, are given a welcome kit that explains the values, mental styles and approach of an Ogilvy-Person. It is a practical way to accelerate the assimilation processes of the corporate style. Lago Industries, one of the most Italian innovative furnishing companies, offers its stakeholders a Lago Interior Life Manifesto consisting of 11 points that summarize the strategic directions of the brand. However, the values shown are also adopted through practice. In fact, the pedagogy of design teaches us that the culture of design is acquired (also) through 'making', since it complies with the 'implicit' dimension of knowledge (Polanyi, 1958; Shön, 1984).*

Design, specifically, creates knowledge in a physical, tangible way; it feels the bodily relationship with what surrounds it and in relation to other physical, animate and non-animated bodies. Assimilating design culture within the corporate culture means building environmental and procedural conditions, so that a – a do-something mindset – mentality emerges in the organization. A prototype, whether in its raw state or detailed, has a demonstrative function – according to Nicholas Negroponte's (1995) diktat: 'Demo or Die' – and serves

as a boundary object, in order to activate conversation between multiple players, starting from something visible and tangible (Zurlo and Nunes, 2016). Many organizations, particularly in large companies, are equipped with laboratories, fab-labs, which, thanks to digital devices, yet without neglecting tools and manual work, allow everyone to get involved and experience the realization of an initial idea.

An example is Steelcase's LINC (Learning Innovation Centre) fab-lab in Munich. The laboratory is used by employees to implement ideas that emerge in collective work sessions or as a result of personal research. A good organization tends to 'prepare for the discovery' that can emerge from these initiatives linked to 'making', through activation and training paths that create a sort of 'happence' (happening + circumstance) of the group, which presents itself with minds prepared to seize new elements of innovation. All this has a clear link with the training process within an organization: what Kolb (2014) defines as 'experiential learning framework' and which emphasizes the link between the experimental soul inherent in the design culture (and in the discipline of design) and the effectiveness of first-hand experiences as a true means of learning for individuals within the organizational culture. A lived experience that needs time: the familiarity with 'making', relevant to the design culture, is achieved through sequential micro-successes by trying, from time to time, successive levels of difficulty as occurs when one is confronted with learning a video game. It is precisely these micro-successes that build intrinsic motivation and favour this attention to 'making' (Amabile and Kramer, 2011).

The contribution of Design Thinking to the implicit assumptions of corporate culture – *The third dimension, hidden and conditioned by relationships and behaviours, contributes, through new routines, engagement and sharing models (and through community building or gamification processes), in activating creativity absorption processes. In the education sciences, the concept of 'hidden curriculum' (Cinque, 2016) is in force; that which the visual phenomenology of an environment transfers to the individual as a mirror of the value (and motivational) system of a community or group. According to Cook (1991, p. 1463): «the physical conformation of spaces and the positioning of objects reveals what students learn in terms of attitudes, beliefs and values that permeate the institution». The 'visual' theme is therefore fundamental because creativity and design feed on images. In this regard, Henry Poincaré writes (1997, p. 64): «One evening, contrary to my habits, I drank black coffee and couldn't sleep. A mass of ideas was revealed to me; I perceived them as they collided until, in pairs, they intertwined with each other, to create, let's say, stable combinations [...]». Poincaré's anecdote associates ideas with images that emerge in droves and that move in an indefinite space, sometimes twisting, crossing, organizing each other (Harman and Rheingold, 1986). Images are a powerful activator of meaning and so are designs. The Kelley brothers (2013) suggest stimulating people to learn design, so as to be able to communicate their ideas quickly.*

The 'visual awakening' (Kim and Mauborgne, 2015) proposed by various management authors,

insists precisely on the communicative and synthetic quality of an image, capable of making a phenomenon, even complex, immediately comprehensible. Visual awakening can also be managed through objects, material samples, technical details and other artefacts which, if necessary, can give significant insights. All these 'objects' are reified knowledge to which a person remains exposed for the time needed to develop potentially useful solutions. In design studies, the practice of 'colonizing' a space (a wall, a bookcase, a table) is used where there is a tendency to accumulate visual material, starting from the input of ongoing designs. It is the 'topological' organization of knowledge, specific to design, which helps the team to focus and tend towards creative solutions. 'Colonized' office areas, with respect to specific designs, stimulate creative response.

Design culture is primarily a collaborative culture. An environment that stimulates team activities, favouring the integration of various skills, supporting the adoption of a common jargon and relationship style, while putting collaborative 'making' into practice, favours this culture. The success of teamwork is sometimes supported by humour, by the absence of hierarchies, by a mode of non-judgment of the behaviour and actions of others and by mutual trust. The leadership's 'gentle' drive is functional to the realization of this phenomenology. In this process, the analogies with the model of the so-called community of practices (Lave and Wenger, 1991) are many, which not by chance, as is often revealed as a phenomenon specific to the design process.

The 'hidden curriculum' records the awareness that creativity is a quality that everyone possesses, yet which must be exercised and stimulated. It is often believed that creativity and innovation are specific to 'creative types', instead, the practice of creativity demonstrates the opposite. The concept is simple: everyone is creative, what is needed is action, a stimulating environment, good leadership and, incessantly, asking oneself the reason-why of every choice made; the perception of not being creative, in fact, is often a self-fulfilling prophecy that must, of course, be contrasted, by creating the most effective environmental conditions. For example, leaving room for a 'daring' mentality, taking risks and not worrying about the judgment of others. An example of this can be seen in /BAN.King, a 'corporate graffiti' design conceived by the artist Verbo along with Storyfactory and Intesa Sanpaolo's Training Service in 2010. Created while training staff managers, /BAN.King is a pictorial work (now visible along the six floors stairs of the Milan Bonola Training headquarters); its realization, during the initial phase, involved sixty managers. The design represents a reflection on the need to describe oneself in an organizational context, relying on the artistic process to trigger new designs and new ways of experiencing the work space. The managers did a great job, talking to the artists, but with a little enigma: each of them had a mask on. The anonymity on the one hand rewarded their great creative contribution, while on the other hand it highlighted the 'fear' of creativity, inevitably linked to the judgment of others.

Worth highlighting, inversely, are companies that actually activated the creativity of their employees (in a broader framework linked to open innovation issues): for example, the American multi-



Fig. 11 - LINC\_Steelcase Learning Innovation Center: a meaningful example on the role of space to mold the enterprise's culture and the engagement processes (credit: picture courtesy of Steelcase Inc., LINC, Munich).

national 3M that allows its workers to allocate 15% of their time to look for new innovation opportunities (the success of Post It comes to mind, created precisely from this provision). Google, as well, which provides for 20% of work time dedicated to creative activities. Giving creative autonomy to employees is also a strong incentive for the younger generations (the so-called Millennials and the 'Z' generations) who perceive themselves, even hired in top positions, as independent professionals who are looking for, within the workplace, motivations that go far beyond just salary satisfaction. Design culture, design and creativity are no doubt enabled by these processes, yet more than anything they need the management's legitimacy. In the early 1950s, Henry Dreyfuss (1955), the renowned American designer, was invited to Harvard to give lectures on design and its contribution to innovation. Legitimacy was among the recommendations: design can make a strategic contribution to the organization (and innovative processes) if there is the leader's unconditional support. In other words, it is an authoritative leadership that can enable creativity and enable the culture of design, because it can inspire, stimulate and guide the community.

Conclusions – This brief essay gathers and systematizes some contributions from literature and the results of the research carried out by the Design Thinking for Business Observatory of the Politecnico di Milano, in particular focusing on the role of Design Thinking with the aim of improving performance and proactivity towards the organization's innovation. The thesis is basically that adopting Design Thinking tools and methods to transform the organization into a creative entity, capable of facing change and with an attitude to taking the risks that every change entails, is insufficient. Design Thinking, as a pre-eminent expression of creativity in a contemporary organization, must not only be an iterative action, but must open a door to

allow the design culture to become an integral part of the organizational culture. We ask ourselves, therefore, how can the adoption of this culture be encouraged and how can it be integrated within the corporate organizational culture?

Acting on the 'representative' aspects of corporate culture (the artefacts, the exposed values, the implicit assumptions), while tracing them back to the dimensions of Design Thinking and Design, appears to be a significant and functional path towards development, through empirical consolidation as well, for further research.

Specifically, we believe that it is precisely within the context of the implicit assumptions that we are able to explore this theme, enhancing the aspects of design that influence the environmental climate of an organization, the learning processes and the trust in collaborative work. Within this context an intuition emerges, worthy of further investigations, which highlights a conceptual loop: if it is true that the engagement of every player in the organization favours 'creative confidence' processes, then the opposite must also be true; the activation of a creative attitude is capable of producing, even quickly, engagement phenomena. In short, 'engagement for creative confidence' and 'creative confidence for engagement'. A path, even operational, for organizations that want to enhance their performance for innovation and identify a new, evolving area of design. That which, at the beginning of this essay, we called, leading on from the peculiarities of design, precisely a Designerly Way of Organizing.

#### NOTES

1) Word-problem is a term proposed by Edgar Morin (1993) to discuss 'complexity'. The epistemologist writes: «Complexity is a problem word and not a solution word» (Morin, 1993, p. 25) and this obviously implies the difficulty of defining the boundaries of a given phenomenon, due to their continuous relocation and circularity, in the field established by temporary boundaries, which connects, incessantly, the detail and the whole. We will use it



Fig. 12 - \BAN, a Corporate Graffiti project, supported by Intesa San Paolo Corporate University in Milan (credit: picture courtesy of Intesa San Paolo, 2010).

Fig. 13 - Play40, a game for Loccioni supporting company's processes, designed by Isao Hosoe and Lorenzo De Bartolomeis, distributed by the Italian publisher Corraini (credit: picture courtesy of Loccioni, 2008).

in this context to mean something difficult to know, according to the criteria of a simplified thought, whereby it is only through the understanding of the context, and the ascertainment of the boundary conditions of the phenomenon, that we can interpret knowledge.

2) The activities of the Design Thinking for Business Observatory can be viewed at the website: [https://www.osservatori.net/ww\\_en/observatories/design-thinking-for-business](https://www.osservatori.net/ww_en/observatories/design-thinking-for-business) [Accessed 3rd May 2019].

3) For a detailed analysis of creativity in companies cfr.: Vicari, Cillo and Verona, 2011.

4) The discussion actually took place in Chicago, between Augusto Morello, at the time President of the Triennale, and scholars Victor Margolin and Richard Buchanan, in the mid-eighties (testimony collected in a conference at the Design Library in Milan, May 16th 2013, with the presence of Buchanan and Margolin).

## REFERENCES

- Amabile, T. and Kramer, S. (2011), *The Progress Principle: Using Small Wins to Ignite Joy, Engagement, and Creativity at Work*, HBS Press, Boston (MA).
- Aon Hewitt (2018), *2018 Trends in Global Employee Engagement*. [Online] Available at: <https://www.aon.com/2018-global-employee-engagement-trends/index.html> [Accessed 13 March 2019].
- Arnold, J. E. (2016, orig. ed. 1953), "Creative Engineering", in Clancey, W. J. (ed.), *Creative Engineering: Promoting Innovation by Thinking Differently*, pp. 59-150. [Online] Available at: <https://purl.stanford.edu/jb100vs5745> [Accessed 12 April 2019].
- Beaudry, J. (2009), "Design Tools for Social Engagement in Organizations", in *OD Practitioner*, vol. 47, issue 3, pp. 15-20.
- Binnig, G. (1991), *Dal nulla. Sulla creatività dell'uomo e della natura*, Garzanti, Milano.
- Brown, T. (2009), *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*, Harper Collins, New York.
- Brown, T. (2008), "Design thinking", in *Harvard Business Review*, vol. 6, pp. 84-92.
- Buchanan, R. (2015), "Worlds in the Making: Design, Management, and the Reform of Organizational Culture", in *She Ji Journal*, vol. 1, issue 1, pp. 5-21. [Online] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405872615000039> [Accessed 22 April 2019].
- Buchanan, R. (1995), *Rhetoric, Humanism and Design: Discovering Design*, University of Chicago Press, Chicago.
- Cinque, M. (2016), "Il curriculum nascosto: quale definizione?", in *MEDIC*, vol. 24, issue 1, pp. 14-19.
- Cook, S. H. (1991), "Mind the theory/practice gap in nursing", in *J Advance Nurs*, vol. 16, pp. 1462-1469.
- Cross, N. (2006), *Designers ways of knowing*, Springer, Berlin.
- Csikszentmihályi, M. (1996), *Creativity Flow and the Psychology of Discovery and Invention*, Harper Collins, New York.
- Dreyfuss, H. (1955), *Designing for people*, Paragraphic Books, New York.
- Dumas, A. and Mintzberg, H. (1989), "Managing design, designing management", in *Design Management Journal*, vol. 1, issue. 1, pp. 37-43.
- Edwards, A. (2011), "Building common knowledge at the boundaries between professional practices: Relational agency and relational expertise in systems of distributed expertise", in *International Journal of Educational Research*, vol. 50, issue 1, pp. 33-39.
- Gruber, M., de Leon, N., George, G. and Thompson, P. (2015), "Managing by Design", in *Academy of Management Journal*, vol. 58, issue 1, pp. 1-7.
- Harman, W. and Rheingold, H. (1986), *Creatività Superiore. Come liberare le intuizioni dell'inconscio*, Astrolabio, Roma.
- Heskett, J. (2002), *Toothpicks & Logos: Design in everyday life*, Oxford University Press, New York.
- Kelley, T. and Kelley, D. (2013), *Creative Confidence: Unleashing the Creative Potential Within Us All*, William Collins, New York.
- Kim, W. C. and Mauborgne, R. (2015), *Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make the Competition Irrelevant*, HBR Press, Boston (MA).
- Knapp, J. (2016), *Sprint. How to Solve Big Problems and Test New Ideas in Just Five Days*, Simon & Schuster, New York.
- Kolb, D. A. (2014), *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, FT Press, London.
- Kolko, J. (2015), "Design Thinking Comes of Age", in *Harvard Business Review*, September issue, pp. 66-71.
- Ito, J. and Howe, J. (2016), *Whiplash: How to Survive Our Faster Future*, Grand Central Publishing, New York-Boston.
- Lave, J. and Wenger, E. (1991), *Situated Learning. Legitimate peripheral participation*, Cambridge University Press, New York.
- Peters, T. (1995), "The Pursuit of Design Mindfulness", in *I.D. Magazine*, vol. 5, pp. 74-77.
- Lee, S. and Benza, R. (2015), "Teaching Innovation Skills: Application of Design Thinking in a Graduate Marketing Course", in *Business Education Innovation Journal*, vol. 7, pp. 43-51.
- Liedtka, J. (2018), "Why Design Thinking Works", in *Harvard Business Review*, September-October issue, pp. 72-79.
- Martin, R. L. (2009), *The Design of Business: Why Design Thinking is the Next Competitive Advantage*, HBS Press, Cambridge (MA).
- Martin, R. L. (2007), *The opposable mind. How successful leaders win through integrative thinking*, HBS Press, Cambridge (MA).
- Morin, E. (1993), *Introduzione al pensiero complesso*, Sperling e Kupfer, Milano.
- Negroponte, N. (1995), *Being Digital*, Alfred A. Knopf Publishing, New York.
- Nussbaum, B. (2013), *Creative Intelligence. Harnessing the Power to Create, Connect and Inspire*, HarperCollins, New York.
- Pisano, G. (2019), *La dura verità sulle culture innovative*, in *Harvard Business Review Italia*, Gennaio/February, pp. 36-46.
- Poincaré, H. (1997), *Scienza e Metodo* [orig. ed. *Science et methode*, 1908], Einaudi, Torino.
- Polanyi, M. (1958), *Personal Knowledge*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Rauth, I., Carlgren, L. and Elmquist, M. (2014), "Making It Happen: Legitimizing Design Thinking in Large Organizations", in *Design Management Journal*, vol. 9, pp. 47-60.
- Sapelli, G. (1988), *Per una cultura dell'impresa*, Franco Angeli, Milano.
- Savoia, A. (2011), *Prototype it. Make sure you are building the right it before you build it right*. [Online] Available at: [http://www.pretotyping.org/uploads/1/4/0/9/14099067/prototype\\_it\\_2nd\\_prototype\\_edition-2.pdf](http://www.pretotyping.org/uploads/1/4/0/9/14099067/prototype_it_2nd_prototype_edition-2.pdf) [Accessed 22 April 2019].
- Schein, E. H. (1985), *Organizational culture and leadership*, Jossey-Bass, San Francisco (CA).
- Shön, D. A. (1984), *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*, Basic Books, New York.
- Simon, H. A. (1981), *The Science of the Artificial*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- Steelcase (eds) (2014), "Wellbeing", in *360°*, issue 8, pp. 11-13. [Online] Available at: <https://www.steelcase.com/content/uploads/sites/10/2015/02/360-wellbeing.pdf> [Accessed 5 May 2019].
- Verganti, R. (2009), *Design Driven Innovation. Changing the Rules of Competition by Radically Innovating What Things Mean*, HBS Press, Cambridge (MA).
- Vicari, S., Cillo, P. and Verona, V. (2011), "Capacità Creativa e Innovazione. Un modello interpretativo resource based", in *Sinergie*, n. 67/05, pp. 123-147.
- Zurlo, F. (2015), *Design delle Opzioni e nuovi spazi del lavoro*, in Il Prisma (ed.), *Now We Work*, McGraw Hill Education, Milano.
- Zurlo, F. and Cautela, C. (2014), "Design Strategies in Different Narrative Frames" in *Design Issues*, vol. 30, issue 1, pp. 19-35.

<sup>a</sup> FRANCESCO ZURLO, PhD in Industrial Design, is Full Professor of Design at the Polytechnic of Milano (Italy), where he teaches at the School of Design and Management Engineering. He is the Deputy Dean of the School of Design and Coordinator of the courses in product design. He is a Member of the final evaluation Commission of the ADI Index since 2012. Tel. +39 (0)2/23.99.72.60. E-mail: francesco.zurlo@polimi.it

Essays & Viewpoint

architecture

## PROCESSO, PROGETTO E ARCHITETTURA PROCESS, PROJECT AND ARCHITECTURE

Paolo De Marco<sup>a</sup>, Antonino Margagliotta<sup>b</sup>, Fran Silvestre<sup>c</sup>

### ABSTRACT

*Il concetto di sistematizzazione è un innovativo approccio al progetto che introduce un sistema di ordine con un metodo che procede per aggregazioni di parti ripetibili e regola le fasi del processo progettuale. Tali principi sono rintracciabili nelle teorizzazioni e sperimentazioni che conducono all'architettura contemporanea, come la serialità, la standardizzazione, la modularità che trasformano il progetto in processo e determinano una nuova estetica. I lavori dello studio Fran Silvestre Arquitectos si offrono come interessanti esemplificazioni che evidenziano la chiarezza del procedimento che opera attraverso la serialità e la definizione di configurazioni fondate sui rapporti dimensionali piuttosto che su fattori di scala (come insito nel concetto di tipo) da cui conseguono coerenti soluzioni strutturali e spaziali.*

The concept of systematization is an innovative approach to the project that introduces a system of order with a method that proceeds by aggregating repeatable parts and regulates the phases of the design process. These principles can be found in the theories and experiments that lead to contemporary architecture, such as seriality, standardization, modularity that transform the project into a process and determine a new aesthetic. The works of the Fran Silvestre Arquitectos studio represent interesting examples that highlight the clarity of the process that operates through seriality and the definition of configurations based on dimensional relationships rather than on scale factors (as inherent in the concept of type) from which coherent structural and spatial solutions derive.

### KEYWORDS

*processo, sistematizzazione, architettura, geometria, standard*

process, systematization, architecture, geometry, standard

A partire dal dualismo tra produzione artigianale e industriale, che inizia con la rivoluzione industriale, l'architettura avvia il grande rinnovamento con la diffusione delle nuove tecnologie (legate all'impiego del ferro, del vetro e dei nuovi materiali), la separazione delle scuole politecniche da quelle di belle arti (che si interpreta come il distacco tra tecnica e arte del costruire), i cambiamenti che avvengono nella cultura e nella società. Ha scritto Paul Valery (1964, p. 225) che «le Belle Arti furono istituite, i loro tipi e il loro uso furono fissati in un tempo molto distante dal nostro e da uomini il cui potere d'azione sulle cose era insignificante rispetto a quello di adesso. Il sorprendente aumento dei nostri mezzi, il livello di flessibilità e la precisione che possono raggiungere, le idee e le abitudini che introducono, ci assicurano cambiamenti vicini e molto profondi nell'antica industria del Bello».

Si tratta di una vera e propria rivoluzione in cui anche il modo di pensare il progetto è messo in discussione e comincia a definirsi come un autentico processo che, sin dall'inizio, lega questioni fondamentali – come il concetto di standard – ponendosi come un tema, che resterà nella cultura architettonica contemporanea, connesso com'è non solo alla nozione di tipo ma anche alla trasformazione dell'attività progettuale stessa, teorizzata e assunta come sistematizzazione. Quest'ultima è collegata all'industrializzazione dei processi produttivi e dell'architettura, in modo particolare alla costruzione della casa e alla produzione degli arredi. Inizialmente l'applicazione di questi principi sembra investire solo gli aspetti dimensionali dell'architettura e la ricerca di misure minime (sia per la riduzione dei costi di produzione sia nella definizione di spazi minimi socialmente ed eticamente accettabili) ma ben presto determina nuove finalità e innovative metodologie per il progetto di architettura. Attraverso un'analisi storico-comparativa il contributo rilegge il significato che il concetto di sistematizzazione assume nella disciplina architettonica e – in senso proiettivo – nella costruzione dell'opera, a partire dalla seconda industrializzazione, per poi dimostrare il rinnovato ed esteso valore nella contemporaneità, alla luce di una esperienza progettuale che è espressione dell'automazione industriale (Industry 4.0).

*Standard* – L'applicazione dei principi della produzione industriale, com'è noto, comporta un cam-

biamento radicale nel linguaggio dell'architettura; ciò è dimostrato già dalle prime sperimentazioni dell'Ottocento (delle quali l'archetipo è certamente il Crystal Palace, costruito da Joseph Paxton a Londra per l'Esposizione Universale del 1851, ma i cui caratteri sono presenti anche nelle opere di Eiffel, di Contamin, di Le Baron Jenney e di Henebique) che applicano principi compositivi attraverso accostamenti meccanici (con il principio della ripetizione di una struttura modulare). Questa metodologia è fondata sulla normalizzazione, standardizzazione e prefabbricazione degli elementi costruttivi, sviluppati indipendentemente della struttura e dalle loro finiture, con predilezione per le forme elementari che riducono al minimo l'arbitrio del progettista e propongono vantaggi economici e costruttivi. Tutto questo determina innovative soluzioni spaziali e formali per la nuova architettura e, in definitiva, una nuova estetica.

Alle ricerche sulla massima economia nel consumo del suolo e nella riduzione dei costi di costruzione (in Europa legato al problema delle abitazioni) si associa la sperimentazione sulla rigorosa razionalità delle forme, intese come deduzioni logiche dipendenti da esigenze obiettive (Argan, 1970, pp. 324, 325). Per Heinrich Tessenow questo non implica una limitazione della creatività dei progettisti; l'architetto/urbanista tedesco già nel 1916 afferma che «assumere l'uniformità vuol dire sviluppare una notevole sensibilità volta in una sola direzione; perché occorre concentrare tutta l'attenzione sulle cose che si assomigliano per poterne cogliere tutte le sottili differenze; questo è il limite che caratterizza l'uniformità e anche l'ordine» (Tessenow, 1998, p. 103). Del resto, nei primi decenni del Novecento le idee razionaliste hanno trovato stimoli nelle moderne tecnologie e nei nuovi materiali che Le Corbusier tenta di riunificare e coniarle a una nuova estetica che procede con un sistema di proporzionamenti armonici verso un'idea di perfezione e di bellezza: «We must aim at the fixing of standards in order to face the problem of perfection. The Parthenon is a product of selection applied to a standard. Standards are a matter of logic, analysis and minute study: they are based on a problem which has been well 'stated'. A standard is definitely established by experiment» (Le Corbusier, 1986, p. 131).

Questa ricerca della tipizzazione e standardizzazione degli edifici e delle componenti architettoniche si esplicita soprattutto nella necessità di defi-



Fig. 1, 2 - Silence House, 2019; Water Mirror House, 2016 (credits: Fran Silvestre Arquitectos).

nire il progetto con forme e strutture ‘adeguate’ (sotto molteplici aspetti) e di garantire riproducibilità e serialità; infatti, nel capitolo ‘Case in Serie’, Le Corbusier (1986, p. 227) precisa che «mass-production is based on analysis and experiment. Industry on the grand scale must occupy itself in building and establish the elements of the house on a mass-production basis». Tuttavia, la questione dello standard non è un procedimento di mera produzione quanto di autentica scelta progettuale: per Le Corbusier «a standard is established on sure bases, not capriciously but with the surety of something intentional and of a logic controlled by analysis and experiment» (1986, p. 136); contemporaneamente è ricerca di ordine spirituale (o emo-

zionale) dato che lo standard implica la ‘selezione’ di tutte le potenzialità, teoriche e pratiche, e la definizione di un modello riconoscibile e conforme alla funzione e alla funzionalità necessarie, aspirando al massimo rendimento «and a minimum use of means, workmanship and material, words, forms, colours, sounds» (1986, p. 137).

Altri Maestri, percorrendo strade differenti, si ritrovano impegnati nella ricerca sulla standardizzazione e sulla serialità. Nel 1919 Walter Gropius fonda a Weimar la Staatliches Bauhaus in cui pittura, fotografia, teatro, arte tessile, architettura e pianificazione urbana sono insegnati all’interno di un unico percorso e seguendo una nuova didattica basata sulla conoscenza tecnologica (Klaus and Bitt-

ner, 2017). Secondo Gropius la forma della modernità può essere raggiunta solo con lo studio di nuovi materiali e i loro processi di produzione: «The Bauhaus workshops were really laboratories for working out practical new designs for present-day articles and improving models for mass-production» (Gropius, 1965, p. 53). Nel Bauhaus si forma anche Ernst Neufert che contribuisce in modo determinante e capillare al consolidamento in Europa del concetto di standard. Ispirandosi alla standardizzazione del formato della carta da ufficio, promossa nel 1922 dal governo tedesco per ridurne i costi, razionalizzarne la produzione, facilitarne il trasporto (influenzando sui formati dei libri, sulle dimensioni delle librerie e delle scrivanie, fino alla progettazione degli ambienti – uffici, banche, biblioteche, spazi amministrativi – che cominciano a utilizzare arredi che hanno nuove misure), nel 1938 è chiamato da Albert Speer a sovrintendere ai processi di standardizzazione per le nuove edificazioni di Berlino; questa è l’occasione per applicare l’efficienza e la razionalità tipica della catena di montaggio in ambito architettonico e determinare soluzioni architettoniche anche di facile rapida esecuzione, oltretutto economiche.<sup>1</sup>

Negli anni ‘20 del Novecento, anche per Ludwig Mies van der Rohe la nuova architettura è indissolubile dalle necessità dell’industrializzazione, con evidenti implicazioni sul piano progettuale e tecnico: «Nell’industrializzazione dell’edilizia – afferma – io vedo il problema centrale della costruzione della nostra epoca. Se si riesce di attuare questa industrializzazione allora i problemi sociali, economici, tecnici e anche quelli artistici potranno essere risolti facilmente» (Mies van der Rohe cit. in Pizzigoni, 2010, p. 15). Negli Stati Uniti, verso la metà del XX secolo, la ricerca architettonica si concentra sulla crescente domanda di case, ma questa volta per la nuova classe borghese. L’esperienza delle Case Study Houses, promosse tra il 1945 e il 1966 dalla rivista Arts & Architecture, coinvolge architetti come Richard Neutra, Craig Ellwood, Charles e Ray Eames, Pierre Koenig ed Eero Saarinen con un programma che intende sostenere un’architettura residenziale efficiente e accessibile, usando nuovi materiali e innovativi sistemi costruttivi. Le più note di queste case sono la ‘numero 8’ (the Eames House), costruita interamente con sistemi costruttivi standard, e la ‘numero 22’, realizzata da Koenig sulla collina di Hollywood. Nonostante tali prototipi non siano stati tutti costruiti, alcuni rappresentano un riferimento fondamentale per la moderna architettura statunitense (Smith, 2009).

Un’altra importante ricerca, quasi parallela, è la Core House che Mies van der Rohe sviluppa negli anni ‘50: una casa-modello che ha pianta quadrata, disponibile (quasi come un’automobile) nelle versioni con lato da 40, 50 e 60 piedi, e pareti esterne in vetro; la struttura è composta da soli quattro pilastri in acciaio collocati al centro delle facciate che sostengono la copertura piana; all’interno, le pareti e gli arredi suddividono lo spazio (in molte possibili configurazioni) intorno al nucleo dei servizi, il ‘core’ della casa<sup>2</sup> (Douglas, 1952). Questo genere di progetto è paragonabile alla risoluzione di un problema matematico in cui alcune variabili vengono fissate: il luogo è indefinito e il terreno genericamente pianeggiante, la struttura è modulare e ripetibile, così come le facciate e i pannelli interni, mentre i componenti tec-

nologici e gli impianti sono collocati nel nucleo dei servizi. Giungendo alla storia più recente, è interessante il punto di vista di Josep Maria Montaner il quale, descrivendo i 'sistemi razionali' dell'architettura contemporanea, individua due tendenze minimaliste storicamente presenti a cui corrispondono due ambiti di ricerca: il primo, chiamato 'metodologico ed essenzialista', sviluppa un razionalismo tanto radicale da convertirsi in puro metodo, un 'limite ossessivo' – come dichiara l'autore – che trasforma il razionale in 'delirio mistico'; il secondo propende per un 'minimalismo oggettuale e geometrico' che rifiuta la concezione di un'architettura intesa come sistema di intersezioni e la riduce a volumi unitari, silenziosi e isolati. Esempi di quest'approccio sono alcuni progetti di Le Corbusier (come l'Unité d'habitation che interpreta la città come somma di edifici autonomi), le opere di Ludwig Hilberseimer e quelle di Mies van der Rohe (Montaner, 2008).

*Serialità e ripetizione* – Il discorso sulla ricerca dell'architettura come processo si arricchisce approfondendo il principio della ripetizione e della serialità, che per il progetto non sono da considerarsi come questioni meccanicistiche o deterministiche ma come ambiti di studio sul tipo, sull'arte combinatoria, sulla componibilità. Queste teorie restano legate alle ricerche di inizio Ottocento nell'École Polytechnique di Parigi e agli insegnamenti di Jean-Nicolas-Louis Durand che elabora un sistema di regole ragionevoli e pratiche sui sistemi associativi e sul metodo di aggregazione di spazi semplici<sup>3</sup>. Durand, com'è noto, «partendo da unità costruttive e figurative minime, fissando degli organismi più complessi, articolando questi secondo precise regole combinatorie, giunge a configurare un *meccanismo* idoneo a conformare ogni sorta di edificio» (De Fusco, 1987, p. 11); e ciò prima in astratto a prescindere dalle destinazioni d'uso e poi in base alle esigenze distributive dei vari temi. Queste teorizzazioni adatte alla vastità dei compiti del progettista (che si ritroveranno ampiamente sperimentate grazie alla diffusione dei suoi manuali) conducono a pensare l'edificio come un organismo architettonico in formazione, in cui sono fondamentali le logiche combinatorie associate a regole di modularità e uniformità strutturale, con la possibilità di considerarlo in uno stato di possibile accrescimento.

Nell'ambito di questa ricerca si inserisce la teoria de 'l'ausettismo architettonico', elaborata da G. B. F. Basile nel 1863, il cui nome (αὐξητικός in greco significa 'capace di aumento') e il cui fondamento derivano dal mondo botanico, poiché il concetto è legato alle leggi di accrescimento degli organismi viventi, e viene utilizzato per identificare le sostanze capaci di stimolare la crescita delle cellule. Ausettico è quindi «un edificio completo e così organizzato da potere subire aumenti in ogni stato successivo di grandezza, senza che perciò vengano meno le proprietà inerenti al medesimo, né la sua euritmica bellezza esteriore» (Basile, 1870, p. 5)<sup>4</sup>. L'ausettismo architettonico si offre, pertanto, come un metodo progettuale capace di assicurare l'ampliamento futuro di un edificio per addizioni armoniche in tutte le direzioni ma, in termini molto

più generali e creativi, come un processo che utilizzando la logica combinatoria di elementi simili opera con l'organizzazione e composizione delle parti. Nel lavoro di Le Corbusier anche questo principio, ancor più che del museo a crescita illimitata (1931) che resta deterministico, è chiaro nel progetto dell'Ospedale di Venezia (1964) dove emerge la precisazione del tipo con un modello organizzativo che si struttura, da un punto di vista concettuale e metodologico, per addizioni successive (spaziali e temporali).

Negli ultimi decenni del '900 il processo di standardizzazione e industrializzazione seriale per certi versi sembra privilegiare gli aspetti edilizi (per ridurre costi di costruzione, tempi di esecuzione, manodopera e per aspirare a una migliore rispondenza ai requisiti tecnici del progetto), per altri diventa rappresentativo di una ricerca spaziale e linguistica, i cui esiti più evidenti riguardano l'architettura abitativa, e che ha i sistemi più noti nell'agglomerato cellulare (con le cellule autoportanti dell'Habitat 67 di Moshe Safdie per l'Expo di Montreal) e nel 'plug-in' (che aggrega cellule in un grande scheletro). A questo tipo di ricerca è anche da collegare la poetica 'metabolista' (emblematica è l'Esposizione universale di Osaka del 1970) che affronta il progetto come un complesso organismo vivente: i complessi residenziali, infatti, sono immaginati come insieme di capsule monocellulari periodicamente rinnovabili e sostituibili, come nella famosa Nagakin Capsule Tower

di Tokyo realizzata da Kisho Kurokawa (1970-72).

*Sistematizzazione dell'architettura. L'esperienza dello studio Fran Silvestre Arquitectos* – La più recente esperienza progettuale sulla standardizzazione si integra alle nuove tecnologie produttive della IV Rivoluzione Industriale che hanno ridefinito l'organizzazione del lavoro, introdotto nuovi modelli di business e aumentato le prestazioni qualitative del prodotto. In ambito architettonico essa fa riferimento all'uso di elementi prefabbricati, all'impiego e all'assemblaggio di moduli di varia natura, alla prefabbricazione stessa dell'intero edificio, anche se esistono, poi, altri percorsi di ricerca come quello adottato dallo studio valenziano Fran Silvestre Arquitectos: l'intero processo di progettazione e costruzione è definito secondo il principio della 'sistematizzazione dell'architettura', da intendersi come un 'sistema di ordine' che consiste nella regolarizzazione delle varie fasi del processo (per procedere attraverso aggregazioni di elementi ripetibili anche se modificabili) con l'obiettivo di ottenere un'organizzazione più efficiente, in accordo con il risultato che si vuole ottenere (Rubio and Camarasa, 2017; De Marco, 2018; Pedreirinho, 2019). La sistematizzazione non riguarda solo il progetto e la sua costruzione ma coinvolge l'intera organizzazione interna dello studio, al punto da stabilire persino meccanismi di lavoro simili ai modelli tayloristi e fordisti: le fasi progettuali sono suddivise in processi e sotto-processi, eseguiti da

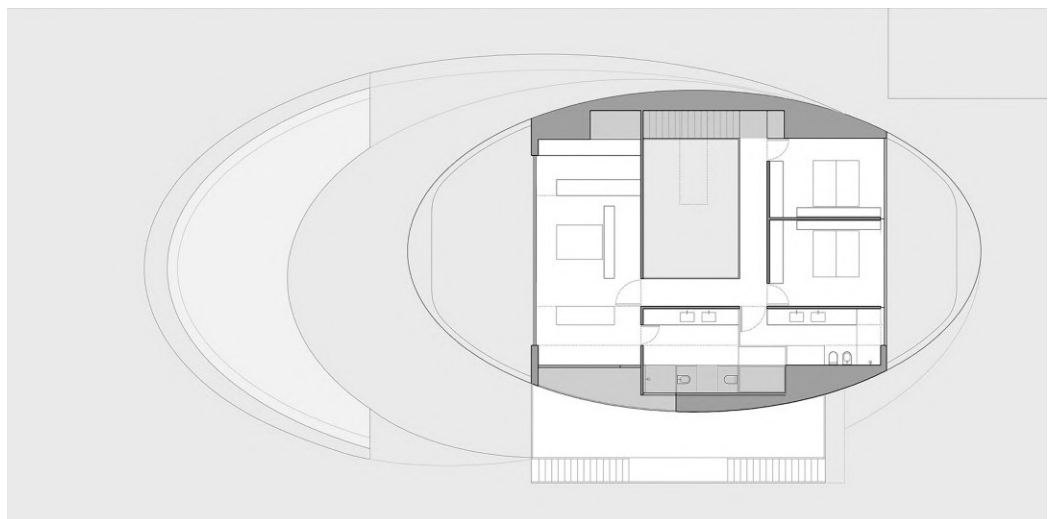


Fig. 3, 4 - Balint House, 2014 (credit: D. Opazo); Plan of the first floor.





Fig. 5 - House on mountainside overlooked by a castle, 2009 (credit: F. Alda).

professionisti altamente specializzati in campi differenti (De Marco, Silvestre and Camarasa, 2018). Fissato un tempo per ognuno dei sotto-processi, questi si susseguono in una sorta di catena di montaggio, dal progetto all'esecuzione dell'opera. Aspetti come la standardizzazione, la serialità, la modularità divengono centrali nel processo, determinando procedure ed esiti.

Il lavoro manuale supporta l'intera fase di progettazione: i primi disegni e gli schizzi sono sintetici, fissano l'idea secondo uno schema lineare; un'intensa attività di disegno elabora le possibili soluzioni, insieme alla produzione di modelli a varia scala; una volta risolto il programma funzionale, la rappresentazione tecnica consente di specificare

care i dettagli necessari alla cantierabilità. In accordo con le esigenze progettuali, si impiegano materiali e tecnologie innovative e si studiano soluzioni tecniche specifiche. La metodologia progettuale è fondata, inoltre, sull'adozione di particolari 'tipi' – o 'sistemi' – architettonici, derivati da un meticoloso studio delle relazioni tra le parti che si definiscono come una serie di configurazioni fondate su rapporti dimensionali, e quindi geometrici, piuttosto che su fattori di scala (come insito nel concetto di tipo) con schemi strutturali implicitamente associati. L'impiego di queste forme dà luogo a una serie di progetti, garantendo una migliore distribuzione delle parti e stabilendo una relazione tra coerenza formale, struttura portante e manifestazione

del concetto di ordine. Le condizioni progettuali, la relazione con il luogo e col paesaggio conducono alla scelta di un sistema che viene poi sviluppato nelle sue specificità.

Il 'tipo' viene a volte impiegato singolarmente, a volte aggregato per configurare soluzioni più complesse che, tenendo conto delle proprietà, determina tre famiglie (o gruppi) definibili in base all'adozione di 'geometrie di base', 'geometrie complesse' e 'ripetizioni'. Nel primo gruppo gli elementi, impostati spesso sulla geometria del quadrato o del rettangolo, possono presentarsi singolarmente o combinati attraverso operazioni di sovrapposizione o giustapposizione, generando configurazioni di piani, di masse o di atri<sup>5</sup> (Figg. 1-4). Il secondo gruppo comprende soluzioni più complesse, determinate da deformazioni di forme semplici in cui alcune pareti ruotano intorno agli spigoli, alterando la percezione dei volumi e scavandoli per generare profonde ombre che proteggono ampie aperture<sup>6</sup> (Figg. 5, 6). Infine, l'applicazione del tema della 'ripetizione' perviene a progetti in cui il medesimo tipo si ripete sovrapponendosi e estendendosi organicamente come un 'sistema colonizzatore' o 'dendritico'. È il caso del progetto per le Terme di Alzahara, in cui da una pianta curva si genera un sistema che si adatta alla topografia, che aumenta o diminuisce la propria densità in relazione al programma funzionale. Il medesimo tipo, dunque, impiegato singolarmente, rappresenta il principio fondante del sistema (quasi l'archè del pensiero pitagorico) da cui tutto può essere generato. Il tipo identifica l'elemento di base che spesso, specie nei processi progettuali che poi procedono per 'ripetizione', contiene in germe l'idea della molteplicità dalle cui combinazioni si possono determinare configurazioni spaziali potenzialmente infinite.

Alcuni di questi progetti sperimentano le potenzialità di tale approccio sino alle estreme conseguenze, in cui il tipo è un elemento lineare e curvo, una geometria complessa che implicitamente possiede un'intrinseca dinamicità. La Casa in un Campo de Olivos, infatti, è generata dalla sovrapposizione di due elementi lineari curvi, specchiati secondo uno degli assi: la composizione (simmetrica in pianta ma sviluppata su due livelli) si particolarizza con ampie aperture in corrispondenza delle camere da letto e con alcuni scavi nelle intersezioni tra i volumi, determinando una continuità tra interno ed esterno che richiama la spazialità della celebre Casa Ugalde di Josep Antoni Coderch (Figg. 7-9). Moltiplicato con ulteriori sovrapposizioni che slittano orizzontalmente, la geometria curva genera una composizione dinamica di ampio respiro nella Casa de los Siete Jardines. Ancora una volta, in un luogo prevalentemente naturale, il progetto si inserisce tra le irregolarità del suolo con una varietà di spazi chiusi e aperti, coperti e scoperti, tessendo una trama che accoglie il paesaggio all'interno della casa (Figg. 10, 11).

Lo sviluppo verticale del tipo, in una variazione di scala e di funzione, configura anche il progetto della Torre Eòlica, già considerato come nuovo simbolo del porto di Valencia<sup>7</sup>. Questa infrastruttura, alta 170 metri, alloggia al suo interno circa mille turbine eoliche ad asse verticale, capaci di soddisfare il fabbisogno energetico delle attrezzature del porto. La geometria risulta particolarmente efficiente per la resistenza al vento, che viene allo stesso tempo convogliato in alcuni punti specifici. La

torre, apparentemente monolitica dall'esterno, è rivestita da una maglia metallica che permette il passaggio dell'aria e il funzionamento delle turbine, e comprende spazi pubblici, uffici e un belvedere panoramico. La ricerca architettonica si unisce dunque alle tecnologie più avanzate dell'ingegneria energetica e propone una soluzione alternativa ai sistemi eolici più diffusi, conferendovi un valore ambientale positivo e generando energia e bellezza per la città (Figg. 12, 13). All'altro limite di questa originale metodologia di lavoro (che dalla piccola casa va al sistema colonizzatore orizzontale sino alla grande infrastruttura verticale) il medesimo tipo (ma a una scala evidentemente ridotta) genera il tavolo Daphne in marmo e vetro (Fig. 14).

*Conclusioni* – La metodologia progettuale e l'impiego dei tipi, prendendo spunto dalla storia dell'architettura – ricordiamo soprattutto le Case in Serie – reinterpretano le sperimentazioni dello scorso secolo, aggiornandole secondo il linguaggio e le esigenze della contemporaneità. I processi di standardizzazione e sistematizzazione hanno contribuito a promuovere l'architettura moderna e a definirne finalità e metodi. Le avanguardie moderne, a loro volta, hanno interpretato il rinnovamento della società e generato una rivoluzione nel modo di concepire e costruire lo spazio dell'uomo, l'architettura e la città stessa. Nel terzo millennio la società è ormai consapevole dei cambiamenti necessari e percepisce la necessità di rinnovare e/o innovare il proprio approccio anche alle questioni dell'architettura. Essere andati alle origini (teoriche e sperimentali) di questo pensiero ne restituisce il valore e la validità, non più in forma speculativa ma attraverso la ricerca applicata, come dimostrano le esperienze dello studio Fran Silvestre Arquitectos.

La sistematizzazione appare come una vocazione alla tipizzazione e alla razionalità, al punto che per queste opere si appropriano le parole che De Fusco utilizza per definire i principi architettonici della modernità: «Definire un'architettura razionale vuol dire che in essa prevale il momento della ragione su quello della fantasia, quello oggettivo su quello soggettivo, quello causale su quello casuale; un'architettura razionale inoltre è tale se assolve a esigenze funzionali senza sprechi, se risponde a una perfetta logica costruttiva, se è tutta prevedibile in fase di progetto [...]» (De Fusco, 1987, p. 8).

Anche se il concetto di sistematizzazione resta una delle possibili strade per l'innovazione dell'architettura, tuttavia esso propone un fondamentale cambio di paradigma su tutto il processo di progettazione e costruzione del manufatto, a partire dal modello organizzativo dello studio. L'uso di queste metodologie permette una maggiore efficienza del progetto che non prescinde però dal fattore umano e dalla presenza di una poetica che sostiene e guida la ricerca architettonica (che altrimenti rischia di rimanere sterile), in cui al procedimento analitico si lega indissolubilmente il momento sintattico in cui opera la creatività (Margagliotta, 2018). Se infatti alcune fasi del processo possono essere quasi automatizzate, le specificità di ogni progetto architettonico comportano la necessità di un metodo flessibile e adattabile, in cui rimane fondamentale l'attività intellettuale: il disegno manuale e la produzione di modelli – strumenti essenziali del progetto – restano indispensabili per la concezione de-

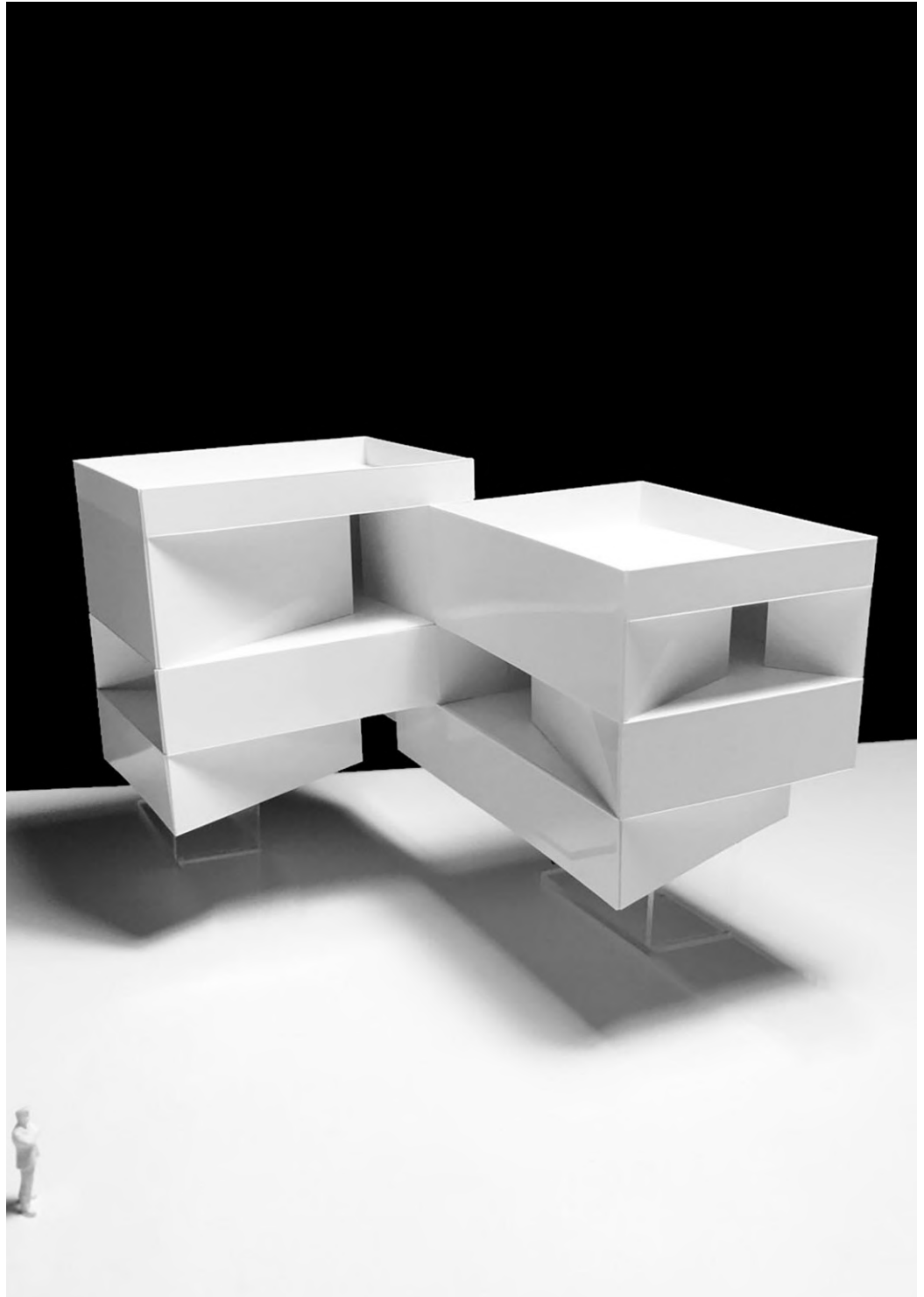


Fig. 6 - Fababu house (2018): model.

gli spazi e per il raggiungimento della precisione che presiede alla costruzione di queste architetture. Il metodo non si limita alla ricerca dell'elemento base e non è fondato su un sistema di montaggio ma impone una sensibilità compositiva: la sapienza con cui si utilizzano il pieno e il vuoto, la luce e l'ombra, i materiali, gli strumenti per mezzo dei quali si giunge alle invenzioni spaziali, alle soluzioni tecniche sofisticate (che magari poi vengono impiegate in ogni lavoro) e che necessita di una sensibilità – in definitiva – verso le forme e la bellezza. La ricerca dell'innovazione resta, dunque, una ricerca non solamente sullo spazio dell'uomo e sulla bellezza, ma anche sui modi con cui entrambe si possano costruire.

#### ENGLISH

*Starting from the dualism between artisanal and industrial production, which dates back with the industrial revolution, architecture begins the great renewal thanks to the spread of new technologies (related to the use of iron, glass and new materials), to the separation of polytechnic schools from those of fine arts (which is interpreted as the separation between technique and the art of building), to the changes that take place in culture and in society. Paul Valery wrote (1964, p. 225) that «our Fine Arts were developed, their types and uses were established, in times very different from the present, by men whose power of action upon things was insignificant in comparison with ours. But the*



amazing growth of our techniques, the adaptability and precision they have attained, the ideas and habits they are creating, make it a certainty that profound changes are impending in the ancient craft of the Beautiful».

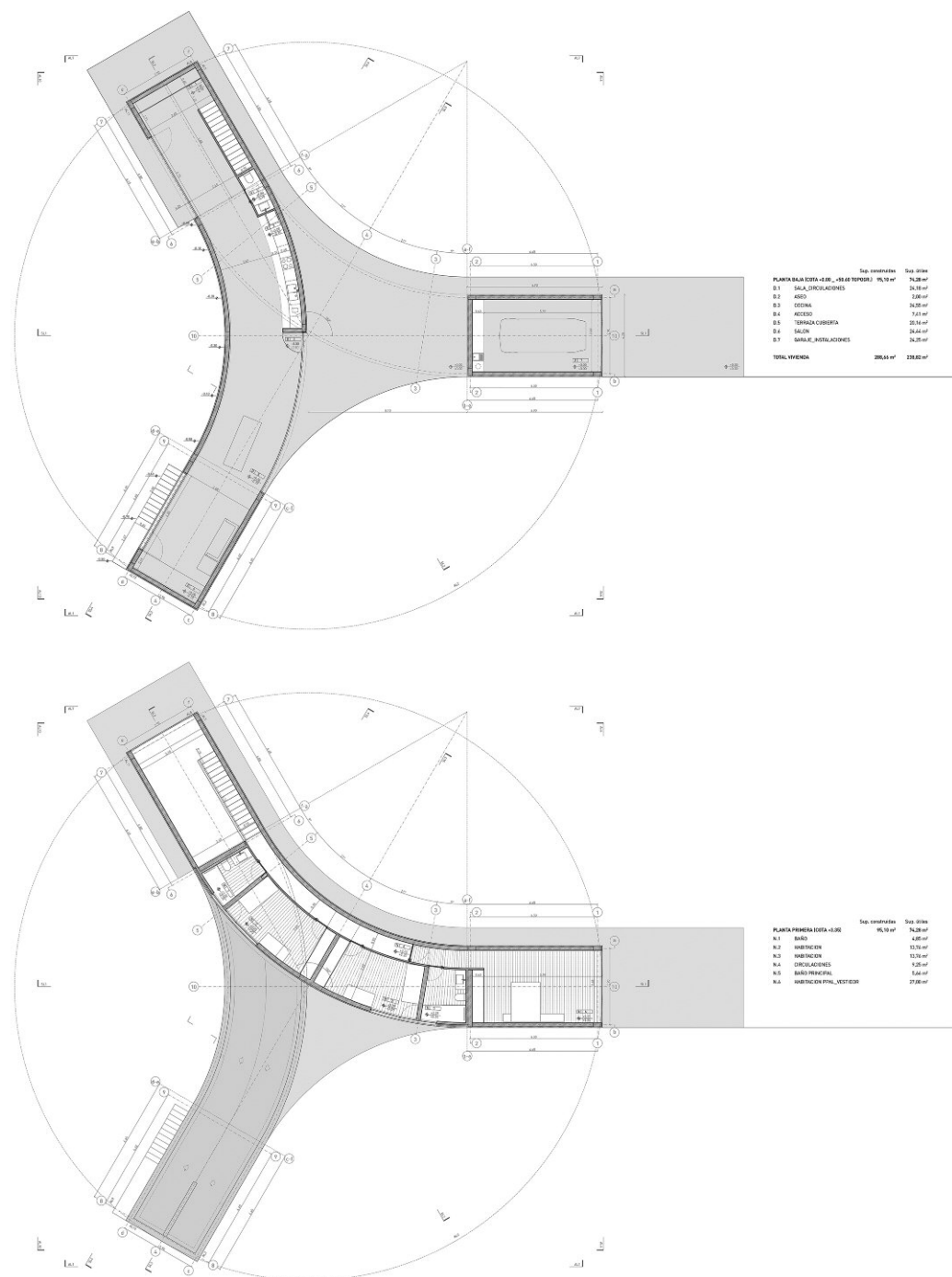
This is a real revolution in which the way of thinking about the project is also called into question and begins to be defined as an authentic process that, from the beginning, links fundamental issues – such as the concept of standards – to being a theme, which will remain in contemporary architectural culture, connected as it is not only to the notion of type but also to the transformation of the planning activity itself, theorized and assumed as systematization. The latter is connected to the industrialization of production processes and architecture, in particular the construction of the house and the production of furnishings. Initially the application of these principles seems to involve only the dimensional aspects of architecture and the search for minimal measures (both for the reduction of production costs and in the definition of minimum socially and ethically acceptable spaces) but soon determines new and innovative goals methodologies for architectural design. Through a historical-comparative analysis the contribution re-reads the meaning that the concept of systematization assumes in the architectural discipline and – in a projective sense – in the construction of the work, starting from the second industrialization, to then demonstrate its renewed and extended value in the contemporary world, in the light of a design experience that is an expression of industrial automation (Industry 4.0).

Standard – The application of the principles of industrial production entails a radical change in the language of architecture, as is shown by the first experiments of the nineteenth century (of which the archetype is the Crystal Palace, built by Joseph Paxton in London for the Universal Exhibition of 1851 but whose characters are also present in the works of Eiffel, Contamin, Le Baron Jenney and Hennebique) which apply compositional principles through mechanical combinations (with the principle of repeating a modular structure). This methodology is based on the normalization, standardization and prefabrication of the construction elements developed independently of the structure and their finishes, with a preference for elementary forms that reduce the designer's will to a minimum and propose economic and constructive advantages. All this determines innovative spatial and formal solutions for the new architecture and, ultimately, a new aesthetic.

The research on the maximum economy in land consumption and in the reduction of construction costs (in Europe linked to the housing problem) is associated with experimentation on the rigorous rationality of forms, understood as logical deductions dependent on objective needs (Argan, 1970, pp. 324, 325). For Heinrich Tessenow this does not imply a limitation of the designers' creativity, and already in 1916 he states that «assuming uniformity means developing a remarkable sensitivity

Fig. 7-9 - House in an olive grove (2006): Model; Plan of the ground floor; Plan of the first floor.

Next page. Fig. 10, 11 - House of the seven gardens: Model; Render.



aimed only in one direction; because it is necessary to concentrate all the attention on the things that are similar to be able to grasp all the subtle differences; this is the limit that characterizes uniformity and also order» (Tessenow, 1998, p. 103). Already in the first decades of the twentieth century rationalist ideas found stimulus in modern technologies and new materials that Le Corbusier tries to reunify and combine them with a new aesthetic that proceeds with a system of harmonious proportions directed to an idea of perfection and beauty: «We must aim at the fixing of standards in order to face the problem of perfection. The Parthenon is a product of selection applied to a standard. Standards are a matter of logic, analysis and minute study: they are based on a problem which has been well 'stated'. A standard is definitely established by experiment» (Le Corbusier, 1986, p. 131).

This search for the typification and standardization of buildings and architectural components is made explicit above all in the need to define the project with 'appropriate' forms and structures (under multiple aspects) and to guarantee reproducibility and seriality; in fact, in the chapter *Mass-production Houses*, Le Corbusier (1986, p. 227) specifies that «mass-production is based on analysis and experiment. Industry on the grand scale must occupy itself in building and establish the elements of the house on a mass-production basis». And yet, the question of the standard is not a mere production process but an authentic design choice: for Le Corbusier «a standard is established on sure bases, not capriciously but with the surety of something intentional and of a logic controlled by analysis and experiment» (1986, p. 136); at the same time it is a research of a spiritual (or emotional) order since the standard implies the selection of all the theoretical and practical potentials, and the definition of a recognizable model that conforms to the necessary functionalities, aspiring to maximum performance «and a minimum use of means, workmanship and material, words, forms, colours, sounds» (1986, p. 137).

Other Masters along different paths find themselves engaged in research on standardization and seriality. In 1919 Walter Gropius founded the *Staatliches Bauhaus* in Weimar in which painting, photography, theater, textile art, architecture and urban planning are taught within a single path and following a new teaching based on technological knowledge (Klaus and Bittner, 2017). According to Gropius, the forms of modernity can be reached only through the study of new materials and their production process: «The Bauhaus workshops were really laboratories for working out practical new designs for present-day articles and improving models for mass-production» (Gropius, 1965, p. 53). Ernst Neufert is also formed in the Bauhaus, contributing decisively and widely to the consolidation of the concept of standards in Europe. Inspired by the standardization of office paper format, promoted in 1922 by the German government to reduce costs, rationalize production, facilitate transport (influencing book sizes, bookcase and desk sizes, and office design, banks, libraries, administrative spaces – which begin to use furnishings that have new dimensions), in 1938 Neufert is called by Albert Speer to oversee the standardization processes for the new Berlin buildings; this is the occasion to apply the efficiency and rationality typical of the assembly line in the architectural



field and to determine architectural solutions even of rapid execution, as well as inexpensive.<sup>1</sup>

In the first decades of the twentieth century, also for Ludwig Mies van der Rohe the new architecture is indissoluble from the needs of industrialization, with obvious implications for design and techniques. «In the industrialization of construction – he says – I see the central problem of the construction of our age. If this industrialization can be implemented then the social, economic, technical and even artistic problems can be easily solved» (Mies van der Rohe cit. in Pizzigoni, 2010, p. 15). In the USA, towards the middle of the century, the architectural panorama focuses on the growing demand for housing by the new bourgeois class. The experiences of *Case Study Houses*, sponsored by *Arts & Architecture* magazine between 1945 and 1966, involved many important architects such as Richard Neutra, Craig Ellwood, Charles and Ray Eames, Pierre Koenig and Eero Saarinen. The aim of the program was to promote an accessible and efficient residential architecture,

using new materials and innovative construction systems. Perhaps the most famous of these houses is the 'number 8' (the Eames House), built entirely with standard production elements, or the 'number 22', by Koenig in Hollywood Hills. Although the prototypes were not all built, some of them became fundamental references of modern American architecture (Smith, 2009).

Another important research, almost parallel to the *Case Study Houses*, is the *Core House* that Mies van der Rohe developed in the 1950s: a model house with a square plan, available (almost like a car) in 40, 50 or 60 foot size, and exterior glass walls; the structure consists of only four steel pillars placed in the centre of the facades supporting the flat roof; inside, the walls and furnishings subdivide the space (in many possible configurations) around the 'core' of the services<sup>2</sup> (Douglas, 1952). This kind of project is comparable to the resolution of a mathematical problem in which some variables are fixed: the place is undefined and the ground is generally flat, the structure is modular



Fig. 12, 13 - Torre Eòlica (2009): views from the port and from above.

and repeatable, as are the facades and interior panels; while the technological components and installations are located in the core of the services. Coming to the most recent history, it is interesting the point of view of Josep Maria Montaner who, describing the 'rational systems' of contemporary architecture, identifies two historically present minimalist tendencies to which two research fields correspond: the first, called 'methodological and essentialist', develops a rationalism so radical as to be converted into pure method, an 'obsessive limit' – as Montaner describes it – that transforms the rational into a 'mystical delirium'; the second group includes an 'objectual and geometric minimalism' that rejects the conception of an architecture as a system of intersections and reduces it to unitary, silent and isolated volumes. For Montaner, examples of this approach are some projects by Le Corbusier (such as the Unité d'habitation that interprets the city as the sum of autonomous buildings), the works of Ludwig Hilberseimer and those of Mies van der Rohe (Montaner, 2008).

Seriality and repetition – The discourse on architectural research as a process is enriched by deepening the principle of repetition and seriality, which for the project are not to be considered as mechanistic or deterministic questions but to be included in the field of type studies, combinatorial art, on modularity. These theories remain linked to early nineteenth-century research in the École Polytechnique in Paris and to the teachings of Jean-Nicolas-Louis Durand which elaborates a system of reasonable and practical rules on associative systems and on the method of aggregation of simple spaces<sup>3</sup>. Durand, as is known, «starting from minimal constructive and figurative units, fixing more complex organisms, articulating these according to precise combinatorial rules, comes to configure a suitable 'mechanism' to conform every sort of building» (De Fusco, 1987, p. 11); this process is initially abstract, regardless of the destina-

tions of use, and then based on the distributional needs of the various themes. These theorizations adapted to the vastness of the designer's tasks (which will be widely experimented thanks to the diffusion of his manuals), lead to think of the building as an architectural organism in formation in which the combinatorial logics associated with rules of modularity and structural uniformity are fundamental, with the possibility of being considered in a state of possible growth.

Within the framework of this research is the theory of 'ausettismo architettonico', developed by G. B. F. Basile in 1863, whose name (αὐξητικός in Greek means 'capable of increase') and whose foundation derive from the botanical world since the concept is linked to the growth laws of living organisms and is used to identify substances capable of stimulating cell growth. Ausettico is therefore «a complete building and so organized that it can undergo increases in every successive state of magnitude, without losing its properties or its eurythmic external beauty» (Basile, 1870, p. 5)<sup>4</sup>. Therefore, the 'ausettismo' is a design method capable of ensuring the future expansion of a building by harmonic additions in all directions but, in much more general and creative terms, it is a process that uses the combinatorial logic of similar elements to work with the organization and composition of the parts. In Le Corbusier's work, this principle, even more than in the Museum of Unlimited Growth (1931) which remains deterministic, is clearly used in the project of the Hospital of Venice (1964) where the type emerges as an organizational model that is structured, from a conceptual and methodological point of view, for subsequent additions (spatial and temporal), representative of the process of standardization and serialization.

In the last decades of the 1900s the process of standardization and serial industrialization seems to favor building aspects (to reduce construction costs, execution times, labor and to aspire to a better compliance with the technical requirements of

the project), for others it becomes representative of a spatial and linguistic research, whose most evident results concern the housing architecture, and which has the best known systems in the cellular agglomeration (with the self-supporting cells of the Habitat 67 by Moshe Safdie for the Montreal Expo) and in the 'plug-in' (which aggregates cells into a large skeleton). The 'metabolist' poetic (the Osaka Universal Exposition of 1970 is the emblem of this approach) is also related to this type of research. It considers the project as a complex living organism: residential complexes, in fact, are imagined as a set of capsules Monocellular periodically renewable and replaceable, as in the famous Nakagin Capsule Tower in Tokyo created by Kisho Kurokawa (1970-72).

Systematization of architecture. The experience of the Fran Silvestre Arquitectos studio – The most recent design experience on standardization is integrated with the new production technologies of the Fourth Industrial Revolution that have redefined the organization of work, introduced new business models, increased the qualitative performance of the product. In the architectural field it refers to the use of prefabricated elements, to the use and assembly of modules of various kinds, to the prefabrication of the entire building, even if there are other research paths such as the one adopted by the Valencian studio Fran Silvestre Arquitectos: the entire process of design and construction is defined according to the principle of 'systematization of architecture', to be understood as a 'system of order' which consists in the regularization of the various phases of the process (to proceed through aggregations of elements repeatable and modifiable), with the aim of achieving a more efficient organization, in accordance with the result to be obtained (Rubio and Camarasa, 2017; De Marco, 2018; Pedreirinho, 2019). The systematization does not only concern the project and its construction but involves the entire internal organization of the office, to the point of establishing even working mechanisms similar to the Taylorist and Fordist models: the planning phases are divided into processes and sub-processes, performed by highly specialized professionals in different fields (De Marco, Silvestre and Camarasa, 2018). Set a time for each of the sub-processes, these follow one another in a sort of assembly line, from the project to the execution of the work. Aspects like standardization, seriality, modularity become central to the process, determining procedures and outcomes.

Manual work supports the entire design phase: the first drawings and sketches are synthetic, they fix the idea according to a linear scheme; an intense design activity elaborates the possible solutions, together with the production of models at various scales; once the functional program has been solved, the technical representation allows to specify the details necessary for the construction site. In accordance with the design requirements, innovative materials and technologies are used and specific technical solutions are studied. The design methodology is also based on the adoption of particular architectural 'types' – or 'systems' – derived from a meticulous study of the relationships between the parts, which are defined as a series of configurations based on dimensional relationships, and therefore geometric, rather than on factors of scale (as inherent in the

concept of type) with implicitly associated structural schemes. The use of these forms gives rise to a series of projects, ensuring a better distribution of the parts and establishing a relationship between formal coherence, supporting structure and manifestation of the concept of order. The design conditions, the relationship with the place and the landscape lead to the choice of a system that is then developed in its specificity.

The 'type' is sometimes used individually, sometimes aggregated to configure more complex solutions that, taking into account the properties and characteristics, determine three families (or groups) based on the adoption of 'basic geometries', 'complex geometries' and 'repetitions'. In the first group the elements, often based on the geometry of the square or rectangle, can be presented individually or combined through operations of superposition or juxtaposition, generating configurations of planes, masses or atriums<sup>5</sup> (Fig. 1-4). The second group includes more complex solutions determined by deformations of simple shapes in which some walls rotate around the edges altering the perception of the volumes and digging them to generate deep shadows that protect large openings<sup>6</sup> (Fig. 5, 6). Finally, the application of the theme of 'repetition' comes to projects in which the same type is repeated overlapping and extending organically as a 'colonizing' or 'dendritic system'. This is the case of the project for the thermal baths in Alzahara, in which, starting from a curved piece, a system is created that adapts to the topography, increases or decreases its density in relation to the functional program. The same type, therefore, used individually, represents the founding principle of the system (almost the archè of Pythagorean thought) from which everything can be generated. The type identifies the basic element which however, especially in the processes related to repetition, implicitly contains the idea of multiplicity, which gives rise to all the other elements and potentially infinite spatial configurations.

Some of these projects experiment the potential of this approach to the extreme consequences, in which the type is a linear and curved element, a complex geometry that implicitly possesses an intrinsic dynamism. The House in an Olive Grove, in fact, is generated by the superposition of two curved linear elements, mirrored according to one of the axes: the composition (symmetrical in plan but developed on two levels) is particularized with wide openings in correspondence of the bedrooms and with some excavations in the intersections between the volumes, determining a continuity between interior and exterior that recalls the spatiality of the famous Casa Ugalde by Josep Antoni Coderch (Fig. 7-9). Multiplied with additional overlaps that slide horizontally, the curved geometry generates a dynamic, broad composition in the House of the Seven Gardens. Once again, in a predominantly natural place, the project is inserted between the irregularities of the soil with a variety of closed and open spaces, covered and uncovered, weaving a texture that welcomes the landscape inside the house (Fig. 10, 11).

The vertical development of the type, in a variation of scale and function, also configures the project of the Torre eòlica, already considered as a new symbol of the port of Valencia<sup>7</sup>. This infrastructure, 170 meters high, houses around a thousand vertical axis wind turbines, capable of meet-

ing the energy needs of the port's equipment. The geometry is particularly efficient for wind resistance, conveyed in some specific points. The tower, apparently monolithic from the outside, is covered with a metal mesh that allows the passage of air and the operation of the turbines (protecting the plant from the birds) and includes public spaces, offices and a lookout point. Therefore, architectural research joins the most advanced energy engineering technologies and proposes an alternative solution to the most widespread wind systems, giving this architecture a positive environmental value and generating energy and beauty for the city (Fig. 12, 13). At the other limit of this original methodology of work (which from the small house goes to the horizontal colonizer system up to the large vertical infrastructure) the same type (but on an obviously reduced scale) generates the Daphne table in marble and glass (Fig. 14).

Conclusions – The design methodology and the use of types, taking inspiration from the history of architecture – we especially remember the Mass-production Houses – reinterpret the experiments of the last century, updating them according to the language and the needs of the contemporary world. The processes of standardization and systematization have helped to promote modern architecture and to define its aims and methods. The modern avant-gardes, in turn, have interpreted the renewal of society and generated a revolution in the way of conceiving and constructing the space of man, architecture and the city itself. In the third millennium society is now aware of the necessary changes and perceives the need to renew and/or innovate its approach also to architectural issues. Having gone to the origins (theoretical and experimental) of this thought returns its value and validity, no longer in a speculative form but through applied research, as shown by the experiences of the Fran Silvestre Arquitectos studio. The systematization appears as a vocation to typification and rationality to the point that for these works the words that De Fusco uses to define the architectural principles of modernity are appropriated: «Defining a rational architecture – he writes – means that in it prevails the moment of reason over that of the imagination, the objective over the subjective, the causal over the random; moreover, a rational architecture is such if it fulfills functional needs without waste, if it responds to a perfect constructive logic, if it is entirely predictable at the design stage [...]» (De Fusco, 1987, p. 8).

Although the concept of systematization remains one of the possible paths for architectural innovation, it nevertheless proposes a fundamental change of paradigm on the whole process of design and construction of the building, starting from the organizational model of the study. The use of these methodologies allows a greater efficiency of the project, which however does not disregard the human factor and the presence of a poetics that supports and guides architectural research (which otherwise risks remaining sterile), in which the analytical procedure is inextricably linked the syntactic moment in which creativity operates (Margagliotta, 2018). If, in fact, some phases of the process can be almost automated, the specificities of each architectural project entail the need for a flexible and adaptable method, in which intellectual activity remains fundamental: manual design

and production of models – essential tools of the project – remain fundamental for the conception of the spaces, for the achievement of the precision that preside to the construction of these architectures. The method is not limited to the search for the basic element nor is it based on a mounting system, but imposes a compositional sensitivity: the wisdom with which one uses the full and the empty, the light and the shadow, the materials, with which leads to spatial inventions, sophisticated technical solutions (which may then be used in every work) and which requires a sensitivity – ultimately – towards forms and beauty. The search for innovation is then, and above all, a research on the space of man and on beauty. And how both can be built.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution, resulting from a common reflection, is to be assigned in equal parts to all the Authors.

#### NOTES

- 1) In the famous book *Architects' Data* (1936), Neufert provided the dimensions of everyday objects, contributing to the normalization of global metric data. He also conceived the famous Octametric brick whose dimensions are assumed as a shared base unit. This is a normalization with regard to the project and a simplification of the construction in which the craftsman can be replaced by the unskilled worker since he must limit himself to assemble the blocks.
- 2) «Designing and building houses individually is an old fashioned idea» (Douglas, 1952). The theoretical project for the Core House became popular with the name 50x50 House attributed to it by Philip Johnson.
- 3) For Durand (1820, 1823) the buildings have the economy and utility as their ultimate goal; composing means combining distinct and distinguishable elements according to geometric patterns and determining parts, in turn combined and assembled according to laws of symmetry and proportion, to form sets (buildings). The design method contains the concepts of seriality and pure growth of the building.
- 4) The concrete exemplification of this theory is proposed by Basile in the project of an archaeological museum in Athens (1859).
- 5) In this group we find the Water Mirror House in Calpe, defined by two overlapping horizontal planes, which welcome together the space of the house, completely transparent and open towards the surrounding landscape; or even the Silence House, hermetic composition of two overlapping parallelepipeds, internally emptied of patios that allow the lighting and the outdoor extension of the interior spaces.
- 6) To this class of buildings belong the House on Mountainside Overlooked by a Castle and the Fababu House, as regards the principle of rotations and excavation; but also the Balint house, which is a circle squaring exercise: in contrast to an elliptical aerodynamic volume, the interior space is regulated by orthogonal alignments that incorporate the building structure.
- 7) The project is the result of a collaboration between the Fran Silvestre Arquitectos studio and the Universitat Politècnica de València and is in the approval phase.

#### REFERENCES

- Argan, G. C. (1970), *L'arte Moderna 1770-1970*, Sansoni, Firenze.
- Basile, G. B. F. (1870), "Principi di Ausettismo Architettonico", in *Nuovi Annali di Costruzioni, Arti ed Industrie*, year II, p. 5-16.
- Cohn, D. (2017), "Sólido y vacío | Solid and void", in Rubio, G. and Camarasa, P. (eds), *Fran Silvestre Arquitectos. Escenarios para la vida / Scenarios for life. 2005-*



Fig. 14 - Daphne table, 2018 (credit: Fran Silvestre Arquitectos).

- 2017, General de Ediciones de Arquitectura, Valencia, pp. 4-9.
- De Fusco, R. (1987), "Una semiotica per la didattica", in Villari, S. (ed.), *J. N. L. Durand (1760-1834). Arte e scienza dell'architettura*, Officina Edizioni, Roma, pp. 7-12.
- De Marco, P. (2018), "Il colore delle idee | The color of ideas", in Margagliotta, A. (eds), *La bellezza eficaz*, Libria, Melfi, pp. 170-177.
- De Marco, P., Silvestre, F. and Camarasa, P. (2018), "Systematization and architecture", in Cabrera i Fausto, I. (ed.), *Reactive proactive architecture*, Editorial Universitat Politècnica de València, València, pp. 38-43.
- Douglas, A. (1952), "Dinner in Yesterday's Bedroom: It's possible", in *Chicago Daily Tribune*, 24 August.
- Gropius, W. (1965), *The New Architecture and the Bauhaus*, The MIT Press, Cambridge.
- Klaus, K. and Bittner, R. (2017), *Craft becomes modern: the Bauhaus in the making*, Kerber, Bielefeld.
- Le Corbusier (1986), *Towards a new architecture* [orig. ed. *Vers une architecture*, 1923], Dover publications, New York.
- Margagliotta, A. (ed.) (2018), *La bellezza eficaz*, Libria, Melfi.
- Montaner, J. M. (2008), *Sistemas arquitectónicos contemporáneos*, Gustavo Gili, Barcelona.
- Pedreirinho, J. M. (ed.) (2019), "Fran Silvestre Arquitectos", in *A.MAG*, vol. 15, pp. 2-77. [Online] Available at: [https://issuu.com/a.mag/docs/amag\\_15\\_fran\\_silvestre](https://issuu.com/a.mag/docs/amag_15_fran_silvestre) [Accessed 3 April 2019].
- Pizzigoni, V. (2010), *Ludwig Mies va der Rohe. Gli scritti e le parole*, Einaudi, Torino.
- Rubio, G. and Camarasa, P. (eds) (2017), *Fran Silvestre Arquitectos. Escenarios para la vida | Scenarios for life. 2005-17*, General de Ediciones de Arquitectura, Valencia.
- Smith, E. A. T. (2009), *Case study houses [1945-1966]*, Taschen, Cologne.
- Tessenow, H. (1998), *Osservazioni elementari sul costruire* [orig. ed. *Hausbau und dergleichen*, 1916], Franco Angeli, Milano.
- Valéry, P. (1964), "The Conquest of Ubiquity", in *Aes-*

*thetics*, translated by Manheim, R., Pantheon Books, Bollingen Series, New York, p. 225.

<sup>a</sup> PAOLO DE MARCO, PhD student at the Polytechnic University of Valencia (Spain) and the University of Palermo (Italy). He is a Construction Engineer-Architect, graduated from the University of Palermo; he studied at the Universidade de Coimbra. Winner of research scholarships, he is the author of contributions on the subject of color in architecture; participates in conferences at national and international level. Mob. +39 346/07.87.699. E-mail: [paolo.demarco@unipa.it](mailto:paolo.demarco@unipa.it)

<sup>b</sup> ANTONINO MARGAGLIOTTA, Engineer and Architect, he is Associate Professor of Architectural and Urban Composition at the University of Palermo (Italy) and Coordinator of the Building Engineering and Architecture Course. He has organized and coordinated workshops, international seminars and exhibitions. Among his recent books: 'Le forme del dialogo', 'Aesthetics for living', 'Progetti in una mano', 'Strada Paesaggio Città', 'La bellezza eficaz'. His projects have received awards and have been widely published. Mob. +39 320/43.30.323. E-mail: [antonino.margagliotta@unipa.it](mailto:antonino.margagliotta@unipa.it)

<sup>c</sup> FRAN SILVESTRE, Architect and PhD, he is Professor of Architectural Design at the Department of Design at the Polytechnic University of Valencia (Spain); he was deputy Director of the ETSA in 2010-12 and is currently director of the March (Máster en arquitectura, diseño e innovación) at European University of Valencia. Mob. +34 654/15.02.58. Email: [info@fransilvestrearquitectos.com](mailto:info@fransilvestrearquitectos.com)

Essays & Viewpoint

architecture

## INTELLIGENZE COMPUTAZIONALI NEL PROGETTO POST-AMBIENTALE ESEMPI DA MAILAB

### COMPUTATIONAL INTELLIGENCES IN THE POST-ENVIRONMENTAL DESIGN EXAMPLES FROM MAILAB

Giuseppe Ridolfi<sup>a</sup>, Arman Saberi<sup>b</sup>

#### ABSTRACT

L'articolo affronta la questione ambientale criticando la visione antropocentrica, ancora viva nel dibattito e nel progetto, come permanenza del soggiacente dualismo umanità/ambiente. A essa oppone le tesi co-evoluzioniste e del Nuovo Realismo rielaborate alla luce di un nuovo metalinguaggio (Matema digitale) capace di 'dar voce' alla moltitudine d'agenti e di attivare forme d'intelligenza collaborativa (Intelligenze Computazionali) abilitanti esplorazioni progettuali oltre la norma e il già noto. Segue la descrizione dei suoi dispositivi nelle forme del Parametric e Generative Design e le esperienze del laboratorio di ricerca Mailab. La conclusione è un invito a riflettere sugli effetti collaterali che potrebbero scaturire dalla marcatura digitale e da un'eccessiva enfasi sul 'saper fare'.

The article addresses the environmental question by critiquing the anthropocentric vision, still alive in the design debate and practice, as a remnant of the underlying dualism humanity/environment. It opposes the co-evolutionist and New Realism theses re-elaborated in the light of a new metalanguage (Digital Mathema) capable of 'giving voice' to the multitude of agents and to activate forms of collaborative intelligence (Computational Intelligences), enabling design explorations beyond established norms and the already known. Following is a description of Parametric and Generative Design and the Mailab research laboratory's experiences. The conclusion is an invitation to reflect on the possible side effects that could arise from digital marking and from an excessive emphasis on the 'know-how'.

#### KEYWORDS

co-evoluzionismo, ecologia, progettazione ambientale, progettazione parametrica, progettazione generativa

co-evolutionism, ecology, environmental design, parametric design, generative design

*There is no singular point in time that marks the beginning of this book, nor is there an "I" who saw the project through from beginning to end, nor is writing a process that any individual "I" or even group of "I's" can claim credit for.*

(Karen Barad)

Prima dell'industrializzazione il rapporto tra architettura e ambiente può distinguersi in due visioni archetipe: quella dell'arte della medicina, ove il santuario di Esculapio era l'esempio di un ambiente di totalità cosmica (Periechon) entro cui si realizzavano i destini di sofferenza e guarigione e quella, come la definì il matematico bresciano Niccolò Tartaglia, regolata dall'ars diabolica della balistica e dall'ingegneria militare che erige mura e fortificazioni a protezione di un ambiente ostile. L'industrializzazione aggiunge una nuova visione assoggettando l'ambiente al paradigma utilitaristico già in nuce nella tradizione giudaico-cristiana poi condotta alle sue estreme conseguenze nella declinazione protestante e supportata dal nuovo paradigma gnostico della scienza sperimentale. La capanna primitiva, che campeggia sul frontespizio della seconda versione francese dell'opera di Marc-Antoine Laugier, *Essai sur l'Architecture* (1755), è il suggello di una visione ostile dell'ambiente da cui ripararsi, ma anche esempio della natura come risorsa d'insegnamento (Fig. 1) e, dall'immagine incisa nello stesso anno nella versione inglese, materiale da sfruttare (Fig. 2). In sintesi, problema e soluzione per la costruzione dell'habitat umano comunque 'altro' dall'umanità. Col sopravvento della marcatura linguistica sulle cose (Foucault, 1988), che diverrà poi 'calculus', l'utile sarà sottoposto – come sosteneva Hutcheson – a una sorta di matematica e la trasformazione dell'ambiente a descrizioni oggettive o, come invocava Mondrian per il disegno, esatte alla maniera della matematica e delle scienze.

La storia dell'architettura identifica luogo e momento di tale mutazione nel Bauhaus e in particolare nel suo trasferimento a Dessau. Mutamento già avviato dalla svolta produttivista della Russia post-rivoluzionaria, ma che – sino alla direzione di Meyer – rimase più nei proclami che nella prassi. Mettendo in pratica una visione che Gropius aveva per lo più teorizzato, Meyer portò avanti una profonda revisione del ruolo del progettista e della disciplina tagliando legami con visioni autoriali, romantico-espressioniste e puro-visibiliste. L'attenzione si concentra sulle metodologie operative, sui processi e sull'organizzazione oggettiva delle relazioni determinanti esistenza umana e costruzione come testimonia l'ingresso nella scuola di docenti come Hans Wittwer (bioclimatica) e Alcar Rudelt (statica e scienza dei materiali).

Ciò nonostante, il periodo in cui tali metodolo-

gie furono realmente applicate per concepire e progettare l'ambiente risale a qualche decennio indietro quando, nell'ultimo quarto del XIX secolo, la Germania Guglielmina si trovò alle prese con le forti trasformazioni socio-economiche e con il dinamico sviluppo della produzione industriale innescati da, e subito dopo, la guerra franco-prussiana. Il luogo di queste trasformazioni furono gli uffici tecnici municipali che, a dispetto degli studi di architettura ancora organizzati alla maniera dell'atelier d'artista, iniziavano a strutturarsi in un imponente e qualificato numero di tecnici reificando, più prosaicamente, quelle Brigate Verticali di progettazione concepite da Meyer.

Nel 1874, Budapest fu il primo banco di prova ove l'ambiente urbano e il suo disegno diventarono campo applicativo di tecniche multidisciplinari di differente matrice (economia, igiene, statistica, demografia, fisco, viabilità, clima, impiantistica, ecc.). Suo prodotto sarà lo zoning, discendente diretto del funzionalismo e del management scientifico ove i fenomeni, per loro complessità, vanno scomposti e poi ricomposti secondo criteri di conformità e differenziazione o, come scrisse qualche decennio più tardi Alexander, muovendo una pallina alla volta nella loro posizione finale (Alexander, 1967, p. 48).

*Progetto ambientale antropocentrico* – È da queste premesse che il progetto si assoggettò alla pratica scientifica e l'ambiente assunse le definitive vesti della res extensa da colonizzare e 'commodificare' in favore del comfort. Oltrepassando il dualismo lusso/necessità, il progetto riformulò in maniera 'oggettiva' il concetto del benessere umano prima identificato dal termine 'convenience' (Crowley, 2001). Dal Secondo dopoguerra l'ambiente fu analizzato a partire dalla meteorologia (Fitch, 1947) e l'umanità sulla base di bisogni e motivazioni, in una piramide che, dalle necessità fisiologiche, si eleva all'autorealizzazione (Maslow, 1992). Comfort ed ergonomia si avviarono a diventare scienze di un progetto in grado di produrre oggetti certi e verificabili oltre che replicabili nei modi dell'industria; l'abitazione diventa bene di consumo transiente «del tutto indifferente dunque nei confronti dei valori affettivi che tradizionalmente legavano l'umanità alla casa e lo radicavano sentimentalmente al luogo nel quale essa sorge» (Vagnetti, 1973, p. 681).

L'esperienza dell'Hochschule für Gestaltung





Fig. 1 - Eisen, C. E. (1755), "Frontispiece", in Lauger, M. A. (ed.), *Essai sur l'architecture*, 2nd French edition (credit: The New York Public Library Digital Collections).

Fig. 2 - Wale, S. (1755), "Frontispiece", in Lauger, M. A. (ed.), *Essai sur l'architecture*, 1st English edition (credit: The Bancroft Library).

(1953-68) fu probabilmente il maggior emblema di un progetto che indaga scientificamente l'ambiente come risorsa a vantaggio dell'umanità. È convinzione di quegli anni che l'avventura del progetto si governi con il metodo scoprendo nella cibernetica e nei sistemi di autoregolazione i suoi riferimenti operativi. Mossa da reazioni anti-autoriali il progetto cercò fondamento su causalità circolari e approcci sistemici (Alexander, 1967; Asimov, 1968), il cui punto di partenza e d'arrivo continuava a essere l'umanità ma ormai privata della pienezza della vita che credenze e narrazioni mitopoetiche gli offrivano.

La ricchezza del genere umano si ridefinisce nella molteplicità delle discipline lanciando il progetto in una complessità crescente ove la speranza di governo è appunto quella di un metodo logico-razionale: un metodo, poi formalizzato nella famosa triade 'esigenze-requisiti-prestazioni' con cui condurre a sintesi i desiderata degli utenti che, nonostante i successivi tentativi d'affrancamento 'umanistico', permarrà nella sua incapacità di essere progetto per offrirsi invece come strumento di governo tecnocratico. È in questa breve storia che il progetto nell'interesse dell'umanità colonizza l'ambiente sino ad assurgere, in pericolose quanto dubbie interpretazioni, a fenomenologia negazionista dell'emergenza ambientale, svalutata a puro zeitgeist che distoglie dal vero obiettivo che è e dovrebbe rimanere il genere umano.

*Qualis artifex pereo?* – Se la dimensione multidisciplinare, sistemica e cibernetica aveva offerto quella speranza per un progetto a servizio dell'umanità e della società, sul finire degli anni '70 furono proprio queste epistemologie, già preparate dalla teoria della dinamica non lineare e divulgate come rivoluzione della scienza della complessità a minare ogni pretesa antropocentrica (Capra, 1988). Gli sviluppi della fisica, i sistemi vivi e le ricerche nella micro-biologia evolutiva del neo-darwinismo (Dawkins, 2006, 1996; Lovelock, 2000) aprirono la strada per un profondo ripensamento del rapporto umanità/ambiente e sui processi di trasformazione. L'ambito d'indagine zoocentrista delle scienze naturali cedette il passo al microcosmo di batteri e geni riconsegnando un mondo azzerato nelle gerarchie. Dalla dimensione microscopica rimbalzarono

certezze e consapevolezza che aprirono un nuovo orizzonte: dalla vita dell'uomo e della donna, alla vita nella sua totalità giacché anche l'inorganico è coinvolto nelle trasformazioni dei sistemi viventi di qualsivoglia tipo e dimensione.

Si dimostrava che le trasformazioni nella «longue durée» (Christian, 2004), a partire dall'Oxygen Holocaust (Margulis, 1997, p. 99), non sono il risultato di processi ubbidienti a casualità 'esterne', a disegni razionali né tantomeno superiori. Erano invece guidate da logiche di cooperazione concorrente e di mutuo supporto che demoliscono lo stereotipo della selezione naturale darwiniana come spietato processo di sopraffazione del più forte sul più debole con tutte le ricadute etico-morali che ne erano conseguite. Emergenze auto-poietiche (Maturana, 1980) tali da escludere che l'umanità possa ancora attribuirsi qualsiasi invenzione: dall'agricoltura, al microchip (Margulis, 1997). Genere umano, ogni altra forma vivente e inanimata sono strettamente e mutuamente interconnessi. Nel pianeta Daisyworld<sup>1</sup> margherite bianche e nere procedono simbioticamente in un processo co-generativo ove non vi è adattamento all'ambiente ma lavoro incessante per alterare l'albedo verso condizioni omeostatiche favorevoli alla loro sopravvivenza (Lovelock, 2000).

Alla luce di queste ricerche la terra non è più parte passiva di un rapporto duale e risorsa da sfruttare a vantaggio del comfort e del benessere umano. La specie umana non è l'unica capace di apportare modifiche; gli agenti responsabili delle trasformazioni restano ancora e largamente quelli alla scala microscopica dei batteri e dei geni. È però innegabile quanto nell'intricato rapporto co-evolutivo l'azione dell'umanità stia guadagnando negli ultimi istanti della storia universale capacità di leverage prima sconosciute. Prometeo non immaginava che quel fuoco, rubato agli dei, avrebbe diffuso calore, vapori e miasmi così tragicamente ovunque rivelando l'altra faccia della techne: la 'thanototechne'<sup>2</sup>, ove la conoscenza si fa strumento di dominio sulla vita e quindi di potere sulla morte (Serres, 2011).

Una condotta già apparsa agli albori dell'umanità con l'addomesticamento della cugina Lucy da parte degli uomini *Habilis* ed *Erectus*, che continua con l'agricoltura ed evolve in tecnologie attraverso cui, come scrisse Mumford sottostimando le distanze attuali, «he can kill at a distance of five thousand yards and converse at a distance of five thousand miles» (Mumford, 1952, pp. 15, 16). Siamo al cospetto di volontà neghentropiche<sup>3</sup> in contraddizione con il progressivo aumento di energia immessa. Controllo e ordine si perseguono, infatti, con intensificazione delle azioni e degli artefatti sino a diventare 'world-objects'<sup>4</sup> (Serres, 2011) capaci di travalicare la dimensione umana e incrementare l'asimmetria tra possidenti e posseduti; dare potere sulla vita e sulla morte sino a lasciarci nel dubbio: *qualis artifex pereo?*

*La condizione post-ambientale oltre l'antropocentrismo* – Alla luce di queste consapevolezze, ma già sulla spinta dei movimenti per l'emancipazione e la parità dei diritti, la questione ambientale inizia a diffondersi nelle forme ecologiste (Carson, 1994; Meadows, 1972; Naess, 1989) sino a porsi come questione politica e ottenere primi riconoscimenti per un suo status giuridico. A questo proposito è interessante rilevare come Serres iniziò la sua pre-

sentazione alla Simon Fraser University (Serres, 2006) facendo notare che nella sua famosa opera *Le Contract Naturel* (Serres, 1998) non aveva mai usato la parola ecologia focalizzandosi, viceversa, sul fatto che dalla firma del contratto sui diritti era esclusa la natura. È una grave ingiustizia pari ai danni subiti e una asimmetria ingiustificabile, considerando che il patto sociale muoveva per il riscatto di deboli e perdenti. Ma come poteva essere ascoltato qualcuno privo di voce? Come potevano firmare oggetti neutri?

La possibilità di un 'contratto' naturale comincia a emergere quando, per i meccanismi di retroazione circolare, l'umanità diventa oggetto-natura verso cui rimbalzano gli effetti delle proprie azioni e l'ambiente diventa natura-soggetto che si manifesta attraverso un sistema di forze e di effetti. Non è più necessaria una voce o una mano per firmare poiché in questo 'entanglement' l'umanità è diventata il sistema nervoso di un unico e totale macro organismo. Sono la totalità delle nostre conoscenze, atti, dispositivi visibili e invisibili che parlano per l'ambiente. Registrano i loro effetti lasciando emergere un sistema globale di appartenenze che dissolve ogni dualismo conflittuale: un nuovo organismo di nome Gaia (Lovelock, 2000; Latour, 2017) la cui cura e progettualità non possono essere che fisiologici, volti a conoscere funzioni e manifestazioni prima che le cause. È questo il primo e decisivo passo invocato da Latour per accogliere al tavolo della negoziazione sulla scelta del futuro la prodigiosa moltiplicazione di potenziali agenti che si muove, agisce, riscalda, ribolle. È l'unica alternativa possibile all'evidente irragionevolezza del progetto della razionalità antropocentrica ove si perpetua la baconiana e 'funzionale' visione dell'ambiente e, ancor peggio, l'interesse al mantenimento di privilegi che, anche nella più sofisticata versione dell'Universal Design, continuano a realizzarsi entro il meme<sup>5</sup> capitalista (Johnston, 2005) e nel dualismo West/Rest. Oltre l'inattuabile riconciliazione con la natura o ubbidienza alla sua morale – perché ogni dualismo è perso (Morton, 2018) – soltanto un progetto co-evolutivo può quindi garantire la salvaguardia del nostro benessere e perpetuare il nostro essere in società.

*Materialità digitale e Nuovo Realismo nella modellazione performativa* – A distanza di sessanta anni dai monitoraggi delle concentrazioni atmosferiche di diossido di carbonio al Mauna Loa Observatory nelle Hawaii (Meadows, 1972), un'infinità di datalogger locali e orbitanti nello spazio ha innervato un efficiente sistema senziente. Esso ci restituisce la multiforme vita del nostro pianeta e rappresenta il primo passo nel 'dar voce' alla moltitudine di agenti che influenzano la vita. Insieme, hanno visto la luce 'cose' abilitanti modi di co-agire non più per mimesi delle forme e delle tipologie, ma ai livelli intimi della materia. 'Mastering matter' è diventata un'attività che lavora per relazioni, parametri, forze di campi energetici. Le tecnologie e il metalinguaggio digitale abilitano nuovi modi di far emergere e interagire 'cose' di un Nuovo Realismo che non è il materialismo delle 'cose' morte, né quello della superstizione animista. 'Materia prima' e 'materia operata' si manifestano per le loro qualità performative, oltre che connotative della forma, attraverso una nuova materialità che è il dato digitale. Una materialità intangibile (Un-materiality) comunque fisica e in grado di produrre ef-

fetti reali e concreti; che abilita informazioni, memorie, conoscenze e consapevolezza; capace di figliare 'cose' objectile<sup>6</sup>, mutanti e co-agenti; che offre nuove forme d'intelligenza: Intelligenze Computazionali (IC) che dialogano nella nuova lingua del Matema digitale<sup>7</sup> e si pongono come unica opportunità di fuoriuscire da comportamenti ossequiosi alla tradizione, al progresso e alla quinta libertà<sup>8</sup> che il padre delle cibernetica additava come minaccia incombente di rovina e disperazione (Wiener, 1966, pp. 203, 204).

Computazione parametrica, algoritmi generativi e intelligenza artificiale sono i prodotti di questo metalinguaggio che aprono promettenti traiettorie del progetto poiché in grado di condurre esplorazioni di soluzioni oltre il già noto, la regola d'arte, la norma, le esperienze rivelatesi spesso erronee anche per la semplice esposizione solare com'è accaduto ai grandi maestri Le Corbusier e Stirling (Frazer, 1995, p. 32). L'acronimo che oggi identifica questo nuovo paradigma è il BIM, Building Information Modeling sottintendendo una moltitudine di 'cose' più o meno intelligenti e chiarendo definitivamente la centralità del modello nel Designerly Thinking (Ridolfi, 2016). Il BIM è la 'vulgata' di un dispositivo che marca una forte differenza dai precedenti sistemi computazionali CAD. È, infatti, un data-base object-oriented, cioè indicizzato mediante ontologie degli elementi costruttivi e architettonici ove, come e in altri contesti dichiarava Kahn, una colonna sa davvero di essere colonna. È un sistema informativo interrelato d'informazioni di vario tipo e natura tenuto insieme dalla 'macchina' parametrica: implicita nel CAD, sin dai primi esperimenti di Ivan Sutherland, e poi esplicita nel BIM. Allo stato attuale è possibile riconoscere due differenti filoni applicativi e di ricerca: il primo definibile come Informative BIM, ancora relazionato all'automazione della produzione progettuale e finalizzato a istruire attività contrattuali, esecutive, di collaudo e gestione; il secondo identificabile con Performative BIM riguardante attività esplorative e di simulazione tipiche delle fasi ideative, soprattutto dell'Early Design Stage (Ridolfi, 2018), ma tuttora osteggiato o scarsamente riconosciuto (Bottazzi, 2018).

Questa seconda tendenza è evidente nelle strategie Autodesk che in pochi anni, grazie ad acquisizioni e i recenti avanzamenti nelle interfacce grafiche, ha promosso una progressiva trasformazione della propria piattaforma BIM (Revit) incorporando funzionalità di simulazione destinate a supportare le scelte progettuali. Funzionalità, strumenti e metodologie che iniziano a diffondersi dagli anni '70 come ambiti specialistici del Parametric Modeling e Performance-Based Design per emergere nelle fenomenologie linguistico-architettoniche del Parametricism (Schumacher, 2008): nuovo organicismo co-evoluzionista «in the sense that each and every part and piece is interacting and communicating simultaneously so that every instance is affected by every other instance» (Lynn, 2004, p. 12).

In un'aperta critica al riduzionismo modernista, il Parametricism è la manifestazione di una visione a-gerarchica e cooperativa degli elementi architettonici che consentono il superamento della modularità e della serie per aprire a differenziazioni inattese. Continuità e unitarietà formale risultano dalla 'intricacy' di elementi da non trattare più come dettagli di un insieme superiore o emergenze di conflitti, ma singolarità irriducibili di un sistema continuo ove

micro e macro-scala risultano mutualmente costituiti (Lynn, 1998, pp. 162, 163). È la realizzazione di un nuovo realismo già anticipato dalla biologia laddove «the manufacture of a body is a cooperative venture of such intricacy that it is almost impossible to disentangle the contribution of one gene from that of another» (Dawkins, 2006, p. 24).

*Esperienze di modellazione e simulazione computazionale in Mailab* – Oltre la revisione del linguaggio architettonico (in alcune accezioni, specchio della società liquida neoliberista) la poetica del Parametricism ebbe il merito di rendere evidenti alla grande platea le potenzialità delle IC. Queste intelligenze avevano infatti la capacità di elaborare funzioni matematiche di crescente grado di complessità; procedure morfogenetiche multi-agente; funzioni multi-obiettivo; processi «anexact yet rigorous», cioè capaci di confrontarsi con la materia amorfa e affrontare con precisione la mutazione locale sebbene irriducibile nella totalità (Deleuze, 2005, pp. 20, 367); forme generative autopoietiche e mimetiche dei processi naturali oltre il conformismo antropocentrico e autoriale. Le accresciute disponibilità di calcolo a buon mercato e la semplificazione user friendly dei software hanno poi amplificato queste potenzialità offrendosi a una vasta pletera d'utenti interessata alla generazione di modelli virtuali rappresentativi della moltitudine dei fenomeni e sui quali condurre esplorazioni dell'inedito. Un ruolo significativo in questa democratizzazione nell'accesso alle IC va assegnato all'introduzione di Grasshopper (2007), poi emulato da Autodesk con il lancio di Dynamo nel 2011 e da Nemetschek con Marionette per Vectorworks (2015). Sono interfacce di programmazione visuale open-source che offrono ambienti di progettazione parametrica e associativa o, più precisamente, strumenti con cui visualizzare e manipolare la 'storia' del processo operativo (Explicit History) a differenza dei precedenti software ove le 'storie' si limitavano alla registrazione delle azioni.

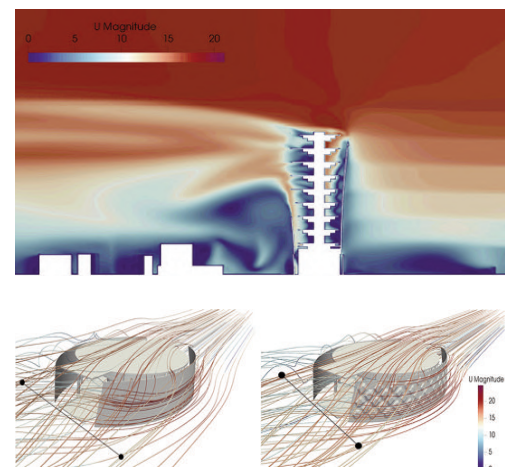
In ambito accademico, Mailab (Multimedia Architecture Interaction Lab), laboratorio congiunto Università-imprese dell'Università di Firenze, è uno degli esempi che hanno beneficiato di queste disponibilità a basso costo rendendo possi-

bile, oltre la modellazione computazionale e simulazioni prestazionali, la realizzazione prototipica di sistemi edilizi robotici adattivi (Ridolfi, 2019). Le competenze acquisite sono state impiegate anche nella didattica. L'introduzione all'uso di Green Building Studio (ambiente cloud di Autodesk per la simulazione energetica) e di plugin per Grasshopper ha consentito la visualizzazione della moltitudine di agenti e valutazioni data-driven attraverso cui gli studenti hanno potuto acquisire consapevolezza e condividere scelte che, altrimenti, l'intuizione offrirebbe con approssimazione a volte fallace e la formalizzazione numerica in modo difficoltoso (Ridolfi, 2016).

Oltre la modellazione e simulazioni tipiche del progetto energetico, l'impiego di software di fluidodinamica, anche se elementari come Flow Design, hanno consentito di 'dar voce' anche a fenomeni dinamici altamente complessi rivelandosi utili per impostare strategie di ventilazione passiva degli edifici e sul microclima degli spazi esterni. In casi più avanzati, un software di simulazione fluidodinamica professionale (Simscale) ha consentito di materializzare e quindi guidare le scelte progettuali dello skin di una torre in modo che la riduzione delle turbolenze dei venti dominanti facilitasse le fasi di atterraggio e decollo di droni destinati al trasporto persone (Figg. 3-5).

Il filet de fumé è stato, invece, il dispositivo per affrontare la generazione morfologica ripercorrendo i primi esperimenti basati su software di animazione e rendering volumetrico come Maya rilasciato nel 1998. Usando emettitori particellari e agendo su un limitato numero di condizioni sono stati generati processi stocastici di morfogenesi fluidodinamica. Qui la collaborazione di forze e vincoli contestuali ha prodotto una mutazione continua che si fissa in singoli fotogrammi, ove giace latente una moltitudine di letture da selezionare e condurre a forme architettoniche (Fig. 6).

Analoga esperienza, in cui è possibile riconoscere le informazioni delle forze che le hanno determinate (Lynn, 1999, pp. 10, 11), ha riguardato la modellazione di una struttura a grande scala schematicamente identificabile come sistema funicolare tridimensionale (Fig. 7) e affrontata con impiego di un Particle-Spring System in ambiente Rhino-



Figg. 3-5 - Droneport in Tokyo (M. Badiani, 2019): General view; CFD simulation in Simscale for the evaluation of landing and take-off trajectories; Skin roughness studies for the regularization of leeward turbulence in Simscale.

Grasshopper (Kangaroo). Il processo in questione è uno dei più economici per la simulazione morfologica per questo tipo di strutture (Kilian, 2005). Agisce su parametri di rigidità ed elasticità delle 'molle' per simulare il comportamento degli elementi sottoposti a campi di forze che, in questo progetto, è quello gravitazionale agente entro un sistema di vincoli eterogenei quali accessibilità, viste panoramiche, contesto ai bordi del manufatto (Fig. 8). Le alternative progettuali nascono dalla manipolazione manuale delle proprietà fisico-geometriche degli agenti e dei vincoli. Ne consegue che, sebbene la ricerca dell'equilibrio sia automatica, l'esplorazione si restringe a un numero limitato di alternative. Inoltre, tali 'motori' non risolvono la forma architettonica in maniera integrata all'ottimizzazione strutturale che, in questo caso, si è scelto di affrontare in fase successiva con un altro plugin di Grasshopper (Millepede) da cui leggere gli stati tensionali e quindi guidare l'adattamento strutturale (Fig. 9). Infine, testimoniando la varietà di 'agenti' anche qualitativi che possono agire sulla

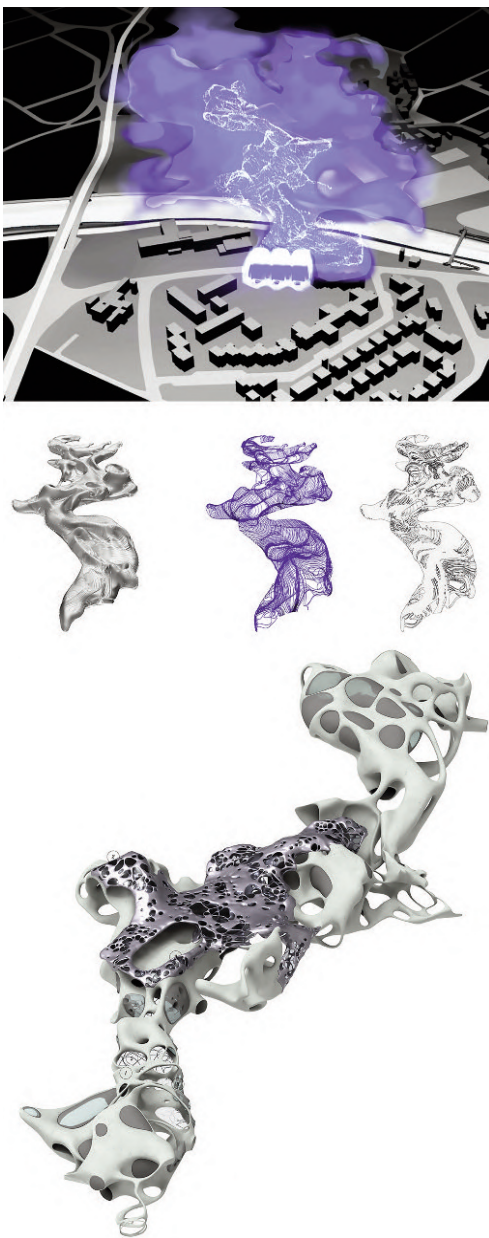


Fig. 6 - Teogonia Naturale (L. Armogida, 2018): generative process sequences using particle agents and fluid dynamics modeling.

forma, si cita l'elaborazione di un 'motore' parametrico capace di valutare il daylight e, nello stesso tempo, 'attrarre' gli affacci di un edificio per uffici verso i punti d'interesse nel paesaggio circostante (Figg. 10-13).

*Esperienze di progettazione generativa verso l'intelligenza artificiale* – Oltre a queste esperienze, il settore di maggior interesse per Mailab è oggi orientato al Generative Design (GD): nuova frontiera del Parametricism, ora Parametricism 2.0 (Schumacher, 2016), o meglio Post-Parametric Automation (Andia, 2015) a segnalare le sue potenzialità autogenerative in grado di affrancare definitivamente il progettista da quel tedioso lavoro di manipolazione manuale (Woodbury, 2010, p. 24) che continua a permanere anche nelle procedure parametriche. Il GD sfrutta forme d'intelligenza di ottimizzazione su base prestazionale, ma secondo processi automatizzati che consentono, cioè, di eseguire – in continuità – la generazione della forma, la misurazione della performance e, a seguito di feedback, l'individuazione di soluzioni soddisfacenti il problema dato.

Oltre al Fuzzy System e Neural Networks, i sistemi d'intelligenza maggiormente in uso nel GD sono quelli dell'Evolutionary Computation (EC) e della Swarm Intelligence (SI). Sono entrambe procedure euristiche che, a fronte di problemi complessi e non riconducibili a solver lineari, riscoprono il vecchio metodo di procedere 'per prova ed errore', ma con la possibilità di generare un numero sconfinato di tentativi da cui far emergere soluzioni, talvolta inaspettate. Le logiche di funzionamento discendono dai processi morfogenetici naturali segnando la mutazione del progetto ispirato alle forme a quello risultante delle forze ove è lecito assimilare l'Architettura a una sorta di vita artificiale (Frazer, 1995, p. 9). Pur condividendo la stessa matrice, EC e SI si differenziano per approcci e dispute economie computazionali: la prima emulante i processi di selezione genetica del darwinismo classico; la seconda emulante i processi collaborativi degli individui di un gruppo.

Nelle diverse accezioni e sfumature gli algoritmi che alimentano l'EC si basano sul concetto di sopravvivenza a partire dall'individuazione dei geni e da cui generare stocasticamente una popolazione di fenotipi che evolverà, attraverso processi d'incrocio e selezione, verso quelli più rispondenti alle funzioni obiettivo (Bansal, 2019). I sistemi di SI perseguono l'ottimizzazione emulando comportamenti autorganizzanti delle singolarità che, invece della soppressione, sono salvaguardate e chiamate a una condivisione delle loro 'intelligenze'. Queste logiche sono evidenti nei nomi dei vari solver che, dal Particle Swarm Optimization (PSO) inventato da Kennedy ed Eberhart nel 1995, traggono ispirazione dal comportamento di popolazioni di viventi in cerca di cibo, di configurazioni aerodinamiche o di difesa, impegnati in processi di colonizzazione (Kennedy, 2001).

Anche in questo caso gli ambienti di programmazione visuale offrono alcuni plugin di ottimizzazione a oggi prevalentemente basati su algoritmi di evoluzione genetica. Il primo e più utilizzato è Galapagos, rilasciato nel 2008 da David Rutten, inventore di Grasshopper, cui sono seguiti Goat (2010-15), Octopus (2013) e Opossum (2016). Unico plugin disponibile che fa ricorso alla SI è oggi limitato a Silvereye (Cichocka, 2017). In Dy-

namo è attualmente disponibile solamente il solver evolutivo Optimo (2014) anche se Autodesk, sul modello di Green Studio, ha recentemente lanciato Refinery un ambizioso progetto cloud di GD basato su algoritmi di ottimizzazione genetica. A testimonianza delle loro potenzialità si citano alcune delle recenti esperienze svolte all'interno o con il supporto di Mailab mediante l'impiego di algoritmi evolutivi:

- consulenza per il layout illuminotecnico in spazi per ufficio con individuazione del miglior compromesso tra qualità dell'illuminazione e riduzione di costi iniziali e d'esercizio nel ciclo di vita utile selezionando e localizzando i corpi illuminanti;
- ottimizzazione di un sistema di terrazzamenti per la coltivazione all'interno di una colonia marziana mediando tra rispetto dei minimi delle superfici di coltivazione, valori d'irraggiamento e contenimento delle altezze di piano (Figg. 14-16);
- collocazione di una torre in ambito urbano procedendo, su base di dati GIS, dalla ricerca delle aree libere e affinando la scelta in rapporto alla densità urbana e infrastrutture presenti (Fig. 17);
- ottimizzazione dei layout funzionali e generazione morfologica in rapporto a efficienza energetica, visual comfort e riduzione globale delle emissioni (Fig. 18).

Altri tipi di algoritmi hanno interessato problemi tipici della progettazione ambientale di tipo passivo risolvendo l'ottimizzazione morfologica attraverso manipolazioni genetiche del posizionamento climatico, orientamento, radiazione, esposizione ai venti, illuminazione naturale, oltre a quelle dei comportamenti e abitudini degli occupanti.

*Conclusioni* – Gli ultimi secondi dell'universo hanno aperto un nuovo capitolo dell'intelligenza globale ove nuovi artigiani adattano nuovi utensili per arricchire, piuttosto che ridurre, singolarità mutanti e corresponsabili del molteplice. Dall'arsenale dell'Intelligenza Artificiale il suo ultimo utensile è il Big Data, un nuovo ambito di ricerca dell'Intelligenza Artificiale e del Machine Learning che è stato accolto anche in Mailab in forme ancora semplificate e piuttosto orientate al 'Learning through Machine'.

Un primo progetto, tuttora in corso di sviluppo e testato su un limitato numero di coloniche storiche toscane, ha prodotto uno strumento che consente di restituire una conoscenza statistica sulla distribuzione percentuale degli orientamenti e degli affacci dei loro spazi caratteristici (Figg. 21-26). Può quindi assimilarsi alla fase di apprendimento del deep learning, ma con limitazioni che risiedono nella preparazione del dato e assegnazione tassonomica che, nel caso specifico, sono ancora demandate a operazioni manuali. In ambito architettonico l'acquisizione del dato per il pattern recognition è un problema noto per la frammentarietà ed eterogeneità delle sorgenti, ma attivamente studiato (Liu, 2017) poiché è evidente come la diffusione del sistema seniente, dal cucchiaino al paesaggio, potrà offrire quella miniera necessaria a un ulteriore avanzamento dell'intelligenza (Deutsch, 2015).

Big Data è l'ultimo esemplare di «soft architecture machines» che apre il progetto del mondo a una sorta di nuovo empirismo capace di svelare la razionalità nascosta e adattiva del «pack-donkey's path» in luogo di quelle direttrici lineari delle certezze logico-razionali propugnate da Le Corbusier (Schumacher, 2009, pp. 17, 18), ma ormai ina-

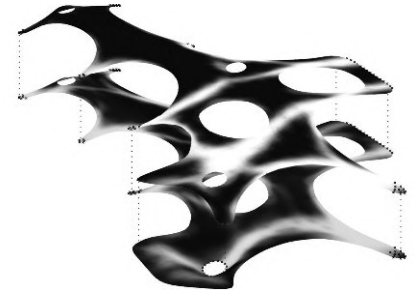
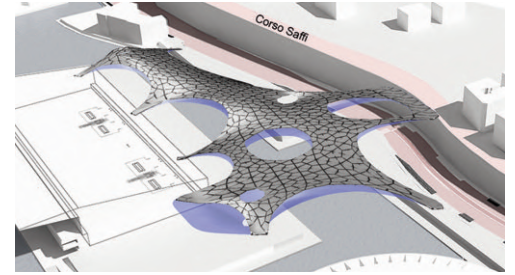
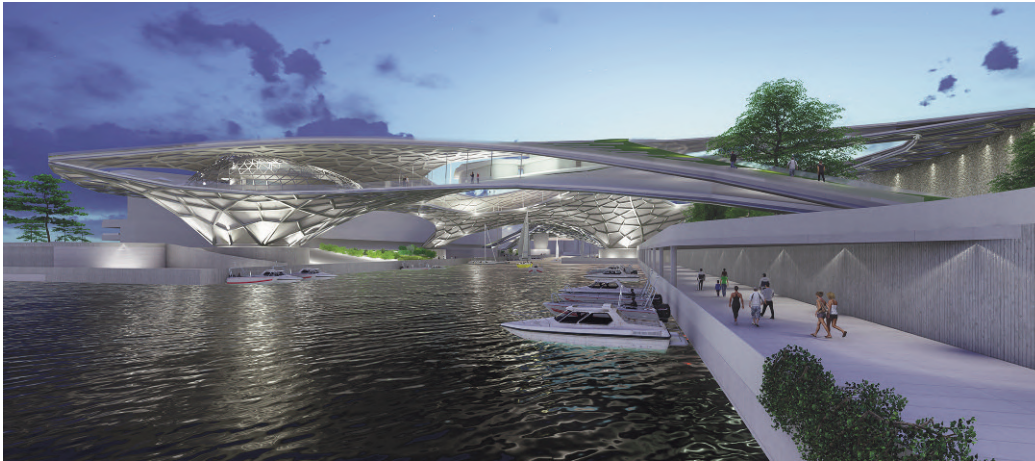


Fig. 7-9 - Application of a parametric morphogenetic process with the advice of M. Carratelli for the Green Bridge / Walking Mall (N. Golrokh, 2017): View from the entrance to the Marina; Excerpt from the form finding sequences applying a reverse gravity of  $23 \text{ m/s}^2$  in the upper layer and  $20 \text{ m/s}^2$  in the lower one; Display of tensional states for structural optimization.

datte dinanzi alla magnifica opera di un orologiaio cieco. La strada è segnata. Procediamo quindi in questi sentieri, ma senza mai dimenticare che stiamo affidandoci a una marcatura digitale che adombra due possibili e pericolosi effetti collaterali: l'eclisse delle conoscenze nella semplificazione del 'saper fare', sino al gamification a uso dei 'dilettanti'; l'aggravamento nelle tautologie tiranniche del Matema digitale che è al tempo stesso arricchimento e riduzione simbolica del mondo.

#### ENGLISH

Before Industrialization the relationship between architecture and the environment can be distinguished in two archetypal visions: one related to the art of medicine, where the sanctuary of Aesculapius was an example of an environment of cosmic totality (Periechon) within which the destinies of suffering and healing were realized; the other one, as defined by the mathematician Niccolò Tartaglia from Brescia, which is governed by the *ars diabolica* of ballistics and by military engineering that erects walls and fortifications to protect from a hostile environment. Industrialization added a new vision by subjecting the environment to the utilitarian paradigm already in nuce in the Judeo-Christian tradition then carried out to its extreme consequences in the Protestant declination and supported by the new Gnostic paradigm of experimental science. The primitive hut, which stands on the frontispiece of the second French version of Marc-Antoine Laugier's work, *Essai sur l'Architecture* (1755), is a symbol of a hostile vision of the environment from which to shelter, but also an example of nature as teaching resource (Fig. 1). Or, from another image engraved in the same year in the English version, the environment is a material to be exploited (Fig. 2). In synthesis, the environment is a problem and a solution for the construction of the human habitat, however it is 'other' than humanity. With the appearance of the linguistic 'marking' on things (Foucault, 1988), which later became 'calculus', the useful will be subjected – as Hutcheson argued – to a sort of mathematics, and the transformation of the environment to objective descriptions or, as Mondrian invoked for Design, exact in the manner of mathematics and science.

The history of architecture identifies time and

place of this transformation in the Bauhaus and, in particular, in its transfer to Dessau. It was a change, already initiated in Russia in the post-revolutionary productivist shift, that remained – until Meyer's direction – more in proclamations than in practice. By putting into practice a vision that Gropius had mostly theorized, Meyer carried out a profound revision of the role of the designer and the discipline of Design by cutting ties with authorial visions, romantic-expressionism and pure-visibility. The focus was on operational methodologies, processes and the objective organization of relationships determining human existence and construction, as evidenced by the entry into the school of teachers such as Hans Wittwer (bioclimatic) and Alcar Rudelt (static and materials science).

Nevertheless, the period in which these methodologies were actually applied to conceive and design the environment dates back a few decades when, in the last quarter of the nineteenth century, Wilhelmine Germany found itself struggling with socio-economic transformations and with the dynamic development of industrial production triggered by, and immediately after, the Franco-Prussian war. The place of this transformations was the municipal technical offices which, despite the architectural studies still organized in the manner of the artist's atelier, began to be structured in a massive number of qualified technicians reifying, more prosaically, those Vertical Brigades conceived by Meyer.

In 1874, Budapest was the first test-bed where the urban environment and its design became an application field of multidisciplinary techniques of different matrix (economy, hygiene, statistics, demography, tax, traffic, climate, plant engineering, etc.). The product of this methodology was zoning, a direct descendant of functionalism and scientific management where the phenomena, due to their complexity, must be broken down and then reassembled according to criteria of conformity and differentiation or, as Alexander wrote some decades later, moving one ball at a time into their final position (Alexander, 1967, p. 48).

Anthropocentric environmental design – It is from these premises that Design was subjected to scientific practice and the environment assumed the

definitive features of the *res extensa* to be colonized and 'commodified' in favor of comfort. Surpassing the duality of luxury/necessity, Design reformulated, in an 'objective' manner, the concept of human well-being first identified by the word 'convenience' (Crowley, 2001). After World War II, the environment was first analyzed from meteorology (Fitch, 1947) and humanity was analyzed based on needs and motivations. This formed a pyramid that, from physiological needs, rises to self-fulfillment (Maslow, 1992). Comfort and ergonomics set out to become the sciences of Design capable of producing certain and verifiable objects as well as replicable in the ways of industry; the dwelling becomes a transient consumer good «del tutto indifferente dunque nei confronti dei valori affettivi che tradizionalmente legavano l'umanità alla casa e lo radicavano sentimentalmente al luogo nel quale essa sorge» (Vagnetti, 1973, p. 681).

The experience of the Hochschule für Gestaltung (1953-68) was probably the greatest emblem of Design that scientifically investigates the environment as a resolving resource for the benefit of humanity. It is a conviction of those years that Design's adventure is governed by method, discovering its operational references in cybernetics and in systems of self-regulation. Moved by anti-authorial reactions, Design sought grounding on circular causality and systemic approaches (Alexander, 1967; Asimow, 1968), whose starting and finishing point continued to be humanity but now deprived of the fullness of life that beliefs and myth-poetic narratives offered him.

The richness of the human race is redefined in the multiplicity of the disciplines launching Design in a growing complexity where the hope of government is precisely that of a logical-rational method: a method, then formalized in the famous triad 'needs-requirements-performance' through which to satisfy users' wishes. Despite the subsequent attempts at 'humanistic' liberation, it remained in its inability to be a project and offered itself as a tool for technocracy. It is in this brief history that Design, in the interests of humanity, colonizes the environment to the point of rising, in dangerous as well as dubious interpretations, to the negationist phenomenology of the environmental emergency, devalued to pure *zeitgeist*

which distracts from the true objective which is and should remain the human race.

Qualis artifex pereor? – If the multidisciplinary, systemic and cybernetic dimension had offered the hope for Design at the service of humanity and society, at the end of the 1970s it was these epistemologies, already prepared by the theory of non-linear dynamics and disseminated as a science revolution of complexity to undermine every anthropocentric claim (Capra, 1988). Physical developments, living systems and research in the evolutionary micro-biology of neo-Darwinism (Dawkins, 2006, 1996; Lovelock, 2000) opened the way for a profound rethinking of the relationship between humanity and the environment and on the transformation processes. The field of zoocentric investigation of the natural sciences gave way to the microcosm of bacteria and genes, giving back a world that was zeroed in hierarchies. From the microscopic dimension, certainties and awareness bounced back, opening up a new horizon: from the life of man and woman, to life in its totality, since even the inorganic is involved in the transformations of living systems of any type and size.

It was shown that the transformations in the «longue durée» (Christian, 2004), starting from the Oxygen Holocaust (Margulis, 1997, p. 99), are not the result of processes obedient to 'external' randomness, rational or even superior designs. Instead, they were guided by the logic of concurrent cooperation and mutual support that demolished the stereotype of Darwinian natural selection as a ruthless process of oppression of the strongest against the weakest with all the ethical and moral repercussions that followed. They are autopoietic emergencies (Maturana, 1980) that exclude the attribution to humanity of any invention: from agriculture, to the microchip (Margulis, 1997). Human kind, every other living and inanimate form are closely and mutually interconnected. In the planet Daisyworld<sup>1</sup> black and white daisies proceed symbiotically in a co-generative process where there is no adaptation to the environment but incessant work to alter the albedo towards homeostatic conditions favorable to their survival (Lovelock, 2000).

In the light of this research, the earth is no longer a passive part of a dual relationship and a resource to be exploited for the benefit of human comfort and well-being. The human species is not the only one capable of making changes; the agents responsible for transformation are still largely those on the microscopic scale of bacteria and genes. However, it is undeniable that in the last moments of universal history, humanity's action is gaining an unknown leverage in the intricate co-evolutionary relationship. Prometheus did not imagine that fire, stolen from the gods, would spread heat, vapors and miasma so tragically everywhere revealing the other side of techne: the 'thanototechne'<sup>2</sup>, where knowledge becomes an instrument of dominion over life and therefore power over death (Serres, 2011).

This conduct already appeared at the dawn of humanity with the domestication of cousin Lucy by the men Habilis and Erectus, which eventually continues with agriculture and evolves into technologies through which, as Mumford wrote «he can kill at a distance of five thousand yards and converse at a distance of five thousand miles» (Mumford, 1952, pp. 15, 16). We are in the pres-

ence of negentropic<sup>3</sup> will in contradiction with the progressive increase in energy input. Control and order are pursued, in fact, with the intensification of actions and artifacts to become 'world-objects'<sup>4</sup> (Serres, 2011) capable of going beyond the human dimension and increasing the asymmetry between owners and owned; capable of giving power over life and death until leaving us in doubt: qualis artifex pereor?

The post-environmental condition beyond anthropocentrism – In the light of these scientific paradigms and in the wake of the movements for emancipation and civil rights, the environmental question begins to spread in ecological forms (Carson, 1994; Meadows, 1972; Naess, 1989) to the point that nature became a political issue and obtained recognition for its legal status. In this regard, it is interesting to note how Serres began his presentation at Simon Fraser University (Serres, 2006) pointing out that, in his famous work *Le Contract Naturel* (Serres, 1998), he had never used the word ecology, focusing on the fact that from the signing of the contract of civil rights, nature was excluded. It is a grave injustice equal to the damages suffered and an unjustifiable asymmetry, considering that the social contract was moving for the redemption of the weak and the

lost. But how could anyone without a voice be heard? How could neutral objects sign?

The possibility of a natural contract begins to emerge when, due to the circular feedback mechanisms, humanity becomes a nature-object towards which the effects of its actions bounce off and the environment becomes a subject-nature manifested through a system of strengths and effects. It is no longer necessary to have a voice or a hand to sign because in this 'entanglement' humanity has become the nervous system of a single and total macro-organism. It is the totality of our knowledge, and our acts, visible and invisible devices that speak for the environment. They record effects of every transformation by letting emerge a global system of belonging that dissolves any conflicting dualism: a new macro organism named Gaia (Lovelock, 2000; Latour, 2017) whose care and planning can only be physiological, aimed at knowing functions and manifestations before the causes. This is the first and decisive step invoked by Latour to welcome the prodigious multiplication of potential agents that moves, acts, heats and boils at the negotiation table. It is the only possible alternative to the evident unreasonableness of the rational anthropocentric project where the Baconian and functional vision of the environment is perpetuated. Even worse, the interest in maintaining privileges (even in the more sophisticated version of the Universal Design) continues to be realized within the capitalist meme<sup>5</sup> (Johnston, 2005) and in the West / Rest dualism. Beyond the impracticable reconciliation with nature or obedience to its morality – because every dualism is lost (Morton, 2018) – only a co-evolutionary project can therefore guarantee the safeguarding of our well-being and perpetuate our being in society.

Digital materiality and New Realism in performative modeling – Sixty years after the monitoring of carbon dioxide atmospheric concentrations at the Mauna Loa Observatory in Hawaii (Meadows, 1972), an infinite number of local and orbiting dataloggers have innervated an efficient sentient system. These dataloggers give us the multi-faceted life of our planet and represents the first step in 'giving voice' to the multitude of agents that influence life. At the same time, other things emerged, enabling ways of co-acting no longer by mimesis of forms and typologies, but at the intimate levels of matter. 'Mastering matter' has become an activity that works for relationships, parameters, and forces of energy fields. Technologies and the digital metalanguage enable new ways of bringing out and interacting 'things' of a New Realism that is not the materialism of 'dead things' or ones of animist superstition. 'Raw material' and 'operated matter' manifested themselves by their performative qualities – as well as the connotative qualities of the form – through a new materiality which is the digital datum. This is an untouchable materiality (Un-materiality), however physical and capable of producing real and concrete effects; which enables information, memories, knowledge and awareness; capable of nurturing objectile<sup>6</sup> 'things', mutants and co-agents. These materials offer new forms of intelligence: Computational Intelligences (ICs) that dialogue in the new language of Digital Mathema<sup>7</sup> and present themselves as the only opportunity to escape from obsequious behaviors to tradition, to Progress and to the fifth free-

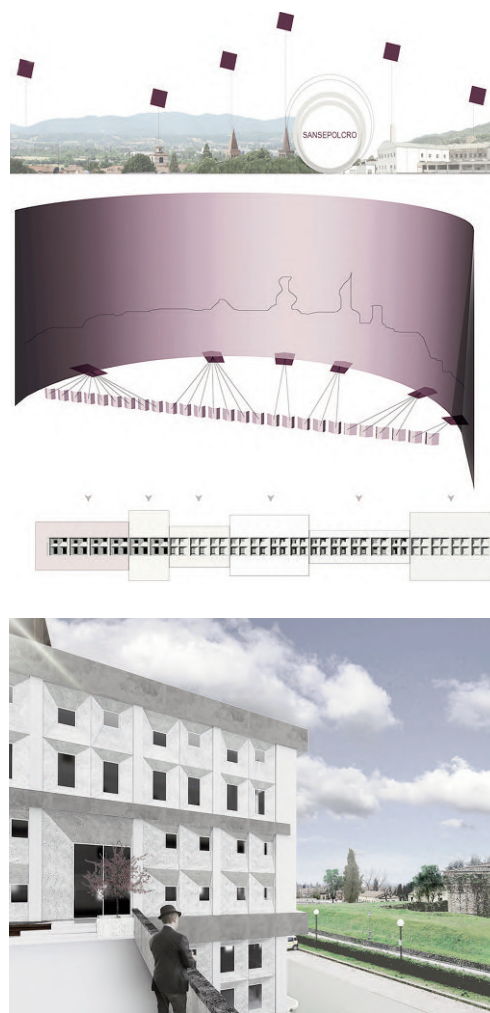


Fig. 10-13 - Development of parametric application by A. Saberi for the Redevelopment of the Aboca Head Quarter (G. Gallo, 2018): Points of interest of the landscape; Diagram of the attractor algorithm; Result of rotations of facade modules; Entrance view.

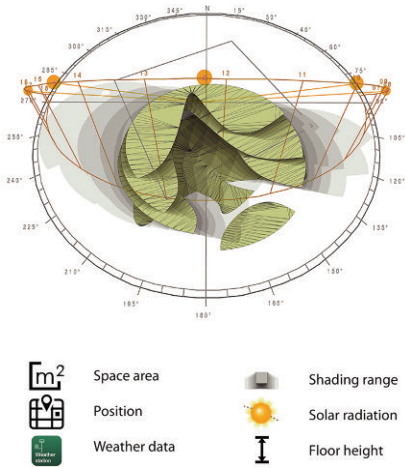
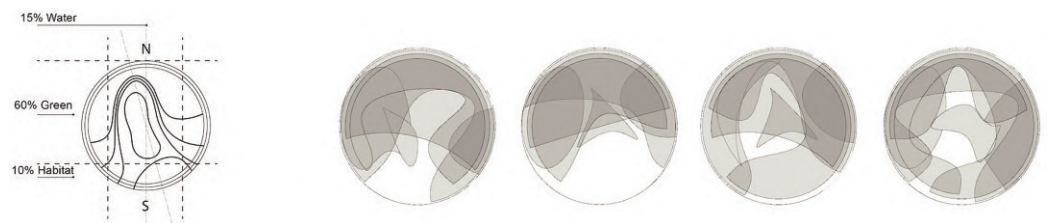
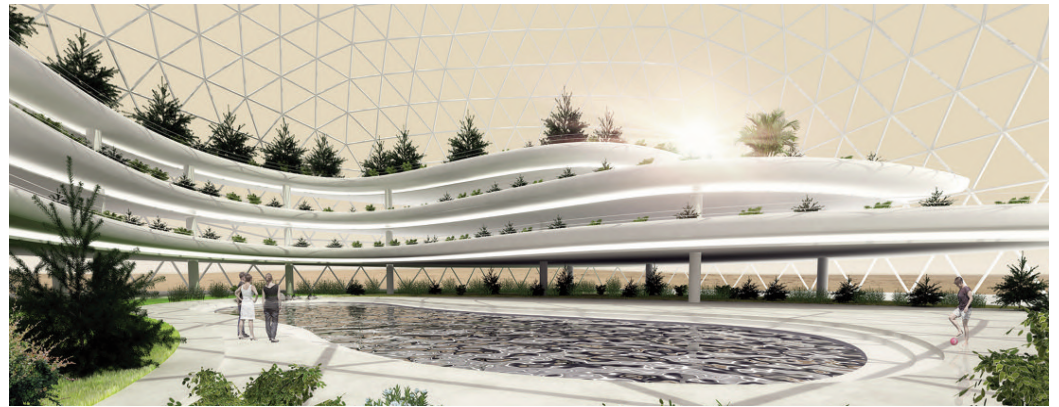


Fig. 14-16 - From Earth to Mars & Back (A. Saberi, 2015), conceptual model of terraces to be used for the cultivation of a Martian base generated by an evolutionary algorithm integrated with energy simulation plugins: Outline of space allocation objectives; Seen from the housing modules; Family of optimized solutions.



dom<sup>8</sup> that the father of the cybernetics pointed out as a looming threat of ruin and despair (Wiener, 1966, pp. 203, 204).

Parametric computation, generative algorithms and artificial intelligence are the products that open up promising trajectories for Design since they are able to conduct exploration of solutions beyond the already known, the rule of art, norms, and experiences that have often proven to be wrong even for simple sun exposure as happened to the great masters Le Corbusier and Stirling (Frazer, 1995, p. 32). The acronym that today identifies this new paradigm is BIM, Building Information Modeling, implying a multitude of more or less intelligent ‘things’ and definitively clarifying the centrality of the model in Designerly Thinking (Ridolfi, 2016). BIM is the ‘vulgate’ of a device that marks a significant difference from previous CAD computational systems. It is, in fact, an object-oriented database, indexed by ontologies of the constructive and architectural elements where, as in another context Kahn declared, a column really knows to be a column. It is an interrelated system of information of various types, and nature held together by the parametric ‘machine’. Since the first experiments of Ivan Sutherland the parametric ‘machine’ is implicit in CAD and subsequently explicit in BIM. At present it is possible to recognize two different lines of application and research: the first one can be defined as Informative BIM, still related to the automation of design production and aimed at instructing contractual, executive, testing and management activities; the second one Performative BIM concerning exploration and simulation activities typical of the ideational phases, especially of the Early Design Stage (Ridolfi, 2018), but still opposed or poorly recognized (Bottazzi, 2018).

This second trend is evident in the Autodesk strategies that in a few years, thanks to acquisitions and recent advances in graphical interfaces, has promoted a progressive transformation of its BIM platform (Revit) by incorporating simulation functionalities designed to support decision-making. Since the 70s’ new functionality, tools and methodologies began to spread as specialist areas

of Parametric Modeling and Performance-Based Design, emerging in the linguistic-architectural phenomenologies of Parametricism (Schumacher, 2008), a new co-evolutionist organicism «in the sense that each and every part is interacting with each other» (Lynn, 2004, p. 12). In an open criticism of modernist reductionism, Parametricism is the manifestation of an a-hierarchical and cooperative vision of architectural elements that allow the overcoming of modularity and series opening up to unexpected differentiations. Continuity and formal unity result from the ‘intricacy’ of elements that should no longer be treated as details of a higher whole or emergencies of conflicts, but irreducible singularities of a continuous system where micro and macro-scale are mutually constituted (Lynn, 1998, pp. 162, 163). This is the realization of a new realism already anticipated by biology where «the manufacture of a body is a cooperative venture of such intricacy» (Dawkins, 2006, p. 24).

Experiments in modeling and computational simulation in Mailab – Beyond the revision of the architectural language (in some interpretations a mirror of the neoliberal liquid society) the poetics of Parametricism had the merit of making the potential of the ICs evident to the greater audience. In fact, those intelligences were capable of processing mathematical functions of increasing complexity; multi-agent morphogenetic procedures; multi-objective functions, ‘anexact yet rigorous’ processes, that are capable of confronting amorphous matter and accurately addressing the local mutation although irreducible in totality (Deleuze, 2005, pp. 20, 367); autopoietic and mimetic generative forms of natural processes beyond anthropocentric and authorial conformism. The increased availability of cheap calculations and user-friendly simplification of tools have amplified this power by offering a vast plethora of users interested in the generation of virtual models on which to conduct explorations of the new. A significant role in this democratization in access to ICs is thanks to the introduction of Grasshopper (2007), later emulated by Autodesk with the launch of Dynamo in 2011 and by Nemetschek with Mari-

onette for Vectorworks (2015). They are open-source visual programming interfaces that offer parametric and associative design environments or, more precisely, tools with which to visualize and manipulate the ‘history’ of the operational process (Explicit History) unlike previous software where ‘history’ was limited to recording actions.

In the academic field, Mailab (Multimedia Architecture Interaction Lab), a joint university-business laboratory of the University of Florence, has benefited from these low-cost facilities, making it possible, in addition to computational modeling and performance simulations, the prototyping of adaptive robotic building systems (Ridolfi, 2019). The acquired skills have also been used in teaching. The introduction to the use of Green Building Studio (Autodesk cloud environment for energy simulation) and Grasshopper plugins has allowed the visualization of a multitude of agents and data-driven evaluations through which students can acquire better awareness and share their decisions; decisions that are otherwise supported by intuition, with sometimes fallacious approximation, or by numerical formalization that are difficult to understand (Ridolfi, 2016).

Beyond modeling and simulations, typical of the energy project, the use of fluid dynamics software, even as elementary as Flow Design, have allowed us to ‘give voice’ to highly complex dynamic phenomena, revealing themselves useful for setting passive ventilation strategies of buildings and on microclimate of outdoor spaces. In more advanced cases, a professional fluid dynamics simulation software (Simscale) has made it possible to materialize and then guide the design choices of the skin of a tower so that the reduction of turbulence of the dominant winds facilitates the landing and takeoff phases of drones intended for transport of people (Fig. 3-5).

The filet de fumé was, instead, a device to face morphological generation retracing the first experiments on animation software and volumetric rendering like Maya released in 1998. Using particle emitters and acting on a limited number of conditions, stochastic processes of fluid dynamic morphogenesis were generated. Here the collaboration

of forces and contextual constraints has produced a continuous mutation that is fixed in single frames, where a multitude of readings lie to be selected and lead to architectural forms (Fig. 6).

A similar experience, in which it is possible to recognize the information of the forces that determined them (Lynn, 1999, pp. 10, 11), concerned the modeling of a large-scale structure schematically identifiable as a three-dimensional funicular system (Fig. 7) and using a Particle-Spring System in the Rhino-Grasshopper environment (Kangaroo). The process in question is one of the cheapest for morphological simulation for this type of structure (Kilian, 2005). It acts on the parameters of stiffness and elasticity of the 'springs' to simulate the behavior of the elements subjected to force fields. In this project that force fields are gravitational acting within a system of heterogeneous constraints such as accessibility, panoramic views, context at the edges of the building (Fig. 8). The design alternatives arise from the manual manipulation of the physical-geometric properties of agents and constraints. It follows that, although the search for equilibrium is automatic, the exploration is restricted to a limited number of alternatives. Moreover, these 'engines' do not solve the architectural form in an integrated manner to the structural optimization. In this case, the structural optimization was developed in a later phase using another Grasshopper plugin (Millepede) from which to read the stress states and then drive structural adaptation (Fig. 9). Finally, witnessing the variety of 'agents', even qualitative ones that can act on the form, we elaborate a parametric 'engine' capable of evaluating the daylight that, at the same time, 'attracts' the windows of an office building towards the points of interest in the surrounding landscape (Fig. 10-13).

Generative design experiences towards artificial intelligence – In addition to these experiences, the sector of greatest interest for Mailab today is oriented towards Generative Design (GD): the new frontier of Parametricism, now called Parametricism 2.0 (Schumacher, 2016), or even better Post-Parametric Automation (Andia, 2015). Post-Parametric Automation signals its auto-generative potentials capable of definitively freeing the designer from that tedious work of manual manipulation (Woodbury, 2010, p. 24), which continues to persist even in parametric procedures. The GD exploits forms of intelligence of optimization on a performance basis, but using automated processes that allow to execute – in continuity – form generation, measurement of the performance and, based on feedback, identification of satisfactory solutions to the given problem.

In addition to the Fuzzy System and Neural Networks, the intelligence systems mostly used in the GD are those of Evolutionary Computation (EC) and Swarm Intelligence (SI). They are both heuristic procedures that, in the face of complex problems that cannot be traced back to linear solvers, rediscover the old method of proceeding 'by trial and error', but with the possibility of generating an endless number of attempts from which to let emerge solutions, sometimes unexpected. Their logics derive from the natural morphogenetic processes, marking the mutation of Design originally inspired by forms, to now a Design determined by forces where it is legitimate to assimilate

Architecture to a sort of artificial life (Frazer, 1995, p. 9). While sharing the same matrix, EC and SI differ in approaches and disputed computational economies: the first emulating the genetic selection processes of classical Darwinism; the second emulating the collaborative processes of the individuals of a group.

In the different meanings and nuances the algorithms that feed the EC are based on the concept of survival starting from the identification of genes and from which stochastically generate a population of phenotypes that will evolve, through processes of crossing and selection, towards those that are more responsive to the objective functions (Bansal, 2019). SI systems pursue optimization by emulating self-organizing behaviors of singularities, which, instead of their suppression, are safeguarded and stimulated to share their 'intelligences'. These logics are evident in the names of the various solvers that, from the Particle Swarm Optimization (PSO) invented by Kennedy and Eberhart in 1995, draw inspiration from the behavior of living populations in search of food, aerodynamic or defense configurations, engaged in processes of colonization (Kennedy, 2001).

Also in this case the visual programming environments offer some optimization plugins, nowadays, mainly based on genetic evolution algo-

rithms. The first and most used is Galapagos, released in 2008 by David Rutten, inventor of Grasshopper, followed by Goat (2010-15), Octopus (2013) and Opossum (2016). The only plugin available that makes use of SI is now limited to Silvereye (Cichocka, 2017). In Dynamo, only the Optimo evolutionary solver (2014) is currently available, although Autodesk, looking at the Green Studio model, has recently launched Refinery, an ambitious GD cloud project based on genetic optimization algorithms. As evidence of their potential, we cite some of the recent experiences carried out within or with the support of Mailab through the use of evolutionary algorithms:

- consultancy for the lighting design layout in office spaces with identification of the best compromise between lighting quality and reduction of initial and operating costs in the useful life cycle by selecting and locating lighting fixtures;
- optimization of a terracing system for cultivation within a Martian colony mediating between respect for the minimum of the cultivation surfaces, values of irradiation and containment of floor heights (Fig. 14-16);
- placement of a tower in an urban environment, proceeding based on GIS data, from the search for free areas and refining the choice in relation to the urban density and available infrastructures (Fig. 17);
- optimization of functional layouts and morphological generation in relation to energy efficiency, visual comfort and global emission reduction (Fig. 18).

Other types of algorithms have involved typical problems of passive environmental design by solving morphological optimization through genetic manipulations of climate positioning, orientation, radiation, wind exposure, natural lighting, as well as those of occupants' behaviors and habits.

Conclusions – In the last seconds of the universe we have opened a new chapter of global intelligence where new artisans adapt new tools to enrich, rather than reduce, mutating and co-responsible singularities of the multiple. The last tool from the arsenal of Artificial Intelligence is Big Data, a new field of research of Artificial Intelligence and Machine Learning that has also been accepted in Mailab in forms still simplified and rather oriented to the 'Learning through Machine'.

A first project, still under development and tested on a limited number of historical Tuscan farmhouses, has produced a tool that return a statistical knowledge on the percentage distribution of orientations and views of their characteristic spaces (Fig. 21-26). It can therefore be compared to the learning phase of Deep Learning, but with limitations that reside in the preparation of the data and taxonomic assignment that, in this specific case, are still referred to manual operations. In the field of architecture, the acquisition of data for pattern recognition is a known problem due to the fragmentation and heterogeneity of the sources, but actively studied (Liu, 2017) since it is evident how the diffusion of the sentient system, from the spoon to the landscape, can offer that data mining necessary for a further advancement of intelligence (Deutsch, 2015).

Big Data is the last example of «soft architecture machines» that opens the project of the world to a sort of new empiricism capable of revealing the hidden and adaptive rationality of the 'pack-donkey's path' instead of those linear guidelines of

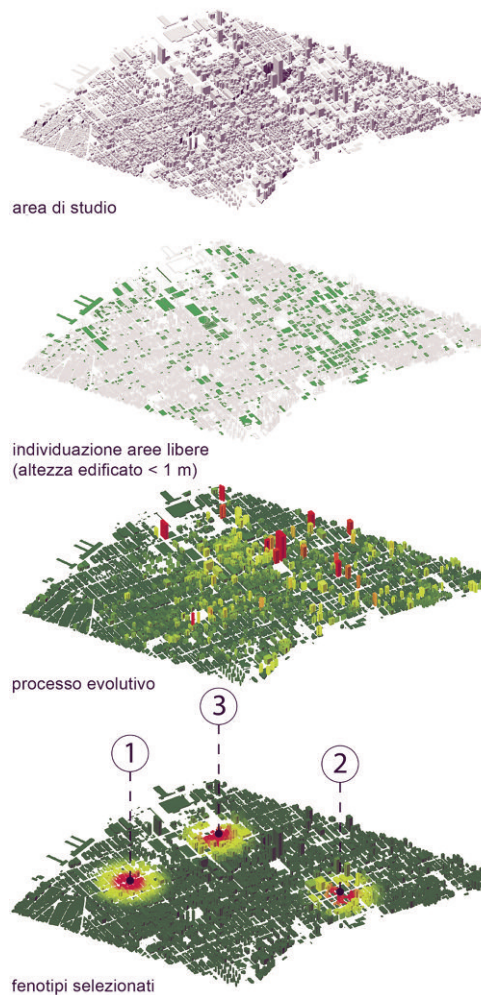


Fig. 17 - Search for the optimal site in an urban context for the location of a residential tower with the use of an evolutionary algorithm and plugin for automatic extraction of GIS data; the selected phenotypes maximize goals with lower population density, greater facilities and services.

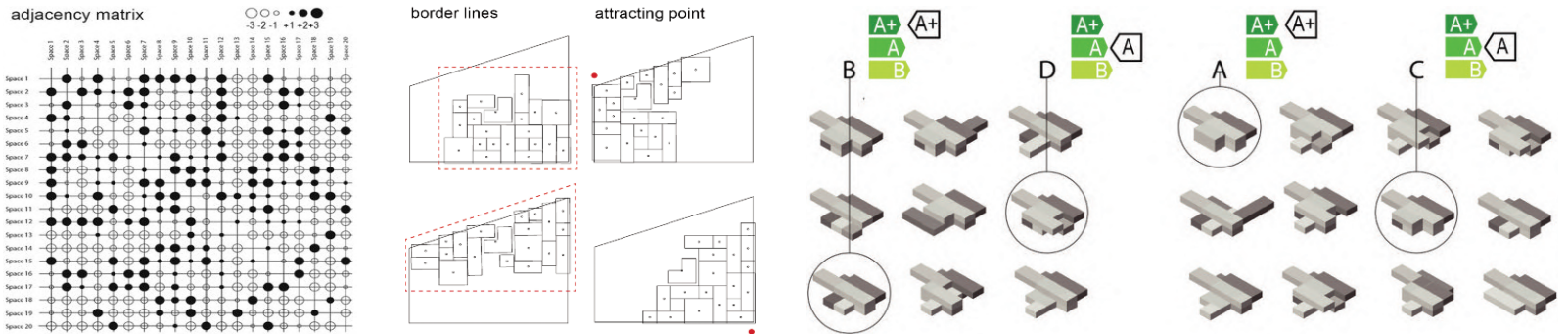


Fig. 18-20 - Application based on evolutionary algorithms for architectural morphological generation at the conceptual mass level (2016): Functional adjacency matrix; Rationalization of spaces based on frontier and punctual attractors; Families of phenotypes arranged on two energetically optimized planes in the Mediterranean climate.

the logical-rational certainties advocated from Le Corbusier (Schumacher, 2009, pp. 17, 18), but now unsuitable in front of the magnificent work of a blind watchmaker. The road is marked. We then proceed along these paths, but without ever forgetting that we are entrusting ourselves to a digital 'marking' that overshadows two possible and dangerous side effects: the eclipse of knowledge by simplified 'know-how', up to gamification for use by 'amateurs'; the entanglement in the tyrannical tautologies of the digital Mathema that is both an enriching and symbolic reduction of the world.

ACKNOWLEDGEMENTS

The article is the result of an integrated work between a research investigation and theoretical reflections where A. Saberi's collaborated on the development and application of some operational tools.

NOTES

- 1) Daisyworld is the famous experiment conducted in 1983 by J. Lovelock and A. Watson in which, through a software, the interaction between inorganic elements and living organisms was demonstrated. The model simulated the energy homeostasis of a planet populated by white daisies (responsible for cooling the planet thanks to a higher light reflection coefficient) and black daisies (responsible for warming the planet thanks to their light absorption capacity).
- 2) Thanatotechné. A concept in which technology offers itself as a tool of death to satisfy the needs of the power for domain, obtaining, in exchange, resources to fuel its development. In this dimension, technology becomes an absolute, that is – as Marcuse affirmed – untied from any bond and judgment that is not that of the instrumental rationality of sciences and economy. Finalité sansfin, according to Serres, since he is deprived of any project that is not that of his immense growth. More generally, for Foucault, technologies also become instruments of domination over life when they operate on behalf of politics as a biological normative instrument. Recently, Agamben has also faced the link between technology and death arguing how power can dispose of life and death without guilt. According to the philosopher, this condition derives from the fact that power placed itself in a state of perennial exceptionality where any law is suspended and humanity is thrown into a state of absolute 'nakedness', deprived of every right that could derive from the animal and social condition.
- 3) Negentropy is the term introduced in 1943 by E. Schrödinger to indicate the negative entropy or the conditions of order of a system. It is also used as a measure of deviation from normality.
- 4) Word-objects. Term coined by M. Serres to indicate artifacts (primarily for military uses) that produce effects

over time, space, speed and energy on a global scale or exceeding humanity dimension.

5) Meme is a concept coined by R. Dawkins in his work *The Selfish Gene* (1976). In analogy with biological evolutionism, in which the gene is the minimum element of perpetuation of living species, the meme represents the minimum unit of information which, by imitation, spread and support a socio-cultural system.

6) Objectile. Concept launched by the philosopher G. Deleuze that identifies objects of indeterminacy and capable of topological mutations. The theme had a vast impact on parametric design thanks to the work of B. Cache.

7) Digital Mathema. Neologism used to emphasize the character of universality and efficiency that binary language is acquiring, but also a new way of thinking about the world. The term mathema was introduced by Lacan to indicate a language that, through a sort of scientific formalization of mathematics, could confer features of objectivity to psychoanalytic discourse. Antecedents of this 'project' of integral transmission of knowledge are to be found in G. Leibniz's *Characteristica Universalis* through which philosophical disputes could have been resolved through forms of calculation and even before in the formal logic of Aristotle. Mathematics as a way of thinking draws inspiration from the developments of Badiou in which the mathema, beyond notation, becomes a form of thought of being outside of any factual manifestation.

8) The Fifth Freedom identifies the freedom of the free market according to a definition given in 1941 by the president of the United States H. Hoover in a speech to support the shipment of weapons to Europe. In a broader view of classical liberalism, this concept includes free initiative, private property and the right to exploit any kind of resources.

REFERENCES

Agamben, G. (1995), *Homo sacer*, Einaudi, Torino.

Alexander, C. (1967), *Note sulla sintesi della forma* [or. ed. *Notes on the Synthesis of Form*, 1964], Il Saggiatore, Milano.

Andia, A. and Spiegelhalter, T. (2015), *Post-Parametric Automation in Design and Construction*, Artech House, Boston.

Asimow, M. (1968), *Principi di progettazione* [orig. ed. *Introduction to Design*, 1962], Marsilio, Venezia.

Bansal, J. C., Singh, P. K. and Pal, N. R. (eds) (2019), *Evolutionary and Swarm Intelligence Algorithms*, Springer, Cham.

Bottazzi, R. (2018), *Digital architecture beyond computers: fragments of a cultural history of computational design*, Bloomsbury Publishing Plc, London.

Capra, F. (1988; I ed. 1982) *The turning Point. Science society and the rising culture*, Bantam Book, Toronto.

Carson, R. (1994; I ed. 1962), *Silent Spring*, Houghton Mifflin Company, Boston (MA).

Christian, D. (2004), *Maps of Time: An Introduction to Big History*, University of California Press, Los Angeles.

Cichocka, J. M., Migalska, A., Browne, W. N. and Rodriguez, E. (2017), "The Implementation of Particle

Swarm Optimization Algorithm in a Design Optimization Tool", in Çağdaş, G., Özkar, M., Gül, L. F. and Güner, E. (eds) (2017), *Computer-Aided Architectural Design. Future Trajectories*, Springer, Cham.

Crowley, J. E. (2001), *The invention of comfort. Sensibilities & design in Early Modern Britain & Early America*, The John Hopkins University Press, Baltimore-London.

Dawkins, R. (2006; I ed. 1976), *The self fish gene*, Oxford University Press, Oxford.

Dawkins, R. (1996; I ed. 1986), *The Blind Watchmaker*, W. W. Norton & Company, New York.

Deleuze, G. and Guattari, F. (2005), *A thousand plateaus: capitalism and schizophrenia* [orig. ed. *Mille Plateaux*, 1980], University of Minnesota Press, Minneapolis.

Deutsch, R. (2015), *Data-driven design and construction: 25 strategies for capturing, analyzing and applying building data*, Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Fitch, J. M. (1947), *American Building. The Forces that Shape it*, The Riverside Press, Cambridge.

Foucault, M. (1988), *Le parole e le cose* [orig. ed. *Les mots et les choses*, 1966], Rizzoli, Milano.

Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association Press, London.

Harman, J. (2011), *The Quadruple Object*, Zero Books, Alfreton.

Johnston, W. A. (2005), "Third Nature: The Co-Evolution of Human Behaviour, Culture, and Technology", in *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, vol. 9, n. 3. [Online] Available at: [https://psych.utah.edu/\\_documents/psych4130/Third\\_Nature.pdf](https://psych.utah.edu/_documents/psych4130/Third_Nature.pdf) [Accessed: March 2018].

Kennedy, J., Eberhart, R. C. and Shi, Y. (2001), *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.

Kilian, A. and Ochsendorf, J. (2005), "Particle-spring systems for structural form finding", in *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, vol. 46, n. 148, pp. 77-84. [Online] Available at: <http://designexplorer.net/newscreens/cadenarytool/KilianOchsendorfIASS.pdf> [Accessed: May 2017].

Latour, B. (2017), *Facing Gaia. Eight Lectures on the New Climatic Regime* [orig. ed. *Face à Gaïa. Huit conférences sur le nouveau régime climatique*, 2015], Polity Press, Cambridge (UK) - Medford (MA).

Lovelock, J. (2000; I ed. 1979), *Gaia. A new look at the life on Earth*, Oxford University Press, Oxford.

Liu, C., Yang, J., Kohli, P. and Furukawa, Y. (2017), "Raster-to-Vector: Revisiting Floorplan Transformation", in *International Conference on Computer Vision*. [Online] Available at: <http://art-programmer.github.io/floorplan-transformation/paper.pdf> [Accessed: 13 January 2018].

Lynn, G. (2004), "Introduction", in AA. VV., *Folding in Architecture*, Wiley-Academy, Chichester.

Lynn, G. (1999), "Animate Form", in Lynn, G. (ed.), *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York (NY).

Lynn, G. (1998), *Folds, Bodies & Blobs. Collected Essays*, La Lettre Volée, Bruxelles.

Margulis, L. and Sagan, D. (1997; I ed. 1987), *Microcosmos*, University of California, Berkeley and Los Angeles



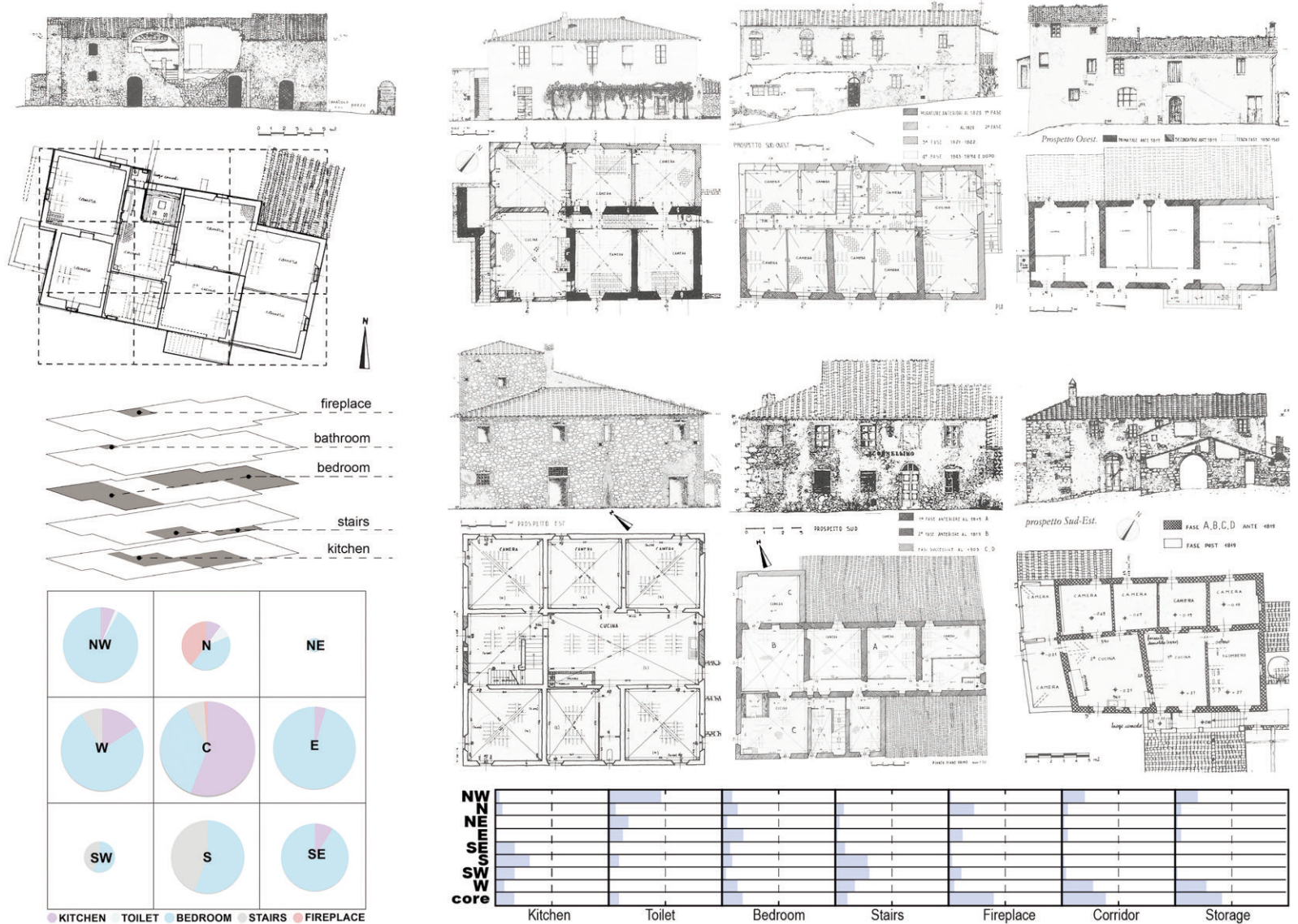


Fig. 21-26 - Instrument for statistical knowledge of the room orientation: Farmhouse main view; Application of the scanning grid on the plan layout; Layers for assigning functions; Space distribution output of the single house; Some specimens of the sample of historical colonies of the agricultural landscape in Volterra; Output of the rooms in the totality of the sample.

Press, Berkeley-Los Angeles-London.

Maslow, A. H. (1992), *Motivazione e personalità* [or. ed. *Motivation and Personality*, 1954], Armando Editore, Roma.

Maturana, H. R. and Varela, F. G. (1980), "Autopiesis: the Organization of the Living", in Maturana, H. R., and Varela, F. G. (eds), *Autopiesis and Cognition* [orig. ed. *De máquinas y seres vivos*, 1972], Reidel, Dordrecht, pp. 63-134.

Meadows, D. et alii (1972), *The Limits to Growth*, Universe Book, New York (NY).

Morton, T. (2018), *Being Ecological*, Pelican Book, London.

Mumford, L. (1952), *Art and Technics*, Columbia University Press, New York (NY).

Negroponte, N. (1975; I ed. 1970), *Soft Architecture Machines*, The MIT Press, Cambridge-London.

Naess, A. (1989), *Ecology, community and lifestyle* [or. ed. *Økologi, samfunn, og livsstil*, 1976], Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Ridolfi, G. (2018), "Bim e simulazione ambientale nelle fasi iniziali del progetto", in Ceccherini Nelli, L. (ed.), *Soluzioni innovative di risparmio energetico per edifici Nearly Zero Energy*, Didapress, Firenze.

Ridolfi, G. and Saberi, A. (2016), "Learning Design Through Designerly Thinking: Holistic Digital Modeling in a graduate program in Architecture", in Styk, J. and Bezerra, L. (eds.), *Education for research. Research for Creativity*, Wydżiał Architektury Politechniki Warszawa-

wskeiej, Warszawa.

Ridolfi, G., Saberi, A. and Bakhshaei, O. (2019), "High | Bombastic. Adaptive skin conceptual prototype for Mediterranean climate", in Sayigh, A. (ed.), *Sustainable Building for a Cleaner Environment*. Springer, Cham.

Schumacher, P. (ed.) (2016), "Parametricism 2.0: Rethinking Architecture's Agenda for the 21st Century", in *Architectural Design*, vol. 86, pp. 18-23.

Schumacher, P. (2009), "Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design", in *Architectural Design*, vol. 79, issue 4, pp. 14-23.

Schumacher, P. (2008), *Parametricism as Style. Parametricist Manifesto*. [Online] Available at: <https://www.digitalmanifesto.net/manifestos/76/> [Accessed: July 2015].

Serres, M. (2011), *Betrayal: The Thanatocracy* [or. ed. "Trahison: la thanatocratie", in Serres, M. (ed.), *Hermès III: La traduction*, 1974], Édition de Minuit, Paris. [Online] Available at: [https://issuu.com/randisi/docs/serres\\_betrayal](https://issuu.com/randisi/docs/serres_betrayal) [Accessed: 18 March 2016].

Serres, M. (2006), *Revisiting the Natural Contract*, talk at Simon Fraser University on May 4. [Online] Available at: <http://www.sfu.ca/humanities-institute-old/pdf/Naturalcontract.pdf> [Accessed: 24 March 2016].

Serres, M. (1998), *The Natural Contract* [orig. ed. *Le contract Naturel*, 1990], The University of Michigan Press, Ann Arbor (MI).

Vagnetti, L. (1973), *L'architetto nella storia di Occidente*, Teorema Edizioni, Firenze.

Wiener, N. (1966), *Introduzione alla cibernetica* [orig.

ed. *The human use of human beings. Cybernetics and Society*, 1950], Bollati Boringhieri, Torino, pp. 203-204.

Woodbury, R. (2010), *Elements of parametric design*, Routledge, Abingdon.

<sup>a</sup> GIUSEPPE RIDOLFI, Architect, he is Associate Professor at the Department of Architecture, University of Florence (Italy) teaching Environmental Design. Member of the Teaching Committee for the BIM Master in Project and Collaborative Processes in New and Existing Buildings, he carried out planning for University and hospital complexes, studies and consultancy for public and government agencies. He is the Director of the Mailab laboratory. E-mail: giuseppe.ridolfi@unifi.it

<sup>b</sup> ARMAN SABERI, PhD student in Architectural Technology at the University of Florence, he is involved in architectural visualization, animation, parametric and generative design mainly in the energy field, carrying out research, design consultancy, teaching assistance and teaching. He is a member of the Mailab research laboratory. E-mail: arman.saberi@unifi.it

Essays & Viewpoint

architecture

## TECNOLOGIA BIM E INNOVAZIONE MATERIALE LA DIMENSIONE AMBIENTALE

### BIM TECHNOLOGY AND MATERIAL INNOVATION THE ENVIRONMENTAL DIMENSION

Rossella Franchino<sup>a</sup>, Caterina Frettoloso<sup>b</sup>, Nicola Pisacane<sup>c</sup>

#### ABSTRACT

Le riflessioni che si propongono prendono spunto da una ricerca interdisciplinare condotta dagli autori e relativa all'applicazione della tecnologia BIM alla gestione del processo edilizio. Nello specifico la ricerca si focalizza sul ruolo che tale tecnologia informatica ha nella scelta e nella valutazione dell'uso dei differenti materiali in relazione alle loro performance nell'intero ciclo di vita dell'edificio. In particolare, il presente lavoro sintetizza la fase della ricerca che riguarda il ruolo che la tecnologia BIM può assumere nel controllo della dimensione ambientale dei materiali da costruzione innovativi a matrice naturale attraverso l'elaborazione di un set di criteri in grado di descrivere la qualità di un determinato materiale soprattutto in termini di compatibilità.

The considerations reported in the following paper take inspiration from an interdisciplinary research carried out by authors and relative to the application of BIM technology for the management of the building process. In this regard, the research focuses on the role that this computer technology has in the choice and assessment of the use of different materials while considering their performance in the whole life cycle of the building. In particular, the present work summarizes the role that BIM technology has in the control of the environmental dimension of natural matrix innovative building materials. This evaluation is pursued through the processing of a set of criteria able to describe the quality of a given material especially in terms of compatibility.

#### KEYWORDS

building information modeling, capacità carico materiali, compatibilità ambientale, data base, materiali innovativi  
building information modelling, database, environmental compatibility, innovative materials, material load capacity

Lo studio della dimensione ambientale dei materiali per la costruzione è il focus delle considerazioni descritte nel presente lavoro che approfondisce quelli innovativi a matrice naturale. Attualmente questi materiali presentano particolari potenzialità al fine di sensibilizzare il mondo della produzione industriale a promuovere cicli produttivi che integrino l'efficienza dei materiali con la compatibilità ambientale per preservare e valorizzare gli ecosistemi e i cicli biologici della natura. Tale approccio, orientato all'utilizzo di materiali innovativi attraverso la gestione/controllo di diversi criteri qualificanti la dimensione ambientale, può consentire di rivedere il rapporto tra edilizia e materiali da costruzione. Questi criteri, mettendo a sistema più requisiti (dal risparmio di risorse naturali alla mitigazione e riduzione dell'impatto ambientale), possono contribuire sia alla definizione della limitazione dell'impronta per ciascun materiale sia all'individuazione della capacità di carico dello stesso.

L'integrazione tra tecnologia BIM e criteri di controllo per la valutazione dei materiali innovativi in ambito edilizio costituisce uno degli elementi più significativi dello studio fornendo, inoltre, uno strumento decisionale e di controllo sia dei processi di obsolescenza negli interventi di recupero dell'esistente sia del progetto ex-novo in chiave eco-orientata. La tecnologia BIM, infatti, ricostruendo digitalmente non solo la geometria di un edificio ma proponendone un clone virtuale, si pone come strumento di supporto per il progetto in tutte le sue fasi, consentendo un miglior controllo rispetto ai consolidati processi tradizionali. In questo modo, tutti gli elementi caratterizzanti l'opera, dalla geometria, ai materiali e alle tecnologie da costruzione, ai costi nonché alle specifiche riguardanti la realizzazione, possono essere modellati e comunicati agli operatori interessati nell'intero processo progettuale/realizzativo/manutentivo (Saieg et alii, 2018). Lo studio proposto, mettendo a sistema queste importanti potenzialità della piattaforma BIM, si pone l'obiettivo di fornire un supporto preliminare nelle scelte relative ai componenti edilizi e ai materiali che li costituiscono, attraverso valutazioni prestazionali anche in termini di sostenibilità delle scelte stesse. Nello specifico a titolo esemplificativo si presentano alcune simulazioni che evidenziano i significativi vantaggi ambientali derivanti da soluzioni tecnologiche con materiali innovativi a matrice naturale rispetto a scelte prevalentemente tradizionali.

*Materiali a matrice naturale e compatibilità* – Tra le maggiori preoccupazioni dell'uomo contemporaneo sono sicuramente prioritarie quelle ambientali. La questione ambientale, strettamente connessa a quella energetica, condiziona in modo molto marcato lo studio, l'applicazione e la gestione delle nuove tecnologie, sia innovative che semplicemente evolutive. Ciò è particolarmente sentito in tutti i campi e soprattutto in quello edilizio che è un settore caratterizzato da un alto consumo di risorse naturali e da un fortissimo impatto sull'ambiente e sui sottosistemi che lo caratterizzano. I problemi di degrado e inquinamento, infatti, si riflettono su tutti i sottosistemi naturali: acqua, aria e suolo, e oggi i tecnici e le Istituzioni sono sempre più impegnati a trovare soluzioni non solo per intervenire e 'curare' casi particolarmente gravi, ma soprattutto nel 'prevenire' eventuali problemi futuri. È importante, quindi, che le analisi di convenienza, generalmente orientate solamente dalla necessità di risparmiare risorse, siano necessariamente affiancate anche dall'analisi di compatibilità ambientale.

A tal riguardo, si propongono spunti di riflessione relativi a soluzioni che impiegano le risorse ambientali con l'obiettivo di utilizzare i principi della natura come modello di gestione sostenibile. Utilizzare la capacità propria della natura attraverso le sue risorse è sicuramente più conveniente non solo 'ambientalmente', ma anche economicamente in quanto in alcuni casi si riesce a contenere il ricorso a costose soluzioni impiantistiche (Kabisch, 2017). In questo ambito il presente lavoro concentra la propria attenzione sul ruolo svolto dai materiali innovativi come elementi chiave del progresso tecnologico sostenibile del settore edilizio. Fino a qualche tempo fa lo sviluppo dei materiali per la costruzione è stato focalizzato soprattutto sul miglioramento delle prestazioni degli stessi sia in termini di efficienza che di resistenza nel tempo, il tutto con controllo del contenimento dei costi. Soltanto più recentemente, si è aggiunta anche l'attenzione alle problematiche ambientali determinate sia dalla produzione che dall'utilizzo e dal relativo smaltimento finale, allargando anche all'auspicabile riciclo/riuso (Altamura, 2015; Das and Neithalath, 2019).

Al fine di poter contribuire a creare un ambiente urbano più sostenibile è importante che l'attenzione sia rivolta, dunque, anche ai materiali utilizzati e a tal riguardo particolari potenzialità sembrano presentare quelli innovativi che per la loro costituzione attingono alle risorse rinnovabili del no-



Figg. 1, 2 - *The Circular Garden* (ENI and Carlo Ratti Associati, 2019), installation in Orto Botanico Brera, Milano (credit: R. Franchino).

stro pianeta. I materiali innovativi per definizione presentano un'ottimizzazione delle proprietà rispetto a quelli tradizionali per consentire il raggiungimento di prestazioni innovative intervenendo sulle caratteristiche fisiche e chimiche. Particolare attenzione deve essere rivolta, quindi, a quei materiali che consentono il miglioramento delle prestazioni funzionali e contemporaneamente sono attenti anche agli effetti ambientali estesi all'intero ciclo di vita.

L'introduzione dei materiali innovativi ha una grande influenza sull'ambiente artificiale di oggi (Beylerian et alii, 2007) e stravolge il rapporto tra edilizia e materiali da costruzione in quanto mentre quelli tradizionali hanno sempre svolto una funzione statica, quelli innovativi si caratterizzano proprio per acquisire una funzione dinamica che gli consente di adattarsi anche ai cambiamenti ambientali. Ciò permette di allargare le frontiere del dialogo tra l'edificio e il contesto ambientale circostante, che in questo modo può avvenire anche mediante l'accurato utilizzo dei materiali. Per tali applicazioni risultano particolarmente indicati i materiali smart, che nell'ambito di quelli innovativi si distinguono per la capacità di modificarsi in risposta a stimoli provenienti dall'esterno e si caratterizzano proprio perché in grado di sfruttare le risorse ambientali, utilizzando i principi della natura per il loro funzionamento stimolando le strategie proposte dalla natura stessa (Casini, 2016; Kretzer, 2017).

Restando in tale ambito, interessanti prospettive offrono, inoltre, i materiali innovativi a matrice naturale che perseguono un approccio che assimila i materiali a elementi naturali in grado, quindi, di rigenerarsi. Il potenziale delle risorse naturali rinnovabili del nostro pianeta può essere utilizzato, pertanto, anche per la creazione di materiali per la costruzione, così come suggerito in maniera suggestiva dall'installazione *The Circular Garden*, realizzata da ENI in collaborazione con lo studio di design Carlo Ratti Associati in occasione della Design Week 2019 presso l'Orto Botanico di Brera a

Milano (Figg. 1, 2). L'installazione si caratterizza per l'esposizione di alcune strutture realizzate in micelio come materiale da costruzione le quali, dopo la dismissione, possono essere reimmesse nel ciclo biologico naturale. Il micelio, infatti, che costituisce la radice fibrosa dei funghi, è un materiale organico e biodegradabile che una volta dismesso può essere riutilizzato come fertilizzante. L'installazione ha promosso il tema dell'economia circolare, e in particolare il binomio uso-riciclo, sensibilizzando notevolmente gli utenti, i tecnici e in generale il mondo della produzione verso le opportunità offerte dai materiali naturali.

Partendo da tali premesse il lavoro proposto mira a evidenziare i significativi vantaggi ambientali derivanti da soluzioni tecnologiche con materiali innovativi a matrice naturale rispetto a scelte prevalentemente tradizionali, avendo cura di effettuare una vera e propria 'analisi di compatibilità' del materiale che aggiunge allo scopo del risparmio di risorse naturali anche quello della mitigazione dell'impatto ambientale (Mulhall et alii, 2019). L'analisi di compatibilità consente, infatti, di poter definire per ciascun materiale la limitazione dell'impronta e l'individuazione della capacità di carico dello stesso definibile come la capacità di assorbire e controllare i fenomeni delle trasformazioni ambientali con un impatto sostenibile per l'ecosistema. In particolare, le soluzioni tecnologiche analizzate sono una chiusura verticale, una chiusura orizzontale e una partizione interna di un edificio tipo. Come illustrato nel paragrafo che segue, il confronto è stato possibile grazie all'utilizzo della piattaforma BIM che ha consentito valutazioni prestazionali anche in termini di sostenibilità al riguardo dei materiali utilizzati (Fig. 3).

*Rappresentazione parametrica del dato ambientale* – La modellazione parametrica attraverso piattaforma BIM offre, tra gli innumerevoli vantaggi, quello di associare a ciascun elemento rappresentato non solo il dato geometrico ma anche altre di-

mensioni, personalizzabili dall'utente. Tale opzione permette valutazioni dei diversi dati associati a ciascun componente edilizio che, attraverso la rappresentazione parametrica, è digitalizzato all'interno del modello numerico dell'edificio. Il maggior vantaggio risiede nella possibilità di valutare scelte sia in relazione a nuovi edifici che esistenti, replicando in forma digitale l'intero processo progettuale, edilizio e più in genere di vita dell'edificio (Tang et alii, 2019). Nello specifico, la piattaforma BIM offre un supporto nella valutazione delle scelte tecnologiche in ottica di sostenibilità, applicata al caso studio presentato e riferito a un edificio a uso misto, commerciale e residenziale (Figg. 4-6). In particolare, l'analisi valuta le prestazioni dell'edificio nel confronto tra soluzioni costruttive basate su tecnologie e materiali tradizionali, confrontati con soluzioni innovative a matrice ambientale. La modellazione parametrica degli elementi tecnologici costitutivi le chiusure orizzontali e verticali e le partizioni interne sono state modellate, non solo nei loro aspetti geometrici e dimensionali, ma anche in funzione di diversi parametri che analizzano la sostenibilità delle diverse fasi di vita dell'edificio. La flessibilità offerta dal BIM permette all'utente di definire i parametri esplicativi del dato ambientale dalla fase di lavorazione del materiale e del componente tecnologico, fino alla sua demolizione, dismissione e riciclo/riuso.

Con particolare riferimento al caso studio, tali valutazioni sono state effettuate attraverso il confronto tra due fasi di vita dell'edificio: una prima durante la quale le soluzioni tecnologiche e i materiali erano di tipo tradizionale, e una seconda – in una fase temporalmente successiva – nella quale è stata ipotizzata la sostituzione di tali elementi con altri che impiegano materiali innovativi a matrice naturale. Lo studio ha avuto come obiettivo principale la comparazione tra scelte tecnologiche differenti con specifico riferimento al dato ambientale; pertanto, il laterizio tradizionale della partizione è stato sostituito con un biomattone, così come l'in-

tonaco tradizionale con altro a base di calce idraulica, mentre la copertura è stata trasformata in tetto verde estensivo non praticabile (Fig. 7). Tali scelte tecnologiche sono state valutate, ai fini della presente ricerca, con esclusivo riferimento al dato relativo alla sostenibilità dei materiali utilizzati, parametrizzando per ciascun componente i valori relativi agli allergeni respiratori organici e inorganici, ai minerali presenti nella lavorazione, all'influenza nel cambiamento climatico, alla presenza di sostanze cancerogene e di radiazioni nel processo industriale di produzione, così come all'uso di combustibili fossili, all'acidificazione e eutrofizzazione, e all'eco-tossicità (Fig. 8).

Tali parametri declinati per ciascun componente permettono di descrivere e rappresentare numericamente il dato relativo alla sostenibilità di un componente in ogni fase di vita dell'edificio, rappresentandolo anche attraverso grafici e abachi descrittivi non solo del dato geometrico, di costo o di performance energetica (non oggetto del presente studio) ma anche della sua valenza ambientale e sostenibile. Gli elementi tecnologici sono stati, quindi, integralmente riprogettati e rimodellati in modo da aggiornare le librerie delle famiglie e i dati parametrici a essi associati. Questi ultimi sono stati arricchiti di ulteriori parametri utili a una valutazione di confronto tra le due fasi temporali al fine di supportare le relative scelte tecnologiche. L'ingente quantità di informazioni e la complessità dei dati da elaborare, infatti, rende la piattaforma BIM ideale alla valutazione della sostenibilità ambientale delle costruzioni (Djuedja et alii, 2019).

L'evoluzione di questa metodologia progettuale ha portato all'affermazione di un nuovo approccio di rappresentazione dell'architettura per mezzo di piattaforme Building Information Modeling, un processo di realizzazione di un modello digitale di un'opera architettonica che contiene un ampio database di informazioni riferite a ogni elemento architettonico, strutturale o relativo a impianto, a supporto della gestione dell'opera in tutte le fasi del suo ciclo di vita (Building Life-Cycle Management): progettazione, realizzazione, manutenzione e dismissione (Jalaei et alii, 2019; Dixit et alii 2019). Cambia quindi l'impostazione del metodo di progettazione, affidato in passato alla sola restituzione piana del disegno, modificando il modo di percepire lo spazio di intervento e semplificando la comunicazione e la comprensione del progetto ai fini del processo costruttivo (Chu et alii, 2018; Fig. 9). L'esito di tale processo è un modello digitale complessivo delle caratteristiche fisiche e funzionali dell'edificio espresse dal modello geometrico e dalle informazioni associate alle sue parti con le informazioni relative ai materiali costruttivi, ai componenti e alle tecniche strutturali, ai tempi e ai costi di realizzazione, agli interventi progressi, allo stato di conservazione. Il vantaggio che deriva dall'applicazione e dall'impiego di tali piattaforme permette la condivisione di informazioni tra le figure professionali coinvolte nella progettazione e nella realizzazione di interventi di nuova costruzione o di manutenzione sul patrimonio costruito esistente (Saieg et alii, 2018).

Il modello parametrico BIM segue, parallelamente al reale edificio, tutte le fasi del ciclo di vita, fino a un livello di conoscenza e approfondimento (LOD) che considera il flusso di materiali, i tempi di esecuzione dei lavori e la relativa valutazione economica. Questa capacità di gestione delle infor-

mazioni è integrata con la possibilità di visualizzare tutti i sistemi e componenti, assemblati o in sequenza, in scale diverse rispetto all'intero progetto o ai singoli elementi, e di rilevamento di conflitti (clash-detection) che penalizzano tempi e costi e gestione. L'uso della tecnologia BIM, pertanto, consente, attraverso le interrogazioni delle banche dati, l'ampliamento delle indagini conoscitive finalizzate alla gestione e alla valorizzazione dell'oggetto edilizio: tutte le informazioni e i dati acquisiti dall'analisi multidimensionale del bene architettonico possono essere organizzati in un Building Information Model (Matthews et alii, 2018). L'approccio Building Information Modeling può offrire la possibilità di gestire integralmente la complessità delle informazioni e dei valori riferiti ai sistemi tecnologici e ai componenti che costituiscono l'architettura, oltre che ai relativi momenti differenti del ciclo di vita dello stesso.

Il BIM va quindi a integrarsi con le analisi di Life Cycle Assessment (LCA) volte alla stima dell'impatto ambientale nelle costruzioni, in tutto il loro ciclo di vita, dalla fase di produzione dei materiali, al loro trasporto in opera, alla installazione e manutenzione, fino alla dismissione (Chong et alii, 2017). Tale approccio mira a esporre le modalità secondo le quali il BIM gestisce ampie quantità di dati, contribuendo così a fornire in fase di progettazione informazioni circa la sostenibilità delle scelte operate in aggiunta ad altri dati e valutazioni, supportando le diverse scelte che un tecnico o un utente è tenuto a svolgere nell'ottica della circolarità, non solo durante la vita dell'edificio ma anche nelle successive fasi di demolizione e recupero di componenti e materiali.

**Edilizia circolare e materiali da costruzione** – La spinta verso modelli economici di tipo circolare, orientati cioè alla promozione e adozione di strategie che minimizzano il prelievo di risorse non rinnovabili, trova nel settore delle costruzioni un interessante campo di indagine e di sperimentazione

(Sennett, 2008; Osservatorio Recycle, 2017; Starace and Realacci, 2018). L'idea che l'economia circolare – concetto che ha le sue radici negli anni Settanta – possa configurarsi come un vero e proprio strumento di sviluppo per il settore delle costruzioni<sup>1</sup> deriva dal fatto che si tratta di un settore con un forte impatto ecologico-ambientale dovuto sia ai consumi di risorse non rinnovabili sia alla produzione di scarti e rifiuti (Fig. 10). In un'ottica di circolarità, ossia di valorizzazione delle risorse che prevede il superamento dell'idea stessa di rifiuto, l'industria delle costruzioni dovrà lavorare sulla riduzione degli sprechi, il che si traduce in un'attenzione particolare, prima di tutto, sia alle modalità costruttive/dismissione sia ai materiali impiegati. La Fondazione Ellen MacArthur, nell'ambito delle sue attività rivolte alla promozione di una transizione verso l'economia circolare, ha sviluppato un diagramma a farfalla che graficizza l'idea secondo cui i materiali possono essere articolati in due diversi cicli: quello biologico e quello tecnico. «All'interno del ciclo biologico, rinnovabile e vegetale le risorse sono utilizzate, rigenerate e restituite in modo sicuro alla biosfera – come nel compostaggio o digestione anaerobica. All'interno del ciclo tecnico, i prodotti creati dall'uomo sono progettati in modo che alla fine della loro vita utile – quando non possono più essere riparati e riutilizzati per il loro originale scopo – i loro componenti sono separati e riutilizzati, o rigenerati in nuovi prodotti. Ciò evita l'invio di rifiuti alla discarica e crea un ciclo a circuito chiuso» (ARUP, 2016, p. 16).

Uno degli esiti più significativi della ricerca portata avanti dalla Fondazione è il ReSOLVE framework basato su sei azioni strategiche: Rigenerare, Condividere, Ottimizzare, Ciclo continuo, Virtualità, Scambio (MacArthur et alii, 2015). Tali azioni, restringendo il campo ai materiali da costruzione, hanno delle ricadute sulle filiere produttive che le adottano e, pertanto, dovranno essere prevalentemente orientate a promuovere l'utilizzo

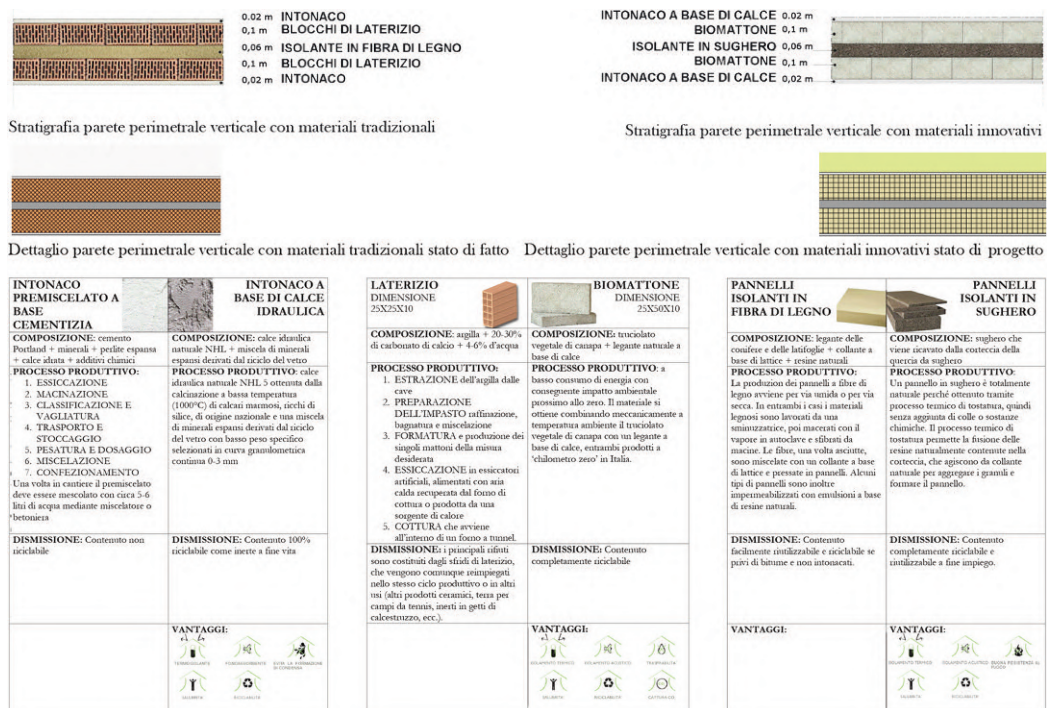


Fig. 3 - Comparison between traditional and innovative materials for the perimeter wall with BIM platform (credit: R. Russo).

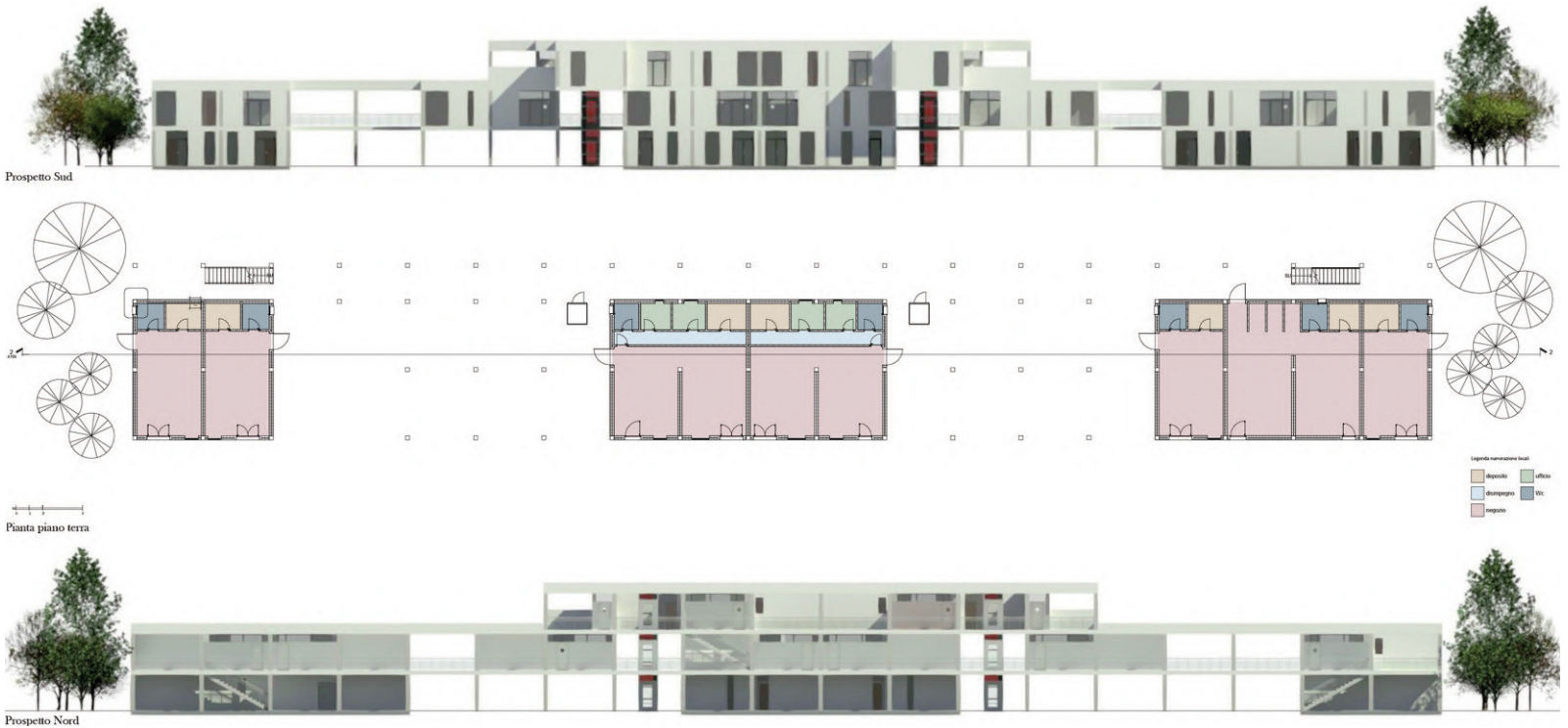


Fig. 4 - Ground floor plan and North and South elevations from BIM platform (credit: R. Russo).

di materiali e risorse disponibili localmente, ottimizzandone il potenziale e minimizzandone gli scarti. Un approccio questo che si interfaccia necessariamente con il concetto di innovazione sia di processo che di prodotto. Parafrasando il lavoro fatto dallo studio ARUP, e trasferendo pertanto il contenuto delle sei azioni all'ambiente costruito, è possibile evidenziare le interrelazioni tra un approccio di tipo circolare e il ruolo dei materiali da costruzioni nell'intero ciclo di vita dell'edificio. Tale interesse, che trova attualmente un contesto di sviluppo nell'ambito dell'economia circolare, ha un background maturato anche nel settore scientifico della Tecnologia dell'Architettura la quale ha promosso ricerche e sperimentazioni sul ciclo di vita degli edifici e sul riciclo/recupero/riutilizzo dei materiali da costruzione e demolizione a partire dagli anni Novanta<sup>2</sup>. Attualmente chi si occupa di questi argomenti di ricerca deve confrontarsi con la presenza di strumenti digitali, grazie ai quali è possibile sperimentare modelli di costruzione 'arricchiti' da una serie di dati che, messi a sistema, possono fornire un supporto decisionale rispetto a specifici focus nell'ottica della sostenibilità. La tecnologia BIM, utilizzata nel caso studio illustrato, consente l'inserimento di dati diversificati, che vanno opportunamente costruiti e selezionati, affinché siano misurabili (quantitativamente o qualitativamente) e, di conseguenza, confrontabili.

L'analisi del ReSOLVE framework – utilizzata nella ricerca in oggetto – è stata utile per individuare focus critici rispetto ai quali orientare, in una fase successiva dello studio ancora in corso, l'insieme di criteri di controllo per la valutazione dei materiali rispetto al loro impatto nell'intero ciclo di vita. Il ReSOLVE framework applicato all'ambiente costruito, infatti, fornisce indicazioni di carattere strategico per l'individuazione dei parametri e dei descrittori inerenti i materiali che, una volta messi a sistema, potranno supportare il progettista nelle diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio.

In particolare, l'analisi puntuale delle azioni strategiche che di seguito si propone, è funzionale al tema dei materiali da costruzione: essa evidenzia, infatti, soprattutto gli aspetti che favoriscono riflessioni in merito al ruolo e alla potenzialità che un approccio di tipo circolare applicato ai materiali da costruzione può portare in termini di riduzione dell'impatto ambientale.

Rispetto all'azione Rigenerare, un uso più efficiente dei materiali da costruzione, con sensibile riduzione del conferimento in discarica, ha un impatto positivo in termini di miglioramento delle performance dell'edificio se riferito al concetto stesso di circolarità. L'introduzione di criteri progettuali relativi al riutilizzo di materiali e alle modalità di demolizione/smontaggio consente di rispondere meglio al bisogno di edifici e città più resilienti in grado cioè di far fronte alle esigenze degli utenti in continua evoluzione (Marini and Santangelo, 2013; Mayor of London, 2018).

L'asse strategico Condivisione è sicuramente importante se pensiamo non solo alla condivisione di informazioni ma, soprattutto, alla realizzazione di un codice che consenta di confrontarle e renderle comprensibili, così che possano confluire in pratiche consolidate a livello progettuale. Probabilmente l'utilizzo di una metodologia come quella BIM può favorire e rendere più agevole questa condivisione uniformando, ad esempio, alcune tipologie di dati. La circolarità intesa come condivisione di beni e servizi si traduce anche nella creazione di luoghi, virtuali o meno, di stoccaggio per la rivendita e ridistribuzione di materiali e componenti, il che comporta numerosi benefici soprattutto rispetto alle conseguenze delle collaborazioni che vengono a crearsi tra i soggetti coinvolti.

Il concetto di Ottimizzazione applicato al mondo delle costruzioni si traduce nell'esigenza di mantenere in efficienza componenti e materiali durante tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio: lavorare, quindi, sulla durabilità dei materiali e sulla

compatibilità tecnologica delle componenti, in modo da massimizzare le potenzialità di riutilizzo e aumentare il controllo della qualità dei prodotti. La modularità e l'industrializzazione delle fasi costruttive, ovviamente, riducono la produzione di rifiuti e scarti. Sia il ciclo biologico sia quello tecnico prevedono delle modalità di recupero e riciclo dei materiali che garantiscano il compimento del Ciclo continuo. Naturalmente la corretta programmazione dei cicli manutentivi contribuisce alla riuscita del proseguimento della vita del materiale o del componente le cui prestazioni dovrebbero essere costantemente monitorate. Più si mantengono inalterate le proprietà dei materiali a fine vita, più si riduce la necessità di approvvigionarsi di materie prime, con benefici anche in termini di riduzione dei costi economici e ambientali.

Gli aspetti legati all'azione Virtualità sono riconducibili prevalentemente al BIM come strumento in grado di fornire informazioni relative a tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio. Tale metodologia consente sia di realizzare delle vere e proprie banche dati di materiali sia di controllare le fasi di manutenzione fondamentali per il mantenimento in efficienza dei sistemi e componenti. L'azione Scambio, può essere intesa come sostituzione di vecchie strategie con nuovi approcci basati su criteri di scelta dei materiali e prodotti innovativi che, ad esempio, indirizzino verso l'uso di materiali rinnovabili o biologici al posto di materiali che presentano una scarsa attitudine a essere recuperati.

L'applicazione del ReSOLVE framework al mondo delle costruzioni, se da un lato conferma gli esiti di ricerche e sperimentazioni condotte da decenni sul tema della sostenibilità, dall'altro, apre a nuovi scenari in cui l'edificio è concepito in rapporto a tutto il ciclo di vita e non solo rispetto al suo uso finale. Un approccio in cui grazie ai modelli BIM sarà possibile condividere in maniera dinamica dati, scelte e esiti progettuali con il comune

obiettivo di rendere il processo edilizio un ciclo continuo. Dalla lettura delle suddette azioni strategiche emerge così un'indicazione rilevante rispetto ai criteri da individuare per il controllo della dimensione ambientale. Infatti, al fine di poter tracciare, quantificare e pianificare il processo di recupero o di riciclo dei materiali impiegati in un determinato manufatto, si evidenzia l'opportunità di ragionare prima di tutto sulla definizione del livello prestazionale dei materiali dopo la loro dismissione. Successivamente, tale criterio dovrà essere integrato in termini di 'potenzialità' a essere sottoposto ai diversi processi di recupero, riutilizzo e riciclo. Ragionare sulle potenzialità significherà, inoltre, tenere nella giusta considerazione tutti quegli aspetti che concorrono alla determinazione dei tempi e dei costi associati ai singoli processi post dismissione. Il tutto non solo per orientare le scelte in fase di progetto, ma anche per facilitare i rapporti tra domanda e offerta di materiali recuperati, nelle filiere dell'edilizia e delle infrastrutture.

**Conclusioni** – L'applicazione relativa al caso studio di un edificio a uso misto (commerciale e residenziale) ha evidenziato i vantaggi in termini di sostenibilità ambientale derivanti dall'utilizzo di soluzioni costruttive basate su materiali innovativi a matrice naturale rispetto a quelle che impiegano materiali tradizionali. La modellazione degli aspetti geometrici e dimensionali degli elementi tecnologici costitutivi le chiusure e le partizioni interne, così come il confronto qualitativo in termini di sostenibilità nelle diverse fasi di vita dell'edificio, per mezzo di parametri quantitativi descrittivi del dato ambientale dei materiali utilizzati, ha evidenziato la flessibilità della piattaforma BIM come strumento di supporto alle scelte progettuali con una particolare attenzione alla gestione integrata dei vari sistemi tecnologici e componenti che costituiscono l'edificio, nell'intero ciclo di vita. Infine, l'analisi del ReSOLVE framework applicata al mondo delle costruzioni ha evidenziato e confermato la necessità da un lato di promuovere l'uso di materiali a matrice naturale – o che presentino

un'elevata propensione a essere recuperati – dall'altro, di definire il livello prestazionale dei materiali in relazione prevalentemente alla durabilità e compatibilità tecnologica dopo la loro dismissione.

#### ENGLISH

*The main focus of this paper is the study of the environmental dimension of building materials. In depth analysis of innovative materials made with natural matrices are reported. Presently these latter have a great potential for raising awareness among the industrial producers in order to promote productive cycles that connect materials efficiency with environmental compatibility. The aim of this process is to protect and safeguard the ecosystems and the biological cycles of nature. This approach allows to redefine the relation between building and construction materials through the use of innovative materials by definition of criteria for the environmental dimension. In this context, combining multiple variables, such as natural resources savings and the reduction of environmental impacts, it can be found a global reduction in the footprint of each material and the detection of its load capacity.*

*The integration between BIM technology and control criteria for the evaluation of innovative materials in the building sector is one of the most significant elements of the study, providing, moreover, a decision-making and control tool for both the processes of obsolescence in the recovery of existing projects of the ex-novo project in an eco-oriented key. BIM technology, in fact, digitally rebuilding not only the geometry of a building but proposing a virtual clone, stands as a tool of support for the project in all its phases, allowing a better control than the consolidated traditional processes. In this way, all the elements characterizing the work, from the geometry, to the materials and to the building technologies, to the costs and to the specifications concerning the realization, can be modelled and communicated to the operators interested in the whole design/realization/maintenance process (Saieg et alii, 2018). The proposed*

*study, putting to system these important potentialities of the BIM platform, aims to provide preliminary support in the choices regarding the building components and the materials that constitute them, through evaluations performance also in terms of the sustainability of the choices themselves. Specifically, for example, there are some simulations that highlight the significant environmental advantages deriving from technological solutions with innovative materials with natural matrix compared to predominantly traditional choices.*

Materials with natural matrix and compatibility – Nowadays, among the major human concerns are certainly the environmental issues. The latter, strictly related to the energetic matter, affects in a sharp way the study, the application and the assessment of new technologies, both in terms of innovation and of merely evolution. This condition is applied to all the fields and especially in the building branch that is characterized by high consumption of natural resources, an extreme impact on the environment and on its subsystems. Problems of deterioration and pollution, in fact, are reflected on all the natural subsystems: water, air and soil. Presently technicians and Institutions are involved in finding solutions in order to treat particularly serious cases and to prevent any future problems. Hence, it is important that convenience analysis, usually oriented only to the necessity of saving resources, are coupled with environmental compatibility analysis.

In this context, here are presented points of reflection regarding solutions that use environmental resources with the main goal to take nature principles as a model of sustainable management. Using the nature capacity through its resources is certainly more convenient not only from an environmental point of view, but also economically, since in some cases it prevents the use of expensive system solutions (Kabisch, 2017). In this regard, the present work focuses its attention on the role of innovative materials as key elements of sustainable technological progress for building sector. Until



Fig. 5 - First floor plan: comparison between state of art and project from BIM platform (credit: R. Russo).

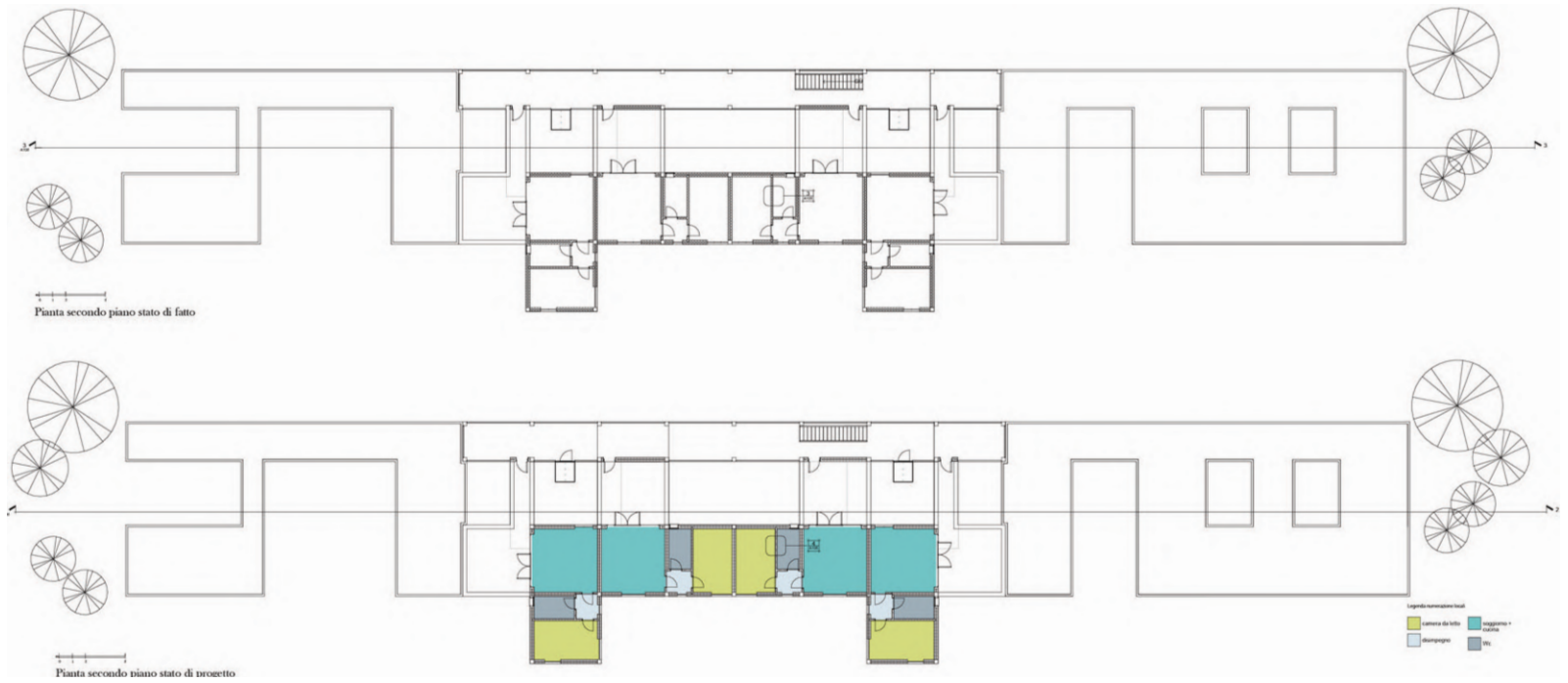


Fig. 6 - Second floor plan: comparison between state of art and project from BIM platform (credit: R. Russo).

some time ago the development of construction materials has been focused mainly on their improvement of performance both in terms of efficiency and resistance over time with an overall control of cost containment. Only in more recent times, attention on environmental issues has been added for the production, the utilization and the final disposal of a given material, taking into account also its possible recycle or reuse (Altamura, 2015; Das and Neithalath, 2019).

In order to contribute to create a more sustainable urban environment it is important to focus the attention on the used materials. In this regard particular potential seems to have the innovative ones that use the renewable resources of the Earth. For definition they present an optimisation of properties with respect to the traditional ones in order to gain an innovative performance in terms of physical and chemical characteristics. Great attention should be given to those materials that allow the improvement of functional performance and that at the same time are attentive to the environmental effects extended to their whole life cycle.

The utilization of innovative material has a great influence on the artificial environment nowadays (Beylerian et alii, 2007) and that overturns the relationship between building and construction materials. While the traditional materials have always done a static function, the innovative ones are characterized in order to acquire a dynamic function, which allows them to adapt to environmental changes. This aspect enables to extend the borders of the discussion on the building and its environmental context through the adequate use of materials. For these applications the most indicated solutions are the smart materials that in the context of innovative materials stand out for their capacity of shifting as an answer to external stimuli and are characterized by the possibility of take advantage of environmental resources using natural principles for their functioning (Casini, 2016; Kretzer, 2017).

Remaining in this context, interesting prospec-

tives are represented by innovative materials with natural matrix that are based on an approach that assimilates the materials with natural elements able to regenerate. Hence, the potential of renewable natural resources of our Planet can be used even for the creation of construction materials as suggested in a suggestive way by the installation *The Circular Garden*, realized by ENI with the collaboration of the design studio Carlo Ratti Associati for the Design Week 2019 in the Botanical Garden of Brera in Milan (Fig. 1, 2). The installation consisted in an exhibition of several structures realized in mycelium as construction material that after the disposal can re-enter in the natural biological cycle. The mycelium, in fact, represents the fibrous root of a fungus and is an organic material that is obviously biodegradable after the disposal and can be used as a fertilizer. The installation, that has promoted the theme of circular economy, and in particular the concept of use and recycle has considerably sensitized the users, technicians and in general the production world towards the opportunity provided by natural materials.

Starting from these premises the proposed work aims to highlight the significant environmental benefits arising from technological solutions with natural matrix innovative materials compared to traditional choices predominantly. This study is pursued with a compatibility analysis of the material in exam that takes into account both natural resources savings and the mitigation of environmental impact (Douglas et alii, 2019). In this regard, this analysis allows to define for each material the limitation of its footprint and the detection of its load capacity defined as the ability to absorb and control phenomena regarding environmental transformations with a sustainable impact for the ecosystems. In particular, the analysed technological solutions represent a vertical and horizontal closure systems and an internal partition for a building example. As shown in the following paragraph, the comparison has been made thanks to the utilization of the BIM platform that has allowed

performance evaluations also in terms of sustainability of used materials (Fig. 3).

Parametric representation of the environmental datum – Parametric modelling through BIM platform offers among the many advantages, such as the temporal dimension connected to the life cycle of the building, that of associating to each element represented not only the geometric data but also other dimensions, customizable by the user. This advantage allows evaluations in order to data associated with each building component that, through the parametric representation, is digitized within the numerical model of the building. The greatest advantage lies in the possibility to evaluate choices both in relation to new buildings and existing, replicating in digital form the whole process of design, building and more generally of life of the building (Tang et alii, 2019). Specifically, the BIM platform offers in the present work a support in the evaluation of technological choices with a view to sustainability related to the case study of a building for mixed, commercial and residential use (Fig. 4-6). In particular, the analysis assesses the performance of the building in comparing constructive solutions based on traditional technologies and materials, compared with innovative environmental matrix solutions. The parametric modelling of the constituent technological elements the horizontal and vertical closures and the internal partitions have been modelled, not only in their geometric and dimensional aspects, but also in function of different parameters that analyse the sustainability of the different stages of the building's life. The flexibility offered by BIM allows the user to define the explanatory parameters of the environmental data from the processing phase of the material and the technological component, until its demolition, disposal and recycling/reuse.

With particular reference to the case study, these evaluations were made through the comparison between two phases of the building's life: a first during which technological and material so-

lutions were of a traditional type, and a second one – in a phase temporally successive – in which the substitution of these elements has been hypothesized with others employing innovative natural-matrix materials. The main objective of the study was the comparison between different technological choices with specific reference to the environmental datum; therefore, the traditional brick of the partition has been replaced with a bio-brick, as well as the traditional plaster with other hydraulic lime based, while the cover has been transformed into a non-workable, expansive green roof (Fig. 7). These technological choices have been assessed, for the purposes of this research, with exclusive reference to the data on the sustainability of the materials used, by parameterizing the values for each component of the organic respiratory allergens and minerals in the processing, the influence in climate change, the presence of carcinogenic substances and radiation in the industrial process of production, as well as the use of fossil fuels, acidification and eutrophication, and eco-toxicity (Fig. 8).

These parameters declined for each component allow to describe and represent numerically the data relating to the sustainability of a component in each phase of the building's life, representing them also through graphs and abachi, descriptive not only of geometric data, cost or energy performance (not covered by this study) but also of environmental and sustainable value. The technolog-

ical elements were, therefore, fully redesigned and reshaped in order to update the family libraries and the parametric data associated with them. The latter were enriched with additional parameters useful for a comparison assessment between the two temporal phases in order to support the relative technological choices. The large amount of information and the complexity of the data to be elaborated, in fact, makes the BIM platform ideal for the evaluation of the environmental sustainability of the constructions (Djuedja et alii, 2019).

The evolution of this design methodology has led to the affirmation of a new approach of representation of architecture by means of Building Information Modeling platforms, a process of realization of a digital model of a work Architecture that contains a large database of information related to each architectural element, structural or plant related, in support of the management of the work in all phases of its life cycle (Building Life-Cycle Management): design, construction, maintenance and disposal (Jalaei et alii, 2019; Dixit et alii 2019). Then changes the design method setting, entrusted in the past to the only flat restitution of the design, modifying the way of perceiving the intervention space and simplifying the communication and the comprehension of the project for the purposes of the process construction (Chu et alii, 2018; Fig. 9). The outcome of this process is an overall digital model of the physical and functional characteristics of the building expressed by the ge-

ometric model and the information associated to its parts with information relating to construction materials, components and to the structural techniques, to the time and to the costs of realization, to the previous interventions, to the state of preservation. The advantage that derives from the application and use of these platforms allows the sharing of information between the professional figures involved in the design and realization of new construction or maintenance interventions on existing built Heritage (Saieg et alii, 2018).

The parametric model BIM follows, parallel to the actual building, all the phases of the life cycle, up to a level of knowledge and deepening (LOD) that considers the flow of materials and time of execution of the works and the relative economic evaluation. This information management capability is integrated with the possibility to visualize all systems and components, assembled or sequentially, in different scales from the whole project or the individual elements, and of the Clash-detection, that penalise time and cost and management. The use of BIM technology, therefore, allows, through queries from the databases, the extension of the cognitive surveys aimed at the management and enhancement of the building object: all the information and data acquired from the analysis multi-dimensional architectural good can be arranged in a Building Information Model (Matthews et alii, 2018). The Building Information Modeling approach can offer the possibility to manage in full

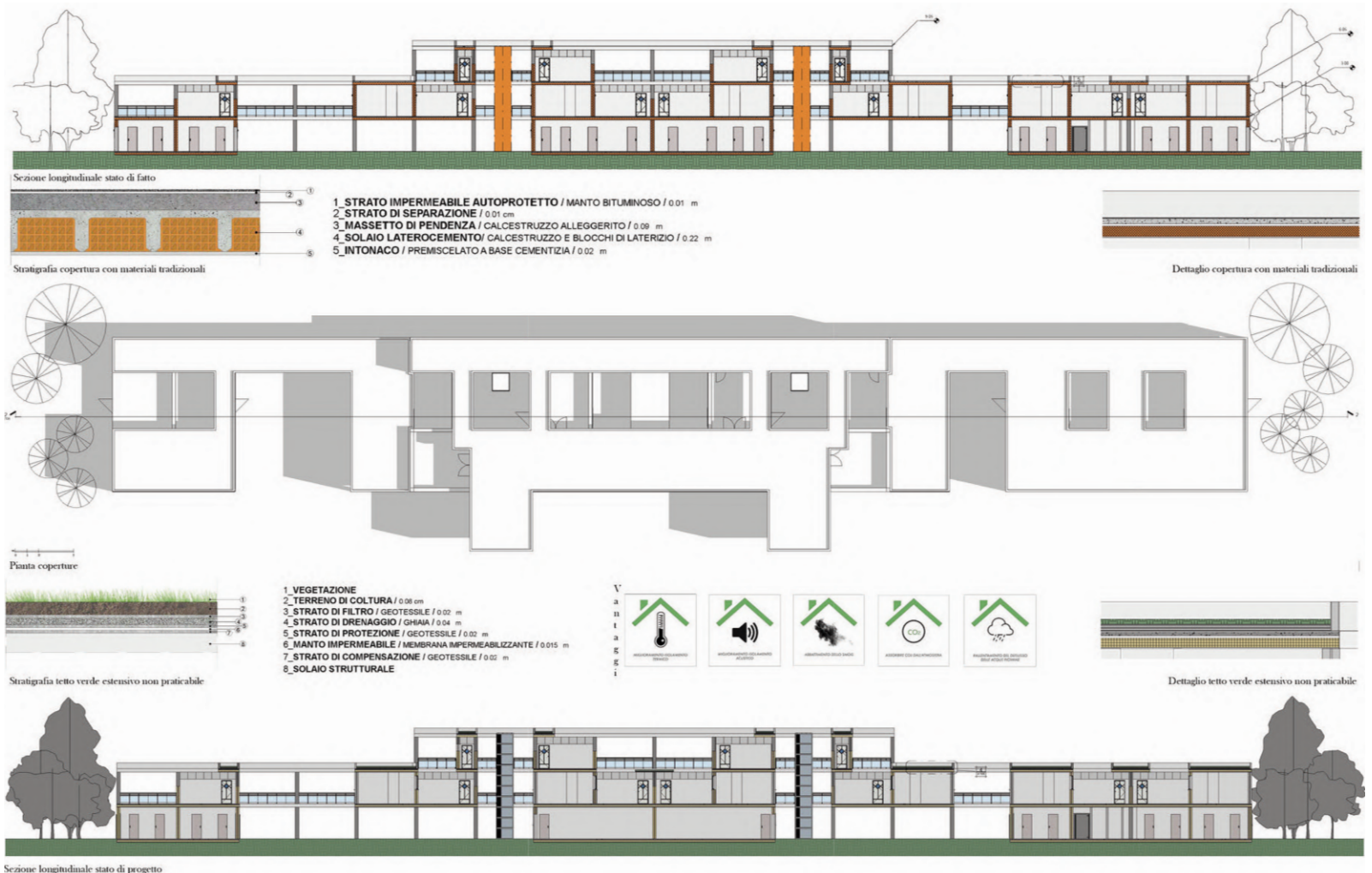


Fig. 7 - Roof plan and vertical sections: comparison between traditional and innovative materials from BIM platform (credit: R. Russo).



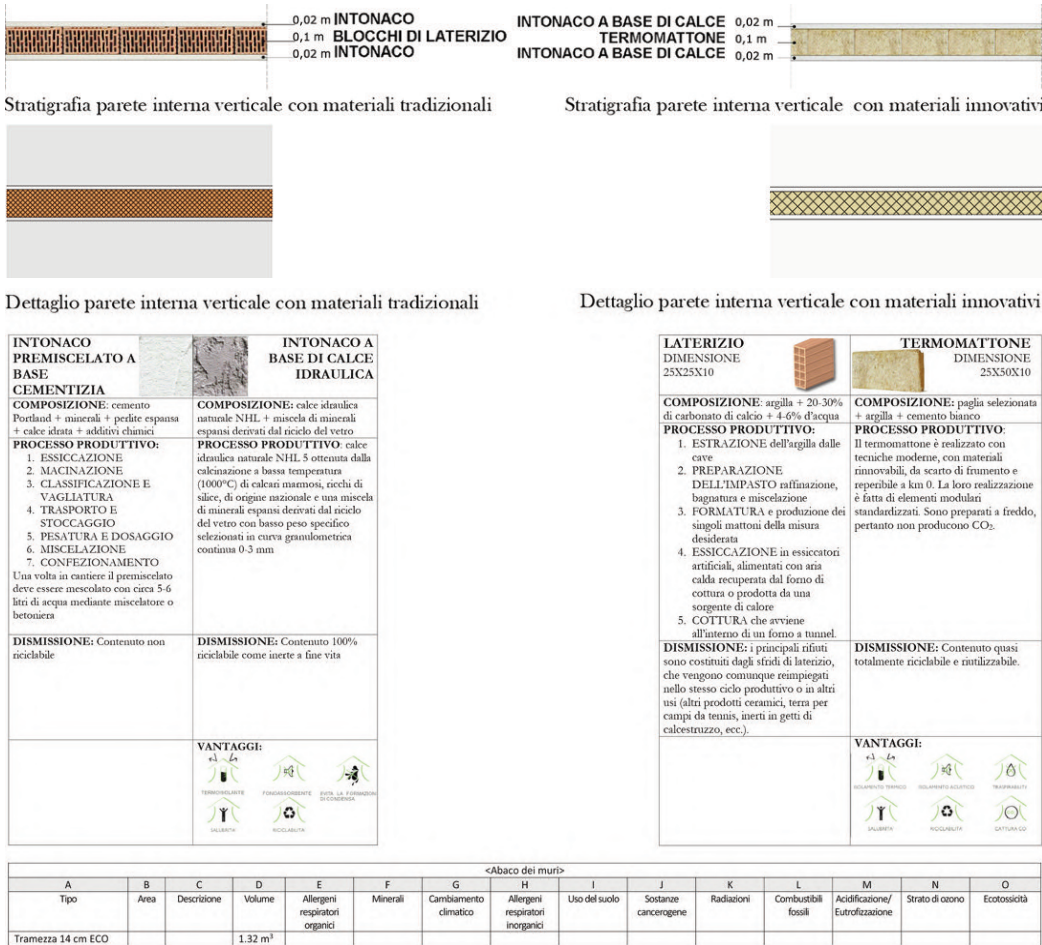


Fig. 8 - Comparison between traditional and innovative materials for interior partition from BIM platform (credit: R. Russo).

the complexity of the information and the values related to the technological systems and the components that make up the architecture, as well as to its different moments of the life cycle of the same.

The BIM is therefore integrated with the analysis of Life Cycle Assessment (LCA) aimed at estimating the environmental impact in buildings, throughout their life cycle, from the production phase of the materials, to their transport in work, to the installation and maintenance, until the dismissal (Chong et alii, 2017). This approach aims at exposing the ways in which BIM manages large amounts of data, thus contributing to the design of information about the sustainability of the choices made in addition to other data and evaluations, supporting the several choices that a technician or user is obliged to carry out in the perspective of circularity not only during the life of the building but also in the subsequent stages of demolition and recovery of components and materials.

Circular construction and building materials – The thrust towards economic models of a circular type, i.e. oriented to the promotion and adoption of strategies that minimize the collection of non-renewable resources, finds in the construction sector an interesting field of investigation and experimentation (Sennett, 2008; Osservatorio Recycle, 2017; Starace and Realacci, 2018). The idea that the circular economy – a concept that has its roots in the Seventies – can be a real tool of development for the construction<sup>1</sup> sector stems from the fact that it is a sector with a strong ecological-environmental impact due both to the consumption of non-renew-

able resources and to the production of waste (Fig. 10). In a perspective of circularity, that is, the enhancement of resources that involves overcoming the idea itself of rejection, the construction industry will have to work on reducing waste, which translates into a particular attention, first of all, to the constructive and disposal modalities as well as to the materials used. The Ellen MacArthur Foundation, as part of its activities aimed at promoting a transition to the circular economy, has developed a butterfly chart that graphizes the idea that materials can be articulated according to two different cycles: the biological one and the technical one. « Within the biological cycle, renewable and plant-based resources are used, regenerated and safely returned to the biosphere – as in composting or anaerobic digestion. Within the technical cycle, man-made products are designed so that at the end of their service life – when they can no longer be repaired and reused for their original purpose their components are extracted and reused, or re-manufactured into new products. This avoids sending waste to landfill and creates a closed-loop cycle» (ARUP, 2016, p. 16).

One of the most significant outcomes of the research carried out by the Foundation is the ReSOLVE framework based on six strategic actions: Regenerate, Share, Optimize, Loop, Virtualise, Exchange (MacArthur et alii, 2015). These actions, restricting the field to building materials, have relapses on the production chains that adopt them and, therefore, must be predominantly geared towards promoting the use of locally available materials and resources, optimising its potential and

minimizing its waste. An approach that necessarily interfaces with the concept of both process and product innovation. By paraphrasing the work done by the ARUP studio, and thus transferring the content of the six actions to the built environment, it is possible to highlight the interrelations between a circular approach and the role of construction materials throughout the whole life cycle of the building. This interest, which currently finds a development context within the framework of the circular economy, has a background also matured in the scientific field of Architecture Technology which has promoted research and experimentations on the life cycle of Buildings and on the recycling/recovery/reuse of construction materials and demolition from the Nineties<sup>2</sup>. Currently, those who deal with these research topics must confront the presence of digital tools, thanks to which it is possible to experiment with 'enriched' construction models from a series of data that, put to system, can provide a support with specific focus in the perspective of sustainability. The BIM technology, used in the illustrated study case, permits the insertion of diversified data, which must be suitably constructed and selected, so that they can be measured (quantitatively or qualitatively) and, consequently, comparable.

The ReSOLVE Framework analysis – used in the research in question – has been useful for identifying critical focus in relation to which orientate, at a later stage of the study still in progress, the set of control criteria for the evaluation of materials than their impact within the life cycle. The ReSOLVE framework applied to the built environment, in fact, provides strategic indications for the identification of parameters and descriptors concerning the materials that, once set to system, will be able to support the designer in the different phases of the building's life cycle. In particular, the punctual analysis of the strategic actions that is proposed below, is functional to the theme of construction materials: it highlights, in fact, above all the aspects that foster reflections on the role and the potential that a circular approach applied to building materials can lead in terms of reducing environmental impact.

Compared to the Regenerate action, a more efficient use of building materials, with a significant reduction in landfills, has a positive impact in terms of improving the building's performance when referring to the concept itself of circularity. The introduction of design criteria relating to the reuse of materials and the dismantling mode allows to better respond to the need for more resilient buildings and cities able to cope with the constantly evolving requests of users (Marini and Santangelo, 2013; Mayor of London, 2018).

The strategic axis Share is certainly important if we think not only to the sharing of information but, above all, to the creation of a code that allows us to compare and make them understandable, so that they can converge in consolidated practices at the design level. Probably the use of a methodology like that BIM can facilitate and make this sharing easier by standardising, for example, some types of data. The circularity understood as sharing of goods and services also translates into the creation of places, whether virtual or not, of storage for the resale and redistribution of materials and components, which involves many benefits especially compared to the consequences of the col-

laborations that come to be created among the subjects involved.

The concept of Optimization applied to the world of constructions translates into the need to maintain components and materials in efficiency during all phases of the building's life cycle: to work, therefore, on the durability of the materials and on the technological compatibility of components in order to maximize the reuse potential and increase the control of the products quality. The modularity and industrialization of the construction phases, of course, reduce the production of wastes. Both the biological and the technical cycle provide for the methods of recovery and recycling of the materials that guarantee the completion of the continuous Cycle. Of course, the correct programming of maintenance cycles contributes to the continuation of the life of the material or component whose performance should be constantly monitored. The more you maintain unchanged the properties of the materials at the end of life, the more you reduce the need to obtain raw materials, with benefits also in terms of reducing economic and environmental costs.

The aspects related to Virtualise are mainly attributable to BIM as a tool able to provide information about all phases of the life cycle of the building. This methodology allows both to realize real databases of materials and to control the essential maintenance phases for the keeping in efficiency of the systems and components. The Exchange action can be understood as the substitution of old strategies with new approaches based on criteria of choice of materials and innovative products that, for example, direct towards the use of renewable or biological materials instead of materials that have a lower attitude to be recovered.

The application of the ReSOLVE framework to the world of constructions, while confirming the results of research and experimentation carried out for decades on the subject of sustainability, on the other, opens up to new scenarios in which the building is conceived in relation to the whole cycle of life and not only with respect to its final use. An approach in which thanks to the BIM models it will be possible to share in a dynamic way data, choices and project outcomes with the common objective of making the building process a continuous cycle. From the reading of these strategic actions there emerges a relevant indication in relation to the criteria to be identified for the control of the environmental dimension. In fact, in order to be able to trace, quantify and plan the process of recovery or recycling of materials used in a particular artefact, we highlight the opportunity to reason first of all on the definition of the performance level of materials after their dismissal. Subsequently, this criterion must be integrated in terms of 'potentialities'

ties' to be subjected to the different processes of recovery, reuse and recycling. Thinking about potential will mean, moreover, keeping in the right consideration all those aspects that contribute to the determination of the times and costs associated with post-disposal distinct processes. This is not only to guide the choices in the project phase, but also to facilitate the relationship between supply and demand of recovered materials, in the building and infrastructure sectors.

Conclusions – The application to the case study of a mixed-use building (commercial and residential) highlighted the advantages in terms of environmental sustainability deriving from the use of constructive solutions based on natural matrix innovative materials than those employing traditional materials. The modelling of the geometric and dimensional aspects of the technological elements constituting the internal closures and partitions, as well as the qualitative comparison in terms of sustainability in the different phases of the building's life, by means of parameters Descriptive quantities of the environmental data of the materials used, highlighted the flexibility of the BIM platform as a tool to support the design choices with a particular attention to the integrated management of the various technological systems and components that make up the building throughout the lifecycle. Finally, the analysis of the ReSOLVE framework applied to the construction world has highlighted and confirmed the necessity on the one hand to promote the use of natural matrix materials – or that they have a high propensity to be recovered – on the other, to define the performance level of materials in relation mainly to durability and technological compatibility after their disposal.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The paper is the result of a common reflection by the Authors. Nevertheless, the paragraph 'Materials with natural matrix and compatibility' is by R. Franchino, the paragraph 'Parametric representation of the environmental datum' is by N. Pisacane and the paragraph 'Circular construction and building materials' is by C. Frettoloso.

The images n. 3-9 are related to the thesis research by R. Russo titled BIM Platform Application to Define Building Innovative Materials.

The publication of this paper is realized thanks to the contribution of the 'Progetto VALERE – Fondi 2019'.

#### NOTES

- 1) For a deepening, cfr.: *Edilizia circolare: parte il primo 'speciale' di green.it*. [Online] available at: <https://www.green.it/edilizia-circolare/> [Accessed 26 March 2019].
- 2) For a deepening, cfr.: Gangemi, V. (ed.) (1991), *Architettura e tecnologia appropriata*, FrancoAngeli, Milano;

lano; Gangemi, V. (ed.) (2004), *Riciclare in Architettura: scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean Edizioni, Napoli.

#### REFERENCES

- Altamura, P. (2015), *Costruire a zero rifiuti. Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia*, FrancoAngeli, Milano.
- ARUP (2016), *The Circular Economy in the Built Environment*. [Online] available at: <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment> [Accessed 26 March 2019].
- Beylerian, G. M., Dent, A. H. and Quinn, B. (2007), *Ultra Materials: How Materials Innovation is Changing the World*, Thames and Hudson, New York.
- Casini, M. (2016), *Smart Buildings. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance*, Woodhead Publishing.
- Chong, H. Y., Lee, C. Y. and Wang, X. (2017), "A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability", in *Journal of Cleaner Production*, n. 142, pp. 4114-4126.
- Chu, M., Matthews, J. and Love, P. E. (2018), "Integrating mobile building information modelling and augmented reality systems: an experimental study", in *Automation in Construction*, n. 85, pp. 305-316.
- Das, B. B. and Neithalath, N. (eds) (2019), *Sustainable Construction and Building Materials*, Springer.
- Dixit, M. K., Venkatraj, V., Ostadalimakhmalbaf, M., Pariafsai, F. and Lavy, S. (2019), "Integration of facility management and building information modeling (BIM) A review of key issues and challenges", in *Facilities*, vol. 37, issue 7-8, pp. 455-483.
- Djuedja, J. F. T., Karray, M. H., Fogue, B. K., Magniont, C. and Abanda, F. H. (2019), "Interoperability Challenges in Building Information Modelling (BIM)", in Popplewell, K., Thoben, K. D., Knothe, T. and Poler, R. (eds), *Enterprise Interoperability VIII. Proceedings of the I-ESA Conferences*, vol. 9, Springer, Cham, pp. 275-282.
- Jalaei, F., Zoghi, M. and Khoshand, A. (2019), "Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)", in *International Journal of Construction Management*. [Online] available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2019.1583850> [Accessed 30 March 2019].
- Kabisch, N., Bonn, A., Korn, H. and Stadler, J. (eds) (2017), *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages Between Science, Policy and Practice*, Springer.
- Kretzer, M. (2017), *Information Materials. Smart Materials for Adaptive Architecture*, Springer.
- MacArthur, D. E., Zumwinkel, K. and Stuchtey, M. R. (2015), *Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] available at: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_Growth-Within\\_July15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf) [Accessed 26 March 2019].
- Marini, S. and Santangelo, V. (eds) (2013), *Nuovi cicli di vita per architetture e infrastrutture della città e del paesaggio*, Aracne, Roma.
- Matthews, J., Love, P. E., Mewburn, J., Stobaus, C. and Ramanayaka, C. (2018), "Building information mod-



Fig. 9 - Render from BIM platform (credit: R. Russo).

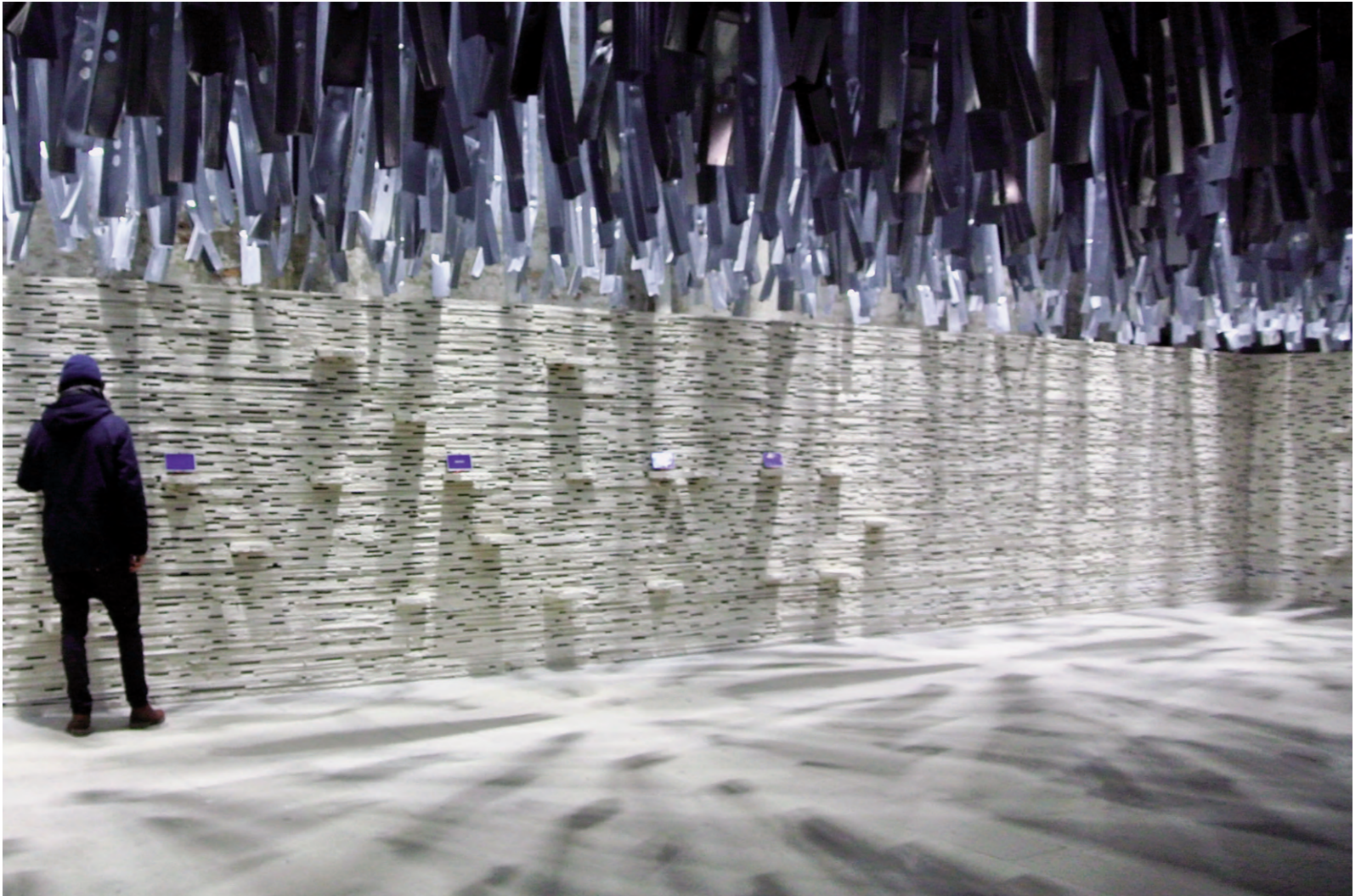


Fig. 10 - Italy Pavilion (Focus: Recycling, Reuse, Urban Regeneration), XV International Biennale Architecture: the 'heavy curtain' of metal is made with waste materials from the previous Biennale exhibition (credit: C. Frettoloso).

elling in construction: insights from collaboration and change management perspectives”, in *Production Planning & Control*, vol. 29, issue 3, pp. 202-216.

Mayor of London (2018), *London Environment Strategy*, Greater London Authority, London.

Mulhall, D., Braungart, M. and Hansen, K. (2019), *Creating buildings with positive impacts*, Technische Universität München, München.

Osservatorio Recycle (2017), *L'economia circolare nel settore delle costruzioni*. [Online] available at: [https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/rapporto\\_recycle\\_2017.pdf](https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/rapporto_recycle_2017.pdf) [Accessed 28 March 2019].

Saieg, P., Sotelino, E. D., Nascimento, D. and Caiado, R. G. G. (2018), “Interactions of building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review”, in *Journal of cleaner production*, n. 174, pp. 788-806.

Sennett, R. (2008), *L'uomo artigiano*, Feltrinelli, Milano.

Starace, F. and Realacci, E. (2018), *100 Italian circular economy stories*. [Online] available at: <http://www.symbola.net/html/article/100italiancirculareconomy> [Accessed 28 March 2019].

Tang, S., Sheldon, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P. and Gao, X. (2019), “A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends”, in *Automation in Construction*, n. 101, pp. 127-139.

<sup>a</sup> ROSSELLA FRANCHINO, engineer and PhD, Associate Professor at the Department of Architecture and Industrial Design, University of Campania 'Luigi Vanvitelli' (Italy). She carries out research on the themes of quality and environmental characters control, with the detection of degradation phenomena caused by anthropogenic activity and with the identification means and intervention strategies for the recovery, improvement and protection. Mob. +39 334/99.16.734. E-mail: [rossella.franchino@unicampania.it](mailto:rossella.franchino@unicampania.it)

<sup>b</sup> CATERINA FRETTOLOSO, Architect and PhD, is Assistant professor at the Department of Architecture and Industrial Design, Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli' (Italy). She carries out research on the themes of the qualification of the settlements and environmental systems with particular attention to the regeneration of the open urban spaces and the sensitive contexts (archaeological areas and landscapes). Mob. +39 339/22.82.786. E-mail: [caterina.frettoloso@unicampania.it](mailto:caterina.frettoloso@unicampania.it)

<sup>c</sup> NICOLA PISACANE, Architect and PhD, Associate Professor at Department of Architecture and Industrial Design, Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli' (Italy). Author of scientific papers and proceedings of international and national congresses about landscape, territorial and architectural representation. Mob. +39 339/86.58.673. E-mail: [nicola.pisacane@unicampania.it](mailto:nicola.pisacane@unicampania.it)

Essays & Viewpoint

architecture

## BIM E PRATICHE COLLABORATIVE ABILITÀ E COMPETENZE PER L'AMBIENTE DIGITALE

### BIM AND COLLABORATIVE PRACTICES EXPERTISE AND SKILLS FOR THE DIGITAL ENVIRONMENT

Maria Antonietta Esposito<sup>a</sup>, Alessandra Donato<sup>b</sup>, Filippo Bosi<sup>c</sup>

#### ABSTRACT

La gestione digitale del processo delle costruzioni è richiesta per la sostenibilità, impone la definizione di nuovi ruoli e responsabilità e, di conseguenza, rende necessaria l'introduzione di nuove figure professionali che siano in grado di assolvere compiti e funzioni, organizzative e gestionali, specifiche nell'ambito della gestione del processo BIM. Il presente contributo intende offrire uno spunto di riflessione sulle competenze trasversali e abilità digitali (soft skills) richieste a queste figure professionali sulla base di un'analisi critica degli esempi riportati in letteratura, delle esperienze e dei cambiamenti innescati dall'adozione della metodologia BIM rispetto alle nuove attività, conoscenze, competenze, ruoli e responsabilità riferite alla figura del professionista.

The digital management of the construction process is required for sustainability. It imposes the definition of new roles and responsibilities and – consequently – makes it necessary to introduce new professional figures that are able to perform specific organizational and management tasks and functions in the scope of BIM process management. The contribution offers food for thought on the transversal and digital skills (soft skills) required by these professional figures on the basis of a critical analysis of examples reported in the literature, experiences and changes triggered by the adoption of the BIM methodology with respect to new activities, knowledge, skills, roles and responsibilities related to the professional figure.

#### KEYWORDS

building information modeling, sostenibilità, lean BIM, competenze trasversali, pratica collaborativa

building information modelling, sustainability, lean BIM, soft skills, collaborative practices

Il recente dibattito sull'importanza della pratica collaborativa e sullo sviluppo delle metodologie BIM, se da un lato ha prodotto rapide trasformazioni nel mercato delle costruzioni, determinando un forte impulso all'innovazione nel settore AECO e aumentando la competitività del settore produttivo, dall'altro richiede figure professionali sempre più specializzate con competenze e capacità trasversali in diversi ambiti disciplinari (architettonico, energetico, strutturale, ecc.). Lo scenario definito in Europa per le costruzioni, leader globale per la sostenibilità, è definito da una serie di direttive<sup>1</sup> che hanno creato un quadro di riferimento politico e normativo per tutti i settori industriali nei paesi membri che a loro volta hanno via via recepito. A tale scopo è necessario introdurre metodi e strumenti di progettazione integrata di tipo multidisciplinare: ciò richiede una maggiore attenzione alle competenze da impiegare nel processo di progettazione e produzione, coinvolgendo i diversi operatori, pubblici e privati, committenti, progettisti, costruttori, produttori e fornitori di materiali lungo l'intera filiera.

L'integrazione delle metodologie BIM con gli aspetti legati alla progettazione ambientale ed energetica esprime un potenziale elevato. Solo recentemente l'industria delle costruzioni ha iniziato a comprendere quali siano le opportunità offerte dall'uso della tecnologia BIM in numerosi ambiti di applicazione. Ad esempio è possibile effettuare analisi energetiche integrate sul modello parametrico dell'edificio, integrare risultati Life Cycle Assessment<sup>2</sup> (LCA) dei sistemi e componenti e Life Cycle Costing<sup>3</sup> (LCC) per la valutazione delle alternative in fase di pianificazione dell'intervento, oppure di certificazione secondo vari protocolli LEED, BREAM, ITACA, ecc. (Eleftheriadis et alii, 2017). Infatti, in passato i processi decisionali e le strategie di risparmio energetico legati alla progettazione di un'opera erano focalizzati maggiormente sulla fase di esecuzione e sulla fase d'uso dell'edificio, trascurando gli impatti determinati nel ciclo di manutenzione, ristrutturazione e dismissione dell'opera.

Recentemente, con l'introduzione di standard progressivamente più elevati in Europa per la realizzazione di edifici a energia quasi zero (c.d. nZEB) e la definizione dei Criteri Ambientali Minimi per il settore dell'edilizia (DM 11 gennaio 2017) in Italia, l'attenzione si è estesa all'intero ciclo di vita dell'opera. Nell'ottica di una comples-

siva riduzione degli impatti ambientali di un'opera, è fondamentale prendere in considerazione l'impatto dei gas serra (GHG) e il contenuto di energia incorporata per l'estrazione e la lavorazione di materiali da costruzione e per i processi produttivi di componenti, sistemi tecnologici e impiantistici utilizzati (Diaz et alii, 2014). In questo contesto, il Building Information Modeling (BIM) rappresenta un possibile canale con valenza evolutiva sul piano culturale, di diffusione e condivisione degli strumenti di valutazione della sostenibilità non solo ambientale, ma anche economica e sociale, tra le amministrazioni e gli operatori coinvolti con vari ruoli riferiti al processo edilizio. Data la complessità e il numero elevato di contenuti informativi di diversa natura che afferiscono al processo progettuale, il BIM supera l'approccio descrittivo-oggettivo basato sul disegno CAD – che utilizza tre dimensioni per descrivere la geometria del progetto – adottando nuove modalità descrittive nello spazio digitale multidimensionale riferibili a 'n' dimensioni e a set di dati multimediali e alfanumerici che possono includere aspetti come il tempo, gli aspetti finanziari, ecc. (Fig. 1).

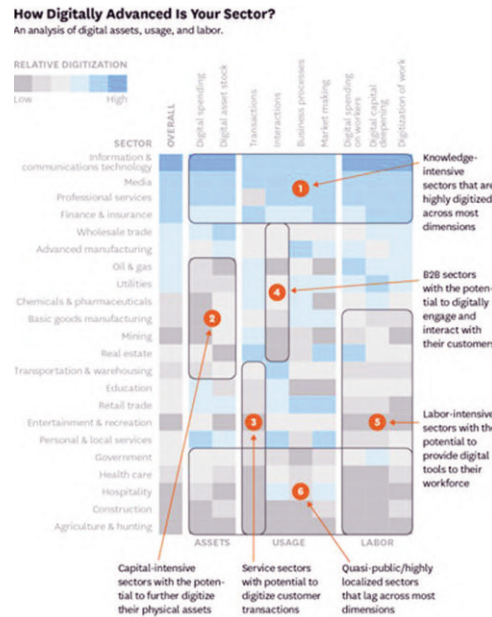
La settima dimensione del BIM (BIM 7D) in particolare riguarda l'Asset Management, ossia la gestione dei cespiti esistenti, e la sostenibilità (ambientale, economica e sociale), ed è appunto utilizzata per ottimizzare la gestione operativa e la manutenzione dell'edificio durante il ciclo di servizio, eventualmente rinnovato, e delle sue componenti lungo tutto il ciclo di vita, integrando gli aspetti ambientali ed energetici. Il BIM è una piattaforma che contiene tutte le informazioni rilevanti e derivate da vari modelli specialistici ai fini costruttivi, gestionali e manutentivi, siano esse di tipo geometrico o descrittivo – relativamente a tutti gli ambiti che interessano l'opera – componenti, strutture, impianti, materiali ecc. Il BIM esprime un enorme potenziale in termini di tracciabilità ed efficientamento di tutte le operazioni e degli aspetti legati alla progettazione, costruzione, gestione e manutenzione dell'edificio, essendo in grado di agevolare l'individuazione di eventuali criticità e di supportare in maniera più efficace analisi e processi decisionali, rendendo più efficienti ed economici i processi tipici della gestione del progetto e dell'Asset Management.

Considerando il processo di interazione tra edificio e ambiente nei cicli di servizio che si susseguono fino al completamento del ciclo di vita



Fig. 1 - Seven BIM dimensions (credit: accasoftware).

Fig. 2 - Digital advancement by sector (credit: HBR.org).



del cespite o dell'asset, e soprattutto considerando la multidimensionalità del problema, è possibile osservare come la fase di gestione e manutenzione sia quella con maggiore incidenza sui costi complessivi dell'opera. È chiaro dunque come l'individuazione delle scelte di gestione dei cespiti, in un'ottica di ottimizzazione delle risorse disponibili, necessiti di un'analisi accurata dei costi del ciclo di vita eseguita sulla base di dati realistici e attendibili, così come di metodi per dare sistematicità e ordine a tali informazioni. Il BIM 7D rappresenta uno strumento efficace a tale scopo, offrendo la possibilità di simulare ex ante scenari diversi finalizzati a scelte coerenti con gli obiettivi di sostenibilità ambientale, economica e sociale, di migliorare la qualità del risultato finale e di contrarre i costi complessivi.

**Digitalizzazione nelle Costruzioni** – In Italia l'industria delle costruzioni sta attraversando una fase di profonda crisi che dovrà portare a una trasformazione in gran parte spinta dalla diffusione delle tecnologie digitali, e in particolare del BIM, da tempo applicate per l'innovazione dei processi di produzione di altri comparti industriali per i quali il legame fra propensione all'innovazione e grado di digitalizzazione è più rilevante (elettronica, automobilistico, R&S, Tlc). Con riferimento al panorama internazionale, l'Harvard Business Review (HBR) evidenzia il grave ritardo del settore costruzioni nel recupero di produttività e capacità di innovazione rispetto agli altri settori, con un gap che la crisi economica dell'ultimo decennio ha accentuato (Gandhi et alii, 2016). Infatti le costruzioni sono al penultimo posto del ranking precedendo solo l'agricoltura nel processo di digitalizzazione (Fig. 2); anche la Pubblica Amministrazione, alla quale il settore è strettamente collegato, figura nelle ultime posizioni dell'indagine HBR.

Il report di ricerca di McKinsey & Company (Manyika et alii, 2015) sulla digitalizzazione negli USA mostra che l'automazione ha provocato un'accelerazione pari a due volte il tasso di espulsione dal mercato del lavoro dei lavoratori a media qualificazione digitale (Fig. 3). La timeline dell'evoluzione digitale illustra come il focus sul singolo sistema è superato dai fatti: già oggi la di-

gitalizzazione è orientata allo sfruttamento del giacimento dei big data – nuovo petrolio dell'economia – e all'interazione tra gli apparati fisici (Fig. 4). In sostanza ondate successive di innovazioni digitali hanno strutturato una economia digitale. L'economia basata sul digitale genera in USA il 17% dei guadagni, ma sfrutta solo il 18% del suo potenziale: secondo la ricerca (Manyika et alii, 2015) l'economia digitale sarà semplicemente la futura economia. Le industrie digitalizzano vari aspetti: la massimizzazione del digitale coincide con l'aumento della creazione del valore (Fig. 5). Infatti la crescita dei salari dal 1997 al 2014 vede le costruzioni al quart'ultimo posto, e i salari più alti sono offerti nelle industrie a più alta penetrazione del digitale. Segno che queste industrie creano più valore pro-capite.

Riguardo al tema delle competenze digitali la ricerca americana (Manyika et alii, 2015, pp. 70, 71) pone di fronte a una prospettiva rinnovata secondo cui le industrie del futuro dovranno riconsiderare strategicamente il potenziale rappresentato dalle risorse umane. Oggi le industrie che creano più valore sono quelle che girano intorno alle idee, le innovazioni, la ricerca, e le competenze, in considerazione del fatto che dispongono di talenti dotati di creatività e competenze digitali adeguate; questo tipo di industrie crea anche all'esterno un indotto dotato di un alto grado di capacità digitali (digital fluency), tuttavia difficili da reperire. Per completare il quadro, va notato anche come la classifica del sistema pubblico risenta dell'accelerazione digitale (Manyika et alii, 2015): l'Italia è al 26° posto in generale – dopo Spagna e Portogallo – e al 31° per il settore business tra le 100 nazioni avanzate rispetto al digitale (Fig. 6). Un collegamento tra l'attuale situazione economica italiana, che evidenzia una tendenza recessiva, e i dati sulla fuga dei cervelli sarebbe da approfondire analiticamente.

Riferendoci al panorama nazionale, secondo quanto riportato nel 'Rapporto sulla competitività dei settori produttivi 2018 dell'ISTAT', da un'analisi sulle caratteristiche dei processi produttivi in termini tecnologici e organizzativi e dei mercati di riferimento, sembrerebbe emergere una forte segmentazione settoriale dei comportamenti verso

l'innovazione e la digitalizzazione. Il settore delle costruzioni rientra anche in Italia, come abbiamo visto dai dati internazionali, tra quei settori dell'industria tradizionale in cui si registra una propensione all'innovazione digitale inferiore alla media del comparto manifatturiero e un basso livello di digitalizzazione. Lo stesso documento riporta un'analisi dei profili digitali delle imprese suddivisi per settore di attività economica per l'anno 2017 (Fig. 7) da cui emerge che il settore delle costruzioni si colloca in seconda posizione – solo dopo l'industria della pelle – per il maggior numero di imprese a 'bassa digitalizzazione', con poco meno del 20% delle imprese considerate a 'media digitalizzazione' e un'esigua percentuale di imprese del settore costruzioni considerate ad 'alta digitalizzazione'.

Nel nostro Paese l'interesse per le tecnologie BIM, già ampiamente diffuse in ambito internazionale, è cresciuto in modo esponenziale negli ultimi anni determinando un aumento della domanda di figure professionali specifiche esperte in BIM sia da parte di grandi società e committenti privati, sia sul fronte delle opere pubbliche con l'entrata in vigore del DLgs 50/2016 (Nuovo codice degli appalti) e del DM 560/2017 (mirato alla digitalizzazione e volto a favorirne l'adozione progressiva anche per i lavori pubblici). Tuttavia, nonostante la spinta determinata dall'introduzione di provvedimenti normativi (art. 3 del DM 560/17) che ne promuovono l'uso sulla base di precise precondizioni organizzative e soglie di investimento per le opere, la transizione verso la digitalizzazione dei processi nel settore delle costruzioni non può essere un'operazione immediata in Italia. Il gap italiano rispetto ai partner europei è evidenziato nei dati europei (Eurostat, 2018; Fig. 8).

**Lean BIM: Ottimizzazione del lavoro e Model Collaboration Systems (MCS)** – La asincronia tra l'avvio, a gennaio 2019, delle scadenze temporali previste dal DM 560/2017 e il processo di trasformazione richiesto per la digitalizzazione del settore delle costruzioni, che è in grave ritardo, rischia di limitare in via preventiva le nuove prospettive di innovazione del sistema, perché non si è affrontata in modo sistemico: a) la formazione delle competenze; b) la ri-organizzazione dei processi; c) il divario tecnologico-digitale, solo timidamente affrontato con un primo programma di incentivi pubblici (Industria 4.0, 2017; Fig. 9). Il rischio risiede nell'assenza di una precisa strategia di indirizzo e coordinamento, per esempio definendo Piani strategici a lungo termine (almeno decennali), che orienti il Piano Industriale a medio termine di livello nazionale come avvenuto in altri paesi Europei. Inoltre è evidente il gap culturale nell'affrontare la problematica della digitalizzazione in generale e del BIM nelle costruzioni in particolare.

Il plusvalore che la metodologia BIM può generare, sostanzialmente banalizzato in un mero aumento della produttività ed efficienza del lavoro, non è tuttavia conseguibile se non sulla base di modelli condivisi e collaborativi (aspetti distinti che spesso sono confusi) che consentano una comunicazione aperta e interoperabile sia nel gruppo di progetto che con le parti interessate esterne. Primi fra tutti i professionisti delle diverse discipline tecniche, finanziarie e legali che popolano lo scenario del settore. Dunque, se da un lato diviene determinante poter contare su standard di riferimento di

processo (UNI EN ISO 9000, ISO 21500, UNI 11337-4, ecc.) e protocolli condivisi per la gestione e modellazione dei flussi informativi del prodotto all'interno dei processi digitalizzati (UNI 11337-5), altrettanto rilevante è il fatto che siano ben individuate le figure professionali che intervengono nel processo BIM e i loro ruoli (UNI 11337-7). La questione da porre è se tali figure siano semplicemente da certificare come up-grade di quelle tradizionali, di area tecnica, o se probabilmente non debbano essere figure nuove, esito di percorsi formativi innovativi e coerenti con l'economia digitale come indicato dai trend globali.

La produzione e la gestione digitale dei contenuti informativi relativi all'intero ciclo di vita di un'opera risulta fondamentale all'interno del processo delle opere. Il Building Information Modeling è una tecnologia trasformativa (Sacks et alii, 2010) che abilita il processo di gestione condivisa delle informazioni basato sull'interoperabilità delle informazioni da parte di tutti i soggetti, abilitati a vari livelli, coinvolti nel processo attraverso la sequenza di programmazione strategica, progettazione, produzione e messa in esercizio dell'opera stessa. Dunque, al fine di garantire l'efficacia e l'efficienza del processo occorre realizzare un ambiente di lavoro collaborativo attraverso l'integrazione tra le varie discipline che concorrono alla definizione di un'opera e il coordinamento delle scelte di ogni singolo operatore coinvolto all'intero processo (Zhao et alii, 2015). Tale aspetto è sottolineato dall'approccio Lean Thinking che sottende metodologicamente la dimensione socio-tecnica collaborativa basata su modelli non conflittuali di tipo 'win-win' di alleanza tra le parti interessate del progetto. Una vera rivoluzione se confrontata con la tradizionale conflittualità del settore costruzioni. La gestione digitale del processo delle costruzioni richiede la definizione di nuovi ruoli e responsabilità e, di conseguenza, rende necessaria l'introduzione di nuove figure professionali. A tale scopo, diventa necessario favorire e garantire percorsi di formazione e di adeguamento delle competenze per figure professionali qualificate e trasversali, che siano in grado di assolvere compiti e funzioni organizzative e gestionali specifiche nell'ambito della gestione del processo BIM.

*Interazione tra i ruoli dell'ambiente di progetto digitalizzato Lean, BIM e Soft Skill* – Le competenze BIM individuali direttamente utilizzabili ai fini produttivi, se applicate ai profili digitali richiesti nell'industria delle costruzioni, possono avere sia natura generica (competenze generiche), poiché si riferiscono ad abilità prettamente informatiche mirate ad attività di modellazione, sia natura speci-

fica (competenze complesse), atte a istaurare collaborazione e integrazione nell'ambito del processo edilizio, come le capacità tecnico-progettuali richieste per lo svolgimento di attività complesse intraprese durante la collaborazione multidisciplinare con riferimento a una pluralità di ambiti e specialità richiesti dal progetto. Un approccio integrato alla valutazione, acquisizione e applicazione delle competenze BIM sviluppato da Succar et alii (2013) ha consentito di chiarire e descrivere sia le competenze generiche che quelle specifiche secondo una tassonomia ad hoc e ha anche permesso di catalogarle e raggrupparle in un inventario per generare strumenti flessibili ai fini della valutazione e del miglioramento del processo digitale. D'altra parte, la formazione sulle competenze dei partecipanti al progetto si sta spostando dai modelli tradizionali (es. lezioni frontali, esami di profitto) verso modelli educativi più vicini alle Practices dell'industria, come l'insegnamento per affiancamento (On-the-job training), la promozione del pensiero critico attraverso esperimenti interattivi (Figg. 10-12) e in generale una formazione più incentrata sulla figura dello studente e sul suo rapporto con il formatore (Kpamma et alii, 2014).

Prendendo in considerazione le interazioni tra le due metodologie e tecnologie trasformativa dominante Lean e BIM (Sacks et alii, 2010) è evidente come per integrare con successo le metodologie BIM in una organizzazione di progetto risulti necessario sia implementare le Hard Skill (es: ingegnerizzazione dei processi di progetto, condivisione appropriata delle informazioni di progetto, rispetto degli standard e utilizzo delle tecnologie di Virtual Design and Construction) che le Soft Skill – promosse dal Lean Mindset e dalle Scienze Sociali applicate alla Design Research – quali il rispetto degli altri partecipanti al progetto, la condivisione delle conoscenze e non solo di 'pacchetti informativi' e, più in generale, l'applicazione dei principi Lean alle pratiche comuni (Santorella, 2011; Rybkowski et alii, 2013; Mossman, 2015).

L'integrazione del BIM deve essere accompagnata da un processo di miglioramento del gruppo di progetto – ovvero un riallineamento dei tre pilastri Tecnologie, Persone, Processi – mitigando progressivamente carenze nella struttura organizzativa, attribuzione ruoli, conflitti interpersonali tra le parti interessate e più generalmente tutte quelle pratiche diffuse e comportamenti che possano inficiare la produttività dell'organizzazione di progetto, causando di conseguenza sprechi di risorse (ore/uomo) a causa di errori o ri-lavorazione delle informazioni di progetto. Applicare i principi Lean a supporto delle tecnologie BIM può aiutare ad affrontare problematiche relative

alla produttività del processo di progetto, integrando, a livello strategico e di pianificazione delle attività, Soft Skill comportamentali mirate all'ottimizzazione dei singoli processi (Santorella, 2011; Bosi, 2016). Le convergenze tra BIM, Lean e Soft Skill utili all'organizzazione di progetto sono individuate nella Tabella 1.

La Tabella 1 è stata redatta tenendo conto della definizione, task e responsabilità descritte nella normativa UNI 11337-7:2018 con riferimento ai ruoli di BIM Manager, BIM Coordinator, BIM Specialist e Common Data Environment Manager. Requisiti, compiti e responsabilità sono stati inseriti in una matrice 4x3 riportante nelle righe i quattro ruoli designati dalla normativa e nelle prime tre colonne i pilastri del Lean Mindset individuati da Aziz e Hafez (2013), sulla base delle ricerche seminali in campo Lean Mindset e delle relative applicazioni Industriali (Ohno, 1988; Howell, 1999; Womack and Jones, 2003; Shah and Ward, 2007). Con la Tabella 1 si offre per ogni ruolo una prima scrematura dei requisiti in termini di Soft Skill utili per l'operatività con metodologie BIM individuate da Succar et alii (2013). In questa matrice, le due tecnologie trasformativa Lean e BIM vengono relazionate ai ruoli definiti. Il processo di progetto è un processo knowledge-intensive basato sulle informazioni generate per il modello BIM e dal modello BIM: sfruttando il potere trasformativo del Lean Mindset è possibile contribuire a una maggiore integrazione delle informazioni di progetto (Bosi, 2016). Sulla base dei Reami di Intersezione individuati nella letteratura tra Lean, BIM e Soft Skill (Sacks, 2010; Kpamma et alii, 2014; Mossman, 2015; Bosi, 2016), nell'ultima colonna sono stati evidenziati dei campi di convergenza proposti tra Lean, BIM e BIM-aimed Soft Skills.

*Conclusioni* – Il BIM è collocato nello scenario del progetto multidimensionale, da un lato come offerta di una piattaforma tecnologica dall'altro come driver per una riorganizzazione dei processi del settore imponendo di fatto nuovo figure non necessariamente dell'area tecnica, ma sicuramente 'digital fluent'. Infatti, la domanda di sostenibilità sociale, economica e ambientale ha definito in Europa un contesto innovativo che impone ai progetti requisiti che aumentano la complessità delle opzioni da valutare sia da parte dei tecnici che da parte di investitori e committenti. In particolare, l'obiettivo nZEB delle politiche europee è la punta più avanzata di maturazione di un processo di definizione della nuova domanda di mercato per costruzioni che ottengano livelli di qualità certificabili. Le ricerche illustrate e in corso da parte degli autori evidenziano che la presenza di compe-

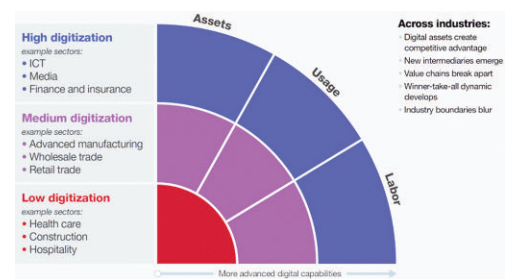
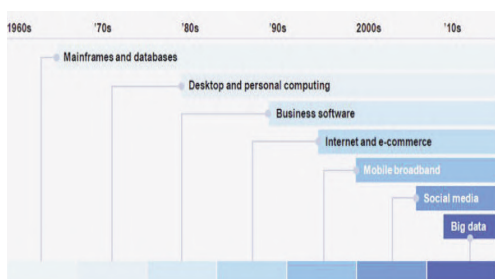
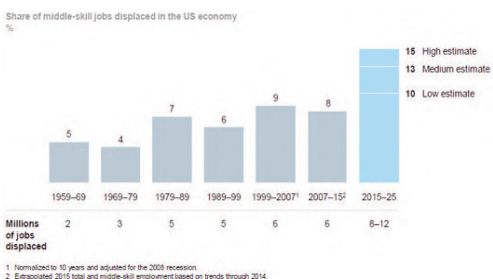


Fig. 3-5 - Automation could accelerate the displacement of middle-skill jobs to nearly twice the rate of recent decades; Successive waves of innovation in the US digital economy; Digital capabilities across industries (credits: McKinsey & Company, 2015).

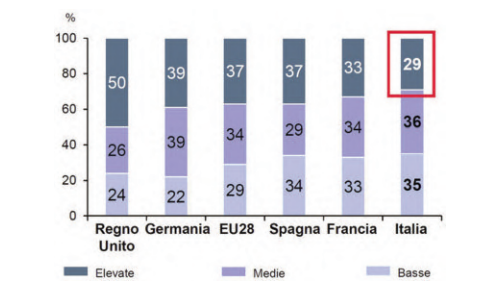
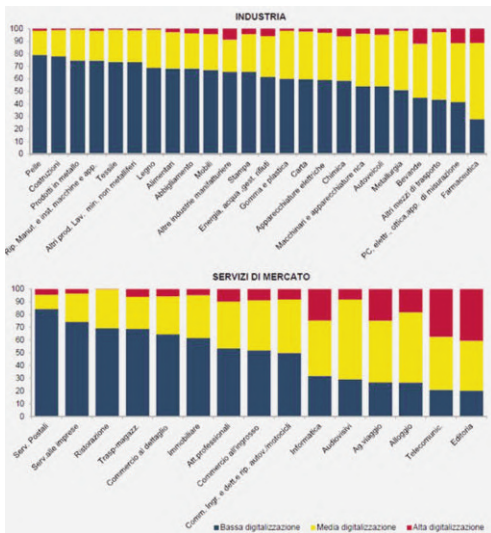
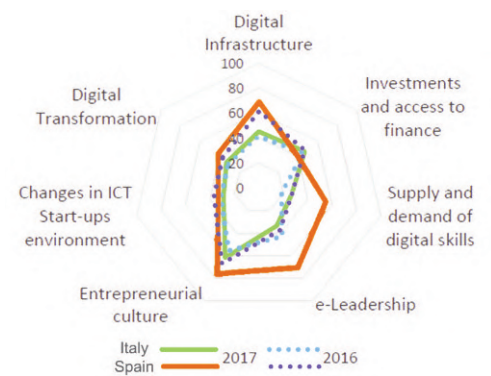


Fig. 6 - Different framework conditions for digital transformation, Italy and Spain (credit: Eurostat, 2018).

Fig. 7 - Digital profiles of companies by sector of economic activity (credit: ISTAT, 2017).

Fig. 8 - Digital skills to be filled: digital skills distribution across the workforce, employed or unemployed, 2016 (credit: Piano Nazionale Impresa 4.0).

tenze adeguate, nell’ambito di una appropriata riorganizzazione dei processi, è richiesta per creare valore tramite le piattaforme digitali e appare critica per il compimento della transizione tecnologica, in particolare nel settore delle costruzioni. Il ruolo di Educazione e Formazione si delinea come un fattore critico di successo per la competitività dell’industria, come evidenziato dalle politiche europee e dai Piani Nazionali.

Il BIM ha spinto alla definizione di Soft Skills specifiche che andranno a popolare il settore costruzioni forse più probabilmente in affiancamento, data la loro caratterizzazione manageriale e informatica, che non a integrazione delle competenze tecniche tradizionali. La normativa tecnica italiana offre ampi spunti di personalizzazione per la progettazione organizzativa e per la definizione dei nuovi processi di lavoro ad hoc sia della commit-

tenza che dei fornitori di servizi ed opere BIM. Il metodo da applicare richiede di focalizzare su tre elementi base: Personale, Competenze, Tecnologia.

Le implicazioni culturali e pratiche di questo saggio suggeriscono di migliorare le conoscenze e competenze indispensabili per promuovere la comunicazione, limitando gli sprechi e aumentando la produttività nell’ambiente di progetto. L’evoluzione durante l’integrazione delle tecnologie trasformative al processo edilizio non è semplice, ma non rispondere alle richieste della transizione al digitale con un’adeguata formazione e istruzione potrebbe comportare la perdita di ruolo per alcuni dei professionisti del gruppo di progetto, in quanto non sufficientemente adattati all’ambiente di progettazione digitale condiviso delle Virtual Design and Construction Technologies. Il BIM deve essere uno sforzo di squadra: un componente del gruppo di progetto senza le Soft Skills adatte alla collaborazione può compromettere gli sforzi dell’intera organizzazione.

ENGLISH

The recent debate on the importance of collaborative practices and on the development of BIM methodologies on the one hand it has produced rapid transformations in the construction market, determining a strong impulse to innovation in the AECO sector and increasing the competitiveness of the productive sector. On the other requires increasingly specialized professional figures with transversal skills and abilities in different disciplines, e.g. Architecture, Energy Engineering, Structural Engineering, etc. The scenario defined in Europe for construction, a global leader for sustainability, is defined by a series of directives<sup>1</sup> that have created a political and regulatory reference framework for all industrial sectors in member countries that have gradually incorporated it. For this purpose, it is necessary to introduce integrated multidisciplinary methods and design tools. This requires greater attention to the skills to be adopted in the design and production process, involving the different public and private operators, contractors, designers, builders, manufacturers and suppliers of materials along the entire chain.

The integration of BIM methodologies in relation to environmental and energy design expresses a high potential. Only recently the construction industry has begun to understand the opportunities offered by the use of BIM technology in numerous areas of application. For example it is possible to carry out integrated energy analysis by the building’s parametric models, or to integrate Life Cycle Assessment<sup>2</sup> (LCA) results of the systems and components and Life Cycle Costing<sup>3</sup> (LCC) analysis for the evaluation of alternatives in the intervention planning phase, or obtaining a certification according to protocols such as LEED, BREAM, ITACA, etc. (Eleftheriadis et alii, 2017). In fact, in the past the decision-making processes and energy saving strategies related to the design of work were more focused on the execution phase and on the use phase of the project, neglecting the impacts determined in the maintenance, restructuring and disposal cycle of the building.

Recently, because the introduction of progressively higher standards in Europe for the construction of almost zero-energy buildings (so-called nZEB) and by the definition of the Minimum Environmental Criteria for the building sector (Minis-

terial Decree 11 January 2017) in Italy, the attention has been extended to the entire life cycle of the building. In view of an overall reduction of the environmental impact, it is fundamental to take into consideration the GHG (Green House Gases) impact and the incorporated energy content for the extraction and processing of building materials and for the production processes of the selected components, technologies and MEP systems (Diaz et alii, 2014). In this context, the Building Information Modeling (BIM) represents a possible channel with an evolutionary value of dissemination on the cultural level and sharing of the assessment tools. These are not only environmental but also economic and social sustainability assessment, within the project stakeholders involved with various roles related to the building process. Given the complexity and the high number of informative contents of different nature that pertain to the design process, BIM overcomes the descriptive-object approach of CAD drawings, which uses three dimensions to describe the geometry of the project. It adopts new descriptive modalities in the multidimensional digital data space concerning ‘n’ dimensions and to multimedia and alphanumeric datasets that can include aspects such as time, costs, etc. (Fig. 1).

The seventh dimension of BIM (BIM 7D) in particular regards management – i.e. the management of existing assets – and (environmental, economic and social) sustainability. It is used to optimize operational management and maintenance of the building during the service cycle – possibly renewed – and its components throughout the life cycle, integrating environmental and energy aspects. BIM is a platform that contains relevant information from various specialist models for constructive, management and maintenance purposes, whether they are of geometric or descriptive nature – relative to all areas that affect the building – components, structures, systems, materials, etc. BIM expresses an enormous potential in terms of traceability and efficiency of all operations and aspects related to the design, construction, management and maintenance of the building, being able to facilitate the identification of any critical issues and to support more effectively analysis and decision-making processes, making cheaper and more efficient the typical processes of project and asset management.

Considering the process of interaction between buildings and environment in the service cycles that follow one another until the end of the asset life cycle – and above all considering the multidimensionality of the problem – it is possible to observe how the management and maintenance phase is the one with greater impact on the overall costs of the work. It is therefore clear how the identification of the asset management choices, with a view to optimizing the resources available, requires an accurate analysis of life-cycle costs performed on the basis of realistic and reliable data, as well as methods for giving systematic control and order to such information. BIM 7D represents an effective tool for this purpose, offering the possibility of simulating ex-ante different scenarios aimed at choices consistent with the objectives of environmental, economic and social sustainability, of improving the quality of the final result and of reducing overall costs.

Digitization in Construction – In Italy the con-

struction industry is going through a phase of deep crisis that will have to lead to a transformation largely driven by the spread of digital technologies. This is particularly true for BIM, long applied for the innovation of the production processes of other industries for which the link between propensity to innovation and degree of digitization is more relevant (electronics, automotive, R&D, Tlc). With reference to the international scenario, the Harvard Business Review (HBR) highlights the serious delay of the Construction in the recovery of productivity and innovation capacity compared to other industries, with a gap that the economic crisis of the last decade has had accentuated (Gandhi et alii, 2016). In fact, the construction industry is in the penultimate place of the ranking just preceding the agriculture in the digitalization process (Fig. 2). The Public Administration, to which the sector is closely connected, also appears in the bottom rankings of the HBR survey.

The research report by McKinsey & Company (Manyika et alii, 2015) on digitization in the US shows that automation has accelerated twice the rate of expulsion from the labour market of workers with a medium digital qualification. The timeline of digital evolution illustrates how the separate focus on a single-system is overcome by facts: already today the digitalization is oriented to the exploitation of the big data field – new economy's fuel – and to the interaction between the physical apparatuses (Fig. 3). Essentially, successive waves of digital innovations have structured a digital economy (Fig. 4). The digital economy generates 17% of earnings in the US, but uses only 18% of its potential, according to research (Manyika et alii, 2015) digital economy will simply be the future economy. Industries digitize various aspects: the maximization of digital coincides with the increase in value creation (Fig. 5). In fact, the growth of wages from 1997 to 2014 sees Construction in the fourth place, and the highest wages are offered by the industries with higher digital penetration. A sign that such industries create more value per capita.

Regarding the issue of digital competences, American research (Manyika et alii, 2015, pp. 70, 71) faces a renewed perspective according to which the industries of the future will have to strategically reconsider the potential represented by human resources. Today the industries that create the most value are those that revolve around ideas, innovations, research, and skills – in view of the fact that they have talents with adequate creativity and digital skills. This type of industry also creates an external drive for those endowed with a high degree of digital capacity (digital fluency). However, finding these skills becoming more difficult. To complete the picture, it is noteworthy that the ranking of the public system (Manyika et alii, 2015) is affected by digital acceleration. This sees Italy in 26th place overall – after Spain and Portugal – and 31st for the business sector among the 100 most digitally advanced countries. A connection between the current Italian economic situation – which shows a recessive trend – and the data on brain drain should be analysed in detail (Fig. 6).

Referring to the national panorama, according to the 'Report on the competitiveness of the production sectors 2018 by the ISTAT', from an analysis on the characteristics of the productive processes in technological and organizational terms and

the reference markets, seems to emerge a strong sectoral segmentation of the behaviours towards innovation and digitalisation. As we have seen from international data, the construction sector is also included in Italy between those sectors of the traditional industry that have a lower than the average propensity to digital innovation among the manufacturing industries and a low level of digitization. The same document reports an analysis of the digital profiles of companies broken down by sector of economic activity for the year 2017 (Fig. 7) which shows that the construction sector ranks second – only behind the leather industry – for the largest number of 'low-digitization' companies, with just under 20% of the companies considered to be 'medium digitalisation' and a small percentage of companies in the construction sector considered to be 'highly digitized'.

In our country the interest in BIM technologies – already widespread internationally – has grown exponentially in recent years, determining an increase in the demand for specific professional figures experienced in BIM both by large companies and private clients, and on the front of public works with the Legislative Decree 50/2016 (New procurement code) and Ministerial Decree 560/2017 aimed at digitization and favoring its progressive adoption also for public works. However, despite the push determined by the introduction of regulatory measures (Article 3 of Ministerial Decree 560/17) that promote its use on the basis of precise organizational preconditions and investment thresholds for the works, the transition towards the digitalization of processes in the construction sector cannot be an immediate operation in Italy. The Italian gap with respect to European partners is highlighted in European data (Eurostat, 2018; Fig. 8).

Lean BIM: Work optimization and Model Collaboration Systems (MCS) – The asynchrony between the start in January 2019 of the deadlines imposed by Ministerial Decree 560/2017 and the transformation process required for the digitalization of the construction sector – which is seriously delayed – risks limiting the new innovation prospects of the system because it has not been addressed systemically: a) skills training; b) process re-organization; c) the technological-digital divide, only tentatively addressed with a first program of public incentives (Industry 4.0, 2017; Fig. 9). The risk lies in the absence of a precise strategy of guidance and coordination – for example, defining long-term strategic Plans (at least ten years) – which will guide the medium-term National Business Plan as occurred in other European countries. Furthermore, the cultural gap in tackling the problem of digitalisation in general and BIM in construction, in particular, is evident.

The added value that BIM methodology generates, basically trivialized in a mere increase in productivity and work efficiency, is however not achievable except on the basis of shared and collaborative models (distinct aspects that are often confused) that allow open and interoperable communication both in the project group and with external interested parties. This is particularly true for all the professionals of the various technical, financial and legal disciplines that populate the scene. Therefore, if on one hand it becomes crucial to be able to rely on process reference standards

(UNI EN ISO 9000, ISO 21500, UNI 11337-4, etc.) and shared protocols for the management and modelling of information flows of the product within the digitized processes (UNI 11337-5), the fact that the professional figures involved in the BIM process and their roles are well identified (UNI 11337-7) is equally important. The question to ask is whether these figures are simply to be certified as upgrades of the traditional technical ones or if they probably should be new figures, the outcome of innovative training courses consistent with the digital economy as indicated by global trends.

The production and digital management of information content related to the entire life cycle of a building are fundamental within the process. BIM is a transformative technology (Sacks et alii, 2010) that enables the process of shared information management based on the interoperability of information by all subjects, enabled at various levels, involved in the process through the programming sequence strategic, planning, production and commissioning of the work itself. Therefore, in order to guarantee the effectiveness and efficiency of the process, it is necessary to create a collaborative work environment through the integration between the various disciplines that contribute to the definition of work and the coordination of the choices of each individual involved operator (Zhao et alii, 2015). This aspect is underlined by the Lean Thinking approach which methodologically underlies the collaborative socio-technical dimension based on non-conflictual 'win-win' models of an alliance between project stakeholders. A real revo-

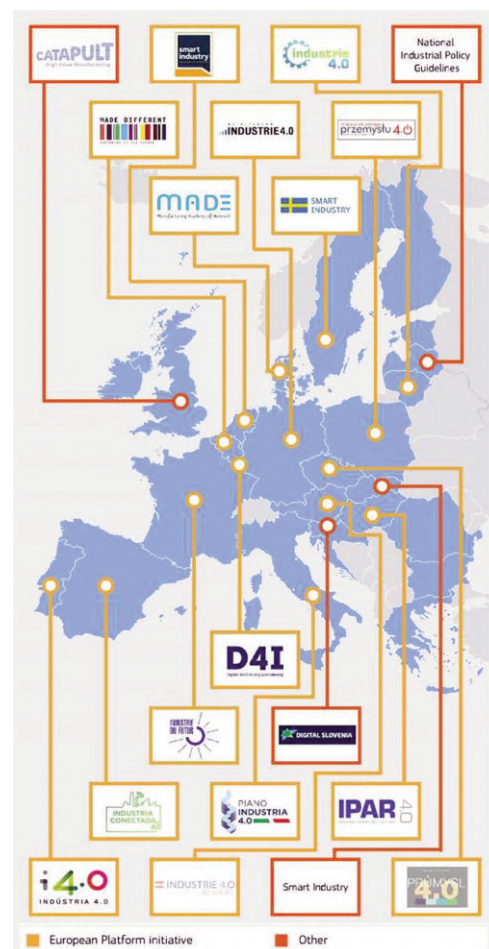


Fig. 9 - National digital transformation policies and programmes (credit: Eurostat, 2018).



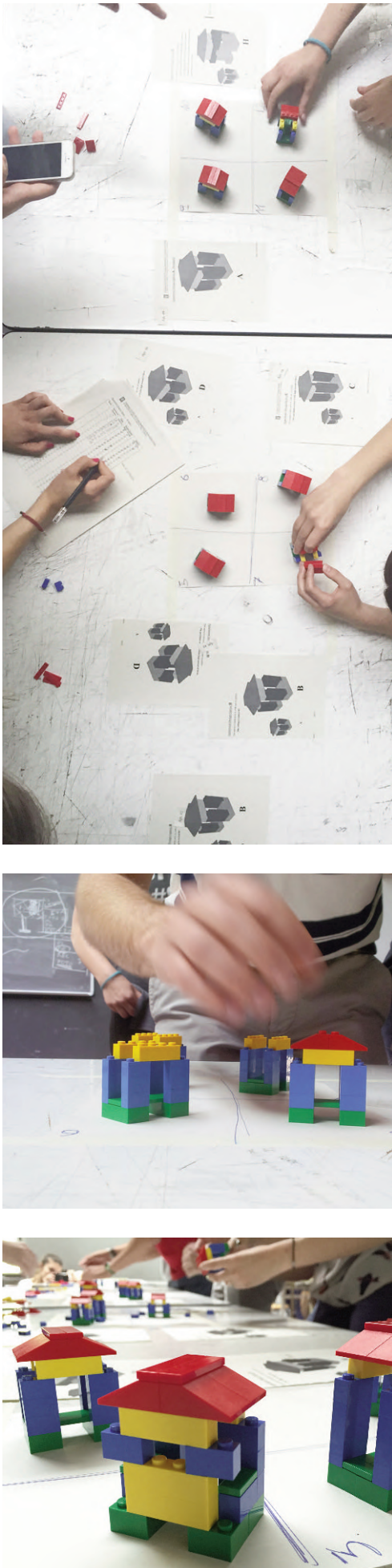


Fig. 10-12 - Training methods for collaborative teams (Leapcon© Play Role Game).

lution when compared with the traditional conflicts of the construction industry. Management of the construction process requires the definition of new roles and responsibilities and consequently makes it necessary to introduce new professional figures. To this purpose, it becomes necessary to foster and guarantee training and adaptation paths for qualified and transversal professional figures, who are able to perform specific organizational and managerial tasks and functions in the management of the BIM process.

Interaction between the roles of Lean, BIM and Soft Skill digital design environment – The individual BIM skills that can be used directly for production purposes – if applied to the digital profiles required in the construction industry – can have a generic nature (generic skills), since they refer to purely computer skills aimed at modelling activities, or specific nature (complex competencies), suitable for establishing collaboration and integration in the building process. For example, there are technical-design skills required for carrying out complex activities undertaken during the multidisciplinary collaboration with reference to a plurality of areas and specialities required by the project. An integrated approach to the evaluation, acquisition and application of BIM skills developed by Succar et alii (2013) has made it possible to clarify and describe both generic and specific competencies according to an ad hoc taxonomy and has also allowed to catalog and group them in an inventory for generate flexible tools for the evaluation and improvement of the digital process. On the other hand, training on the skills of project participants is shifting from traditional models (e.g. lectures, exams) to educational models closer to the practices of the industry, such as on-the-job training, promotion of critical thinking through interactive experiments (Fig. 10-12) and in general a more focused training on the figure of the student and his relationship with the trainer (Kpamma et alii, 2014).

Taking into account the interactions between Lean and BIM – the two dominant transformative methodologies and technologies (Sacks et alii, 2010) – it is evident that to successfully integrate BIM methodologies into a project organization it is necessary to implement both Hard Skills (e.g.: engineering of the project processes, appropriate sharing of project information, compliance with the standards and use of Virtual Design and Construction technologies) and Soft Skills promoted by Lean Mindset and Social Sciences applied to Design Research: respect for other project participants, sharing of the knowledge and not just ‘information packages’ and – generally speaking – the application of lean principles to common practices (Santorella, 2011; Rybkowski et alii, 2013; Mossman, 2015).

BIM integration must be accompanied by an improvement process of the project group – that is a realignment of the three pillars Technologies, People, Processes – progressively mitigating deficiencies in the organizational structure, attribution of roles, interpersonal conflicts between the interested parties and more generally all those widespread practices and behaviors that could affect the productivity of the project organization, consequently causing waste of resources (man-hours) due to errors or re-processing of the project information.

Applying Lean principles in support of BIM technologies helps to tackle problems related to design process productivity, integrating at the strategic level and in the planning of activities behavioural Soft Skills aimed at optimizing individual processes (Santorella, 2011; Bosi, 2016). The convergences between BIM, Lean and Soft Skill useful for project organization are identified in Tab. 1.

Tab. 1 was prepared to take into account the definition, tasks and responsibilities described in the UNI 11337-7:2018 regulation with reference to the roles of BIM Manager, BIM Coordinator, BIM Specialist and Common Data Environment Manager. Requirements, tasks and responsibilities were inserted in a 4x3 matrix showing in the rows the four roles designated by the legislation and in the first three columns the pillars of the Lean Mindset identified by Aziz and Hafez (2013), based on the seminal research in the field of Lean Mindset and its industrial applications (Ohno, 1988; Howell, 1999; Womack and Jones, 2003; Shah and Ward, 2007). Table 1 provides for each role a first screening of the requirements in terms of Soft Skills useful for operating with BIM methodologies identified by Succar et alii (2013). In this matrix, the two transformative technologies Lean and BIM are related to the defined roles. The design process is a knowledge-intensive process based on the information generated for the BIM model and the BIM model: by exploiting the transformative power of the Lean Mindset it is possible to contribute to greater integration of project information (Bosi, 2016). On the basis of the intersection realms identified in the literature between Lean, BIM and Soft Skill (Sacks, 2010; Kpamma et alii, 2014; Mossman, 2015; Bosi, 2016), the last column highlights the convergence fields proposed by Lean, BIM and BIM-aimed Soft Skills.

Conclusions – BIM is placed in the scenario of the multidimensional project on the one hand as an offer of a technological platform, on the other as a driver for a reorganization of the processes of the sector imposing, in fact, new figures not necessarily of the technical area, but certainly ‘digitally fluent’. In fact, the demand for social, economic and environmental sustainability has defined an innovative context in Europe that imposes requirements on projects that increase the complexity of the options to be evaluated both by technicians and by investors and clients. In particular, the nZEB objective of European policies is the most advanced point in maturing a process of defining the new market demand for buildings that achieve certifiable quality levels. The researches illustrated and in progress by the authors show that the presence of adequate skills, in the context of an appropriate reorganization of processes, is required to create value through digital platforms and appears critical for the completion of the technological transition in the construction industry. The role of Education and Training is outlined as a critical success factor for the competitiveness of the industry as highlighted by European policies and National Plans.

BIM has pushed to the definition of specific Soft Skills that will populate the construction sector perhaps more probably alongside – given their informative and managerial and IT characterization – rather than integrating traditional technical skills. The Italian technical legislation offers ex-

tensive ideas for customization for organizational design and for the definition of new ad-hoc work processes both for the client and for BIM services and works suppliers. The method to be applied requires focusing on three basic elements: Personnel, Skills, Technology. The cultural and practical implications of this essay suggest improving the knowledge and skills needed to promote communication, limiting waste and increasing productivity in the project environment. The evolution during the integration of the transformative technologies to the building process is not simple. Not responding to the demands of the transition to BIM with adequate training and education could lead to the loss of role for some of the professional in the project group, as they are not sufficiently adapted to the shared digital design environment of Virtual Design and Construction Technologies.

BIM must be a team effort: a member of the project group without the Soft Skills suitable for collaboration can compromise the efforts of the entire organization.

NOTES

1) See Directive 2018/844/EU; Directive 2012/27/EU on energy efficiency; Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings; Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources; European Directive 2014/24/EU on Public Procurement; Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 which sets harmonized conditions for the marketing of construction products and which repeals Council Directive 89/106/EEC.

2) European reference: UNI ISO EN 14020:2002.

3) European Ref: UNI ISO EN 14040:2006; International ISO 50004.

REFERENCES

Aziz, R. and Hafez, S. (2013), "Applying lean thinking in construction and performance improvement", in *Alexandria Engineering Journal*, vol. 52, pp. 679-695.

Bosi, F. (2016), *Airport Lean Integration (ALI)*, Doctoral Research, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura, Firenze.

Davies, K., McMeel, D. and Wilkinson, S. (2015), "Soft skill requirements in a BIM project team", in Beetz, J., van Berlo, L., Hartmann, T. and Amor, R. (eds), *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference, October 27th-29th 2015, Eindhoven*, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, pp. 108-117. [Online] Available at: [www.iglc.net](http://www.iglc.net) [Accessed 16 March 2019].

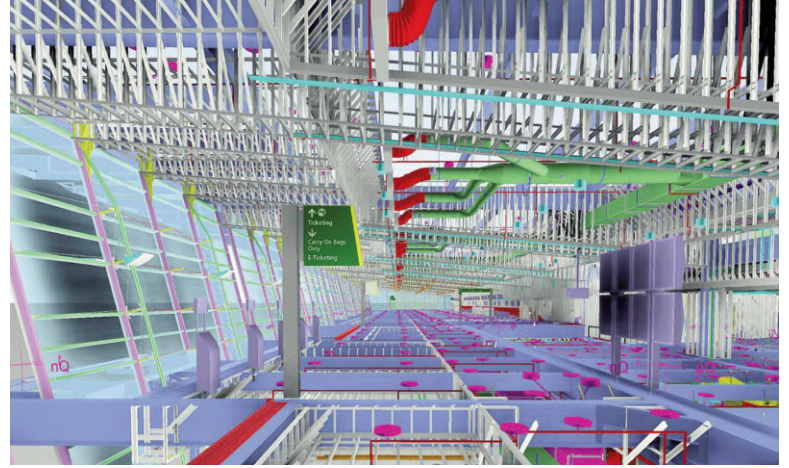
Diaz, J. and Anton, L. A. (2014), "Sustainable Construction Approach through Interaction of LCA and BIM tools", in Hajdu, M. and Skibniewski, M. J. (eds), *Procedia Engineering | Selected papers from the Computing in Civil and Building Engineering 2014*, vol. 85, pp. 283-290.

Eleftheriadis, S., Greening, P. D. and Mumovic, D. (2017), "Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 811-825.

Esposito, M. A., Bosi, F. and Sacks, R. (2018), "Lean-driven Terminal Operation Design", in González, V. A. (ed.), *Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management across Cultures and Frontiers, Chennai, India, 16-22 July 2018*, International Group for Lean Construction, IIT Madras Chennai, India, vol. 1, pp. 593-602. [Online] Available at: [http://www.iglc2018.org/downloads/IGLC2018-Proceedings-Vol1\\_Vol2.pdf](http://www.iglc2018.org/downloads/IGLC2018-Proceedings-Vol1_Vol2.pdf) [Accessed 16 March 2019].

Role (UNI 11337-7)	Lean Pillars (Aziz and Hafez, 2013)			BIM-Aimed Soft Skills Competency (set) (Succar et alii, 2013)	Interaction field between Lean Principles, BIM e Soft Skills (Womack and Jones, 2003; Mossman, 2015; Kpamma et alii, 2014; Sacks, 2010; Bosi, 2016)
	Technology	People	Processes		
<b>BIM Manager</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Defines BIM instructions (UNI 11337-7).</li> <li>2. Redacts:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Employer Information Requirements (E.I.R.);</li> <li>b. information management offer;</li> <li>c. information management plan;</li> <li>d. BIM Guidelines.</li> </ol> </li> <li>3. Proposes the possible applications of the information model.</li> <li>4. Promotes the use of methods and tools related to data science and data analytics to assess the maturity of the organization.</li> <li>5. It takes care of the connection between the internal and shared Data Management System.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inter-organization relations.</li> <li>2. Supports the allocation and appointment of specialized human resources.</li> <li>3. Determines and supervises the boundaries of roles and responsibilities.</li> <li>4. Manages information and decision-making processes with project managers.</li> <li>5. Implements reporting and auditing.</li> <li>6. Supports recruitment of HR and consultants.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Defines the impact of digitization on work organization and tools.</li> <li>2. Guarantor of the implementation of digitization in the processes of an organization.</li> <li>3. Defines:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. rules and procedures for information management;</li> <li>b. criteria for structuring information models;</li> <li>c. logical and functional structure of collaboration environments;</li> <li>d. set of attributes and characteristic documents;</li> <li>e. workflow configuration templates.</li> </ol> </li> <li>4. Schedules the data hand-over to the client.</li> <li>5. Manages information and decision-making processes.</li> <li>6. Defines the management of information flows and the use of the CDE.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Guide and planning (Managerial).</li> <li>2. Management organization, administration, procedures and policies (Administrative).</li> <li>3. Accounting and budgeting (Functional).</li> <li>4. Human Resources Management (Functional).</li> <li>5. Team and Workflow Management (Functional).</li> <li>6. Conceptualization and Design (Operative).</li> <li>7. Management of the Information Model (Implementation).</li> <li>8. Research and Development (R&amp;D).</li> <li>9. Industry involvement and knowledge sharing (R&amp;D).</li> <li>10. Development of non-technical outputs for sharing (R&amp;D).</li> </ol>	<p>Involvement, Collaboration, Meeting Project Requirements.</p>
<b>BIM Coordinator</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Examines or prepares the information specifications.</li> <li>2. Delivers or analyzes an information management plan in response to the information specifications.</li> <li>3. Transfers digital workflows within the data sharing environment.</li> <li>4. Ensures compliance with the information requirements of the individual digital information models.</li> <li>5. Ensures compliance with the informative specifications.</li> <li>6. Defines the rules for checking and clash detection processes.</li> <li>7. Ensures consistency and correspondence of shared information.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Works with the BIM Manager and project manager.</li> <li>2. Supports decision-making processes.</li> <li>3. It supports the identification of human and instrumental resources for the execution of the project.</li> <li>4. It takes care of the quality of interpersonal relationships within and outside the organization.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Operates on the instructions of the digitalised processes manager.</li> <li>2. Configures digital workflows within the data sharing environment.</li> <li>3. Ensures that the information flows processed within the individual applications do not suffer loss or distortion.</li> <li>4. Manages the identification and resolution of clashes during and after coordination meetings</li> <li>5. Guarantor of interoperability and connection of decision-making processes.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organization management, administration, procedures and policies (Administrative).</li> <li>2. Accounting and budgeting (Functional).</li> <li>3. Human Resources Management (Functional).</li> <li>4. Collaboration (Functional).</li> <li>5. Facilitation and Support (Functional).</li> <li>6. Team and Workflow Management (Functional).</li> <li>7. Management of the Information Model (Implementation).</li> <li>8. Fundamentals of Implementation (Implementation).</li> <li>9. Research and Development (R&amp;D).</li> <li>10. Development of non-technical outputs for sharing (R&amp;D).</li> </ol>	<p>Collaboration, Continuous Improvement, Transparency and Respect.</p>
<b>BIM Specialist</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Responsible for informative modeling in specialized disciplines.</li> <li>2. It has specific operational capacity on specific applications.</li> <li>3. Collaborate by performing a Knowledge Transfer in the information model.</li> <li>4. Contributes to the verification and validation of the information entered.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Collaborates in a stable or occasional manner with a specific organization of the project group.</li> <li>2. Acts within the digital workflows provided by the BIM coordinator.</li> <li>3. Supports the preparation of an information management plan if necessary.</li> <li>4. Advanced preparation in Authoring tools.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analyzes the main contents of the informative specifications and the information management plan.</li> <li>2. Participates in the informative model authoring.</li> <li>3. Performs preliminary checks on the information model.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Collaboration (Functional).</li> <li>2. Facilitation and Support (Functional).</li> <li>3. Conceptualization and Design (Operative).</li> <li>4. Analysis and Simulation (Techniques).</li> <li>5. Quantification and Estimates (Techniques).</li> <li>6. Modeling and Design (Techniques).</li> <li>7. Documentation and Details (Techniques).</li> <li>8. Management of the Information Model (Implementation).</li> <li>9. Fundamentals of Implementation (Implementation).</li> <li>10. Components Development (Implementation).</li> <li>11. Technical preparation (Implementation).</li> <li>12. IT Support (Support)</li> <li>13. Software troubleshooting (Support).</li> </ol>	<p>Continuous improvement, continuous development of technical and technological solutions, collaboration, development and adoption of specific tools.</p>
<b>Common Data Environment Manager</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Researches and implements network or cloud computing solutions.</li> <li>2. Relates information models, data and project information.</li> <li>3. Checks the relevance of the project information.</li> <li>4. Protects project information.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ensures the correctness and timeliness of information flows.</li> <li>2. Contributes to the effectiveness of decision-making processes related to Construction Project Management.</li> <li>3. Protects intellectual property in the organization.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manages data sharing environment implemented or implemented by the organization.</li> <li>2. Ensures uniqueness, traceability and consistency of project information.</li> <li>3. Ensures the interoperability of information originating from different authoring tools.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Collaboration (Functional).</li> <li>2. Facilitation and Support (Functional).</li> <li>3. Documentation and Details (Techniques).</li> <li>4. Components Development (Implementation).</li> <li>5. Technical preparation (Implementation).</li> <li>6. IT Support (Support).</li> <li>7. Software and Web Development (R &amp; D / Support)</li> <li>8. Software troubleshooting (Support).</li> </ol>	<p>Collaboration, Transparency and Respect, Development and Adoption of specific tools.</p>

Tab. 1 - BIM roles: Interaction field between Lean Principles, BIM e Soft Skills.



Figg. 13, 14 - San Diego International Airport's Terminal 2 (credits: HNTB Architecture).

Esposito, M. A. (2018), "Il piano di esecuzione del BIM negli aeroporti | BIM Executive Plan in Airports", in Esposito, M. A. and Bosi, F. (eds), *Tecnologie del Progetto di Architettura. Rimodellazione di progetto e fabbricazione*, Didapress, Firenze, pp. 39-78.

Eurostat (2018), *Digital Transformation Scoreboard 2018 EU businesses go digital: Opportunities, outcomes and uptake*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: [https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/Digital%20Transformation%20Scoreboard%202018\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/Digital%20Transformation%20Scoreboard%202018_0.pdf) [Accessed 29 April 2019].

Gandhi, P., Khanna, S. and Ramaswamy, S. (2016), *Which Industries Are the Most Digital (and Why)?*, Harvard Business Review. [Online] Available at: <https://hbr.org/2016/04/a-chart-that-shows-which-industries-are-the-most-digital-and-why?referral=00060> [Accessed 29 April 2019].

Howell, G. A. (1999), "What Is Lean Construction. 1999", in *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, USA, 26-28 July 1999*, IGLC, Berkeley. [Online] Available at: [www.iglc.net](http://www.iglc.net) [Accessed 16 March 2019].

ISTAT - Istituto Nazionale di Statistica (2018), *Rapporto sulla competitività dei settori produttivi*, Istat, Roma.

Kpamma, Z. E., Nsia, E. A. and Agyema, S. (2014), "How Aligned Is the Competency-Based Training Model With the Lean Philosophy?", in Kalsaas, B. T., Koskela, L. and Saurin, T. A. (eds), *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Oslo, Norway, 25-27 June 2014*, IGLC, Oslo, pp. 1233-1244. [Online] Available at: [www.iglc.net](http://www.iglc.net) [Accessed 16 March 2019].

Manyika, J., Ramaswamy, S., Khanna, S., Sarrazin, H., Pinkus, G., Sethupathy, G. and Yaffe, A. (2015), *Digital America: The Tale of the haves and the have-mores. December 2015. Highlights*. [Online] Available at: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/High%20Tech/Our%20Insights/Digital%20America%20A%20tale%20of%20the%20haves%20and%20have%20mores/Digital%20America%20Full%20Report%20December%202015.ashx> [Accessed 16 March 2019].

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del

mare (2017), *DM 11 ottobre 2017 | Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici*, G.U. n. 259 del 6 novembre 2017.

Ministero dello Sviluppo Economico (2019), *Piano Nazionale Impresa 4.0*. [Online] Available at: [https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/impresa\\_%20040\\_19\\_settembre\\_2017.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/impresa_%20040_19_settembre_2017.pdf) [Accessed 29 April 2019].

Mossman, A. (2015), "Bringing lean construction to life: Developing leaders, consultants, coaches, facilitators, trainers and instructors", in *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, Perth, Australia*, pp. 413-423. [Online] Available at: [www.iglc.net](http://www.iglc.net) [Accessed 18 March 2019].

Ohno, T. (1988), *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*, Productivity Press, London.

Rybkowski, Z. K., Abdelhamid, S. T. and Forbes, L. H. (2013), "On the Back of a Cocktail Napkin: An Exploration of Graphical Definitions of Lean Construction", in *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC, Fortaleza, Brazil*. [Online] Available at: [www.iglc.net](http://www.iglc.net) [Accessed 16 March 2019].

Sacks, R., Koskela, L. J., Dave, B. and Owen, R. (2010), "The interaction of lean and building information modeling in construction", in *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, issue 9, pp. 968-980.

Santorella, G. (2011), *Lean culture for the construction industry: building responsible and committed project teams*, CRC Press and Taylor & Francis Group, BocaRaton.

Shah, R. and Ward, P. T. (2007), "Defining and developing measures of lean production", in *Journal of Operations Management*, vol. 25, issue 4, pp. 785-805.

Succar, B., Sher, W. and Williams, A. (2013), "An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application", in *Automation in Construction*, vol. 35, pp.174-189.

Womack, J. and Jones, D. (2003), *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*, Free Press, New York.

Zhao, D., McCoy, A. P., Bulbul, T., Fiori, C. and Nikkhoo, P. (2015), "Building collaborative construction

skills through BIM-integrated learning environment", in *International Journal of Construction Education and Research*, vol. 11, pp. 1-24.

<sup>a</sup> MARIA ANTONIETTA ESPOSITO, Architect and PhD, is Professor of Project Management and Technology at the University of Florence (Italy), gold medal for research at PUT (Poznan University of Technology), directs the research of TxP at the Department of Architecture, unit specialized in the design of Airports; she is the scientific coordinator of international agreements with India and Canada; directs the ABC (Airport Booklets Collection) for Dida Press and the DOTTA doctoral series for Firenze University Press; she was the scientific Director of the network of doctoral students in the OSDOTTA sector. E-mail: [mariaantonietta.esposito@unifi.it](mailto:mariaantonietta.esposito@unifi.it)

<sup>b</sup> ALESSANDRA DONATO, Engineer and PhD in Architectural Technology, is Research Fellow at the Department of Architecture of the University of Florence (Italy) in the context of national and international research activities concerning the issues of Environmental Sustainability and Energy Saving of buildings. E-mail: [alessandra.donato@unifi.it](mailto:alessandra.donato@unifi.it)

<sup>c</sup> FILIPPO BOSI, Architect and PhD in Architectural Technology, is a Teaching Fellow and international expert in Lean Design. He is an architect oriented to the innovation of the project production processes who works in airport design at Toscana Aeroporti Spa and in research as a TxP-R consultant. E-mail: [txp.fbo@gmail.com](mailto:txp.fbo@gmail.com)



## INNOVAZIONE DEI MATERIALI NATURALI TERRA E NANOTUBI DI ARGILLA PER UNA SFIDA SOSTENIBILE

### NATURAL MATERIAL INNOVATION EARTH AND HALLOYSITE NANOCLAY FOR A SUSTAINABLE CHALLENGE

Cesare Spósito<sup>a</sup>, Francesca Scalisi<sup>b</sup>

#### ABSTRACT

All'interno del dibattito culturale che vede la questione ambientale come prioritaria e con riferimento a studi e ricerche che negli ultimi anni hanno promosso materiali compositi a base di terra cruda, gli Autori, consapevoli della necessità che il rapporto fra Progetto e Materia debba assumere una nuova centralità supportato dalle specificità della Tecnologia dell'Architettura, illustrano le risultanze di una sperimentazione che ha l'obiettivo di migliorare le prestazioni della terra cruda con l'apporto delle nanotecnologie, sviluppando un 'nuovo materiale' con una ridotta embodied energy e una ridotta quantità di emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera.

Within the cultural debate that considers the environmental issue as a priority and with reference to the studies and researches that over the last years have supported compound materials containing rammed earth, the Authors, aware of the need of giving to the relationship of Project and Matter a key role, supported by the characteristics of Architectural Technology, show the results of an experimentation that aims to improve the performance of rammed earth with the contribution of nanotechnologies, developing a 'new material' with a reduced embodied energy and a reduced amount of CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere.

#### KEYWORDS

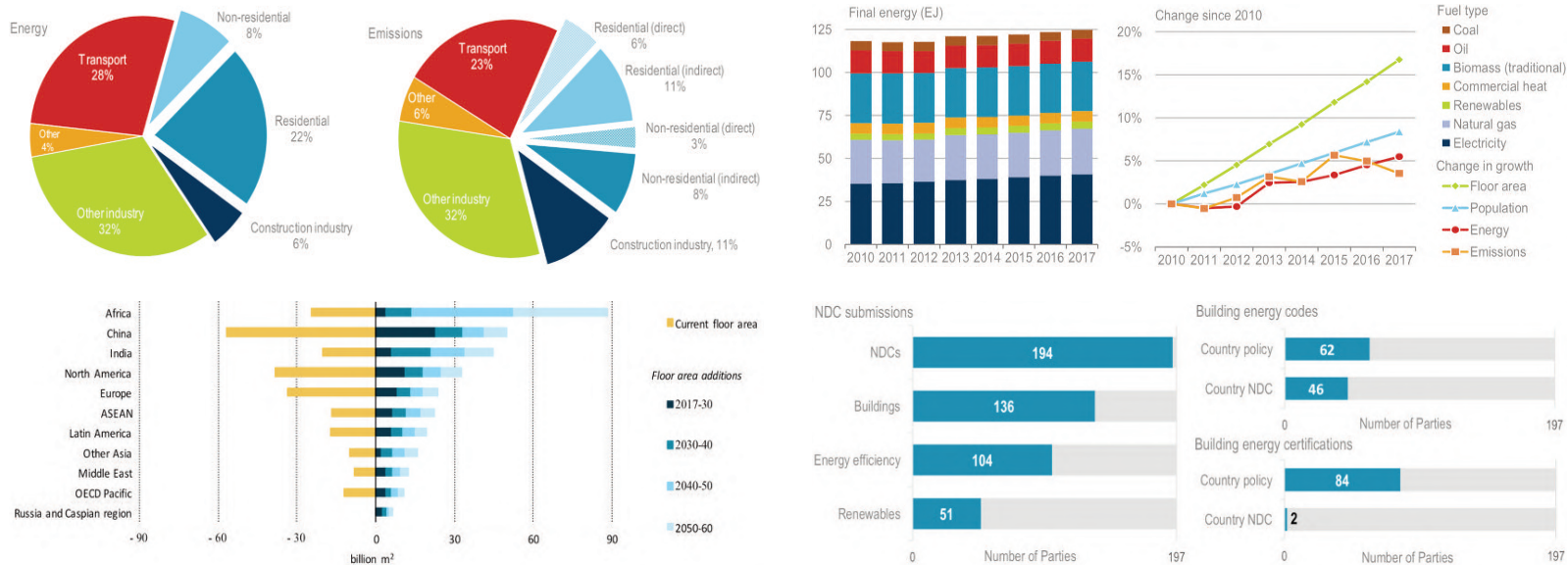
terra cruda, energia incorporata, energia operativa, nanotubi di argilla e halloysite, resistenza a compressione  
rammed earth, embodied energy, operational energy, halloysite and clay nanotubes, compressive strength

Energia e Ambiente rappresentano due importanti temi con cui l'Architettura e il mondo delle costruzioni ha iniziato a confrontarsi negli ultimi due decenni, essendo il settore dell'edilizia responsabile del 36% del consumo energetico globale e del 39% delle emissioni di CO<sub>2</sub> (UN Environment, 2018; Grafico 1). Nonostante la crisi economica globale dell'ultimo decennio, il settore delle costruzioni è cresciuto a ritmi senza precedenti e continuerà a farlo nei prossimi 40 anni, realizzando circa 230 miliardi di metri quadrati ogni anno, superficie equivalente a 52 volte la città di Parigi. Questa la premessa dell'autorevole Global Status Report 2017 delle Nazioni Unite (UN Environment, 2017) che prosegue poi con i dati sulla crescita dell'uso di energia negli edifici, passata dai 119 EJ del 2010 ai 125 EJ del 2017 (Grafico 2), con quelli sull'uso di combustibili fossili – rimasto pressoché costante nello stesso periodo a circa 45 EJ – e con quelli sulle emissioni di carbonio, aumentate da 3,1 Giga tonnellate (Gt) di CO<sub>2</sub> del 2010 a circa 3,7 Gt di CO<sub>2</sub> del 2017. E se l'efficienza energetica degli edifici negli ultimi anni è migliorata costantemente a un ritmo medio dell'1,5% annuo, la domanda di energia finale è aumentata di 5 EJ mentre la superficie costruita è cresciuta di circa il 2,3% annuo, vanificando gli sforzi del settore delle costruzioni per contrastare il surriscaldamento globale (IEA, 2017). Nei prossimi 20 anni, si stima che sarà realizzata oltre la metà dei nuovi edifici previsti per il 2060, due terzi dei quali in Asia e in Africa, nello specifico in paesi che non dispongono di norme e codici energetici obbligatori per gli edifici (IEA 2017; Grafico 3).

La Conferenza sui cambiamenti climatici tenutasi a Parigi nel dicembre 2015, conclusasi con la sottoscrizione da parte di 193 paesi del Paris Agreement, ha raccolto 132 contributi (NDC) che menzionano esplicitamente il settore delle costruzioni (Tab. 1): 104 documenti segnalano le opportunità offerte dall'efficienza energetica per raggiungere gli obiettivi di mitigazione, 51 Paesi si dichiarano impegnati a utilizzare fonti rinnovabili per alimentare gli edifici e a sostenere l'adozione di attività energetiche a basse emissioni di carbonio, ma nessuno dei partecipanti menziona tecnologie, certificazioni o norme/codici relativi a standard di prestazione energetica per l'edilizia (European Commission, 2016). Più 'operativo' è invece il documento prodotto dalla Global Alliance for

Buildings and Construction (UN Environment, 2017) il quale, fra le priorità di azione, individua la riduzione della embodied energy e della operational energy che concorrono al computo dell'energia totale impiegata dall'edificio (Barucco et alii, 2016; Gonzalez and Navarro, 2006; Treloar et alii, 2001): se la embodied energy tiene conto dell'intero ciclo di vita del materiale ed è determinata attraverso un'analisi cradle-to-grave – cioè inclusiva dell'energia necessaria per l'estrazione delle materie prime, la lavorazione e il trasporto, nonché dell'energia per la manutenzione periodica e per lo smaltimento finale del manufatto (Dixit et alii, 2010; Verbeeck and Hens, 2010) – la operational energy è riferita alla quantità di energia impiegata nella fase di esercizio degli edifici per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione (Koskela, 1992).

Se analizziamo le stime sul consumo globale dei materiali e prendiamo coscienza che il loro utilizzo è aumentato di ben otto volte nell'ultimo secolo fino ad arrivare a 60 miliardi di tonnellate l'anno (Krausmann et alii, 2009), dei quali circa il 40% è utilizzato dall'industria delle costruzioni (Kulatunga et alii, 2006), allora non possiamo non condividere il principio che la questione ambientale debba richiedere al progetto «l'individuazione di soluzioni capaci di ridurre drasticamente il consumo delle risorse e la produzione degli impatti attraverso una rinnovata e ampliata attenzione alle prestazioni della materia, e con l'assunzione dell'orizzonte temporale dell'intero ciclo di vita» (Campioli et alii, 2018, p. 86). Alla luce delle superiori premesse, appare evidente che il rapporto fra Progetto e Materia deve assumere una nuova centralità nella questione ambientale e, con il consolidato supporto della tradizione culturale e scientifica della Tecnologia dell'Architettura (Lucarelli, 2018), deve sviluppare approfondimenti e ricerche sullo studio di materiali naturali, rinnovabili e con ridotte embodied energy e operational energy «[...] senza cedere alla esibizione mediatica dell'innovazione né rinunciare a utilizzare la materia come veicolo – e insieme come contenuto – delle qualità dello spazio e delle architetture» (Antonini et alii, 2017, p. 1). All'interno dello scenario culturale e scientifico di seguito riportato, supportato anche da esempi di architetture contemporanee in terra cruda nelle quali il materiale assume funzione strutturale, il presente contributo

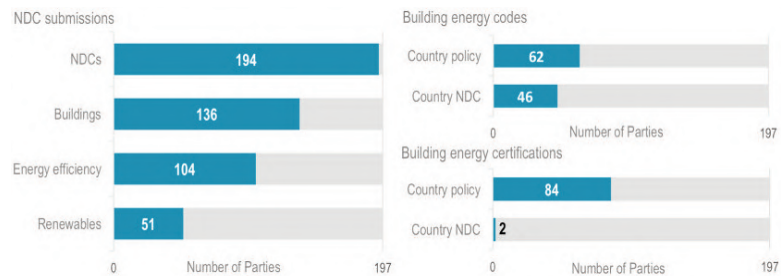


Graph 1 - Global share of buildings and construction final energy and emissions, 2017. The buildings and construction sector is a key actor in the fight against climate change: it accounted for 36% of final energy use and 39% of energy – and process – related emissions in 2017 (credit: UN, 2018; www.iea.org).

Graph 2 - Global buildings sector final energy use by fuel type and change in indicators, 2010-17. Final energy demand in buildings has risen by 5% since 2010, with the impact from the growth in floor area and population outpacing the impact of energy efficiency improvements (credit: UN, 2018; www.iea.org).

Graph 3 - Floor area additions to 2060 by key regions (credit: UN, 2017; www.iea.org).

Tab. 1 - Types of papers (NDC) and buildings policy coverage, 2017-18, presented at the Climate Conference held in Paris (credit: UN, 2018; www.iea.org).



illustra le risultanze di una sperimentazione che ha l'obiettivo di migliorare le prestazioni di resistenza a compressione della terra cruda con l'apporto delle nanotecnologie, sviluppando un 'nuovo materiale' con una ridotta embodied energy e una ridotta quantità di emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera, capace quindi di limitare la questione ambientale e di promuovere e incentivare la riappropriazione e il riuso di una tecnologia costruttiva tradizionale, sia per il recupero/restauro dell'esistente sia per la realizzazione di nuove costruzioni con dimensioni, usi e condizioni climatiche adeguate o nelle quali si ricercano anche soluzioni materico-plastiche che qualifichino le architetture.

**Embodied Energy vs Operational Energy** – L'insieme dei dati citati alimenta la preoccupazione per l'impatto ambientale dei materiali, e se da un lato chiarisce il motivo per il quale aggettivi come 'verde', 'bio', 'sostenibile' o 'ecologico' siano diventati molto popolari nel settore delle costruzioni, dall'altro non spiega perché, come fa notare Fernando Pacheco-Torgal (2014), i primi studi sull'analisi LCA del calcestruzzo strutturale Portland – uno dei materiali da costruzione più utilizzati al mondo, la cui produzione supera abbondantemente quella della somma dei laterizi, dell'acciaio e del legno (Flatt et alii, 2012) – risalga soltanto al 2012 (Van den Heede and De Belie, 2012; Habert et alii, 2012). È da rilevare che l'industria delle costruzioni si è attivata per produrre e adottare soluzioni ad alta efficienza energetica e materiali e componenti con elevate prestazioni, promuovendo la realizzazione di costruzioni classificate come nearly Zero Energy Buildings (nZEB) – in accordo con gli indirizzi normativi della Energy Performance Building Directive 31/2010 (European Parliament and Council of the European Union, 2010) recentemente aggiornata con la Direttiva Europea 2018/844 (European Parliament and Council of the European Union, 2018)

– trascurando però il fatto che per la loro stessa produzione si determina spesso un aumento dell'embodied energy, giustificabile solo da una diminuzione significativa dell'energia nella fase di esercizio dell'edificio, ovvero da un bilancio positivo fra embodied energy e operational energy (Hammond, 2007; Sartori and Hestnes, 2007; Ibn-Mohammed et alii, 2013; Jia and Crabtree, 2015; Copiello, 2017).

Diversi studi mettono in dubbio addirittura la possibilità che la produzione di questi materiali ad alte prestazioni possa essere compensata dalla diminuzione dell'energia necessaria alla fase di esercizio, dato che l'embodied energy può rappresentare quasi la metà dell'energia complessiva impiegata nel ciclo di vita di un edificio e in alcuni casi superare addirittura quella operativa (Crawford et alii, 2016). I ricercatori greci Panagiotis Chastas, Theodoros Theodosiou, Dimitrios Bikas e Karolos Kontoleon (2017) hanno esaminato la letteratura scientifica relativa a 90 edifici residenziali, deducendo che, all'interno del ciclo di vita, nei manufatti convenzionali la embodied energy incide per una percentuale variabile tra il 6% e il 20%, in quelli 'passivi' per una percentuale compresa tra l'11% e il 33%, negli edifici 'a basso consumo energetico' oscilla tra il 26% e il 57%, mentre negli nZEB è compresa tra il 74% e il 100%. In ambito italiano, si segnala lo studio LCA su una PassivHaus in Umbria il quale, escludendo dal calcolo il contributo proveniente da fonti rinnovabili, riporta per l'involucro e gli impianti valori superiori che si attestano tra il 48% e il 61% (Proietti et alii, 2013).

In quest'ottica, appare evidente come la ricerca dell'efficienza nella sola fase operativa possa risultare controproducente in termini di consumo energetico totale, perché non garantisce benefici sufficienti in termini di sostenibilità ambientale del manufatto (Langston and Langston, 2008); al contrario, l'uso di materiali e tecniche costruttive

tradizionali e più sostenibili può fornire un importante contributo all'eco-efficienza del settore delle costruzioni (Pacheco-Torgal and Jalali, 2012), ponendo determinare una riduzione del 17% dell'energia impiegata nella costruzione di un edificio (Miller, 2001) e abbattere le emissioni di CO<sub>2</sub> del 30% (Crowther, 1999). La selezione di materiali da costruzione sostenibili non dovrebbe concentrarsi solamente sulle prestazioni tecniche, ma soprattutto sull'impatto ambientale e sulla salute/benessere degli utenti (Ip and Miller, 2012; Ding, 2014).

Poiché i materiali da costruzione più comunemente utilizzati – cemento, acciaio e alluminio – sono energivori e contribuiscono in maniera determinante, durante il processo di produzione, alle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera (Akbarnezhad and Xiao, 2017), la ricerca sui nuovi materiali 'a bassa energia', sul loro metodo di produzione e sulle possibilità di riciclo è diventata estremamente importante. Uno strumento fondamentale per valutare gli impatti ambientali dei materiali è la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD – Environmental Product Declaration) o Etichetta ambientale di tipo III (Minkov et alii, 2015), la quale fornisce dati ambientali quantificati utilizzando parametri predeterminati e, se del caso, ulteriori informazioni ambientali in base alla Norma ISO 14025 (2006). L'EPD è un documento tecnico, verificato da un Ente di certificazione, che accompagna la commercializzazione del prodotto e che riporta informazioni quantitative basate sulla metodologia LCA, così come definita dalla Norma ISO 14040 (2006). Il Comitato CEN TC350 – Sostenibilità delle opere di costruzione (De Wolf et alii, 2017) ha definito le Product Category Rules (PCR) per le EPD dei materiali da costruzione all'interno della Norma EN 15804:2012+A1:2013. Le PCR descrivono quali fasi del ciclo di vita – Product stage, Construction stage, Use stage, End of life stage, più un modulo opzionale

Reuse-recovery (D) – devono essere considerate nella dichiarazione ambientale di prodotto e quali processi sono da includere.

Nello schema di Tabella 2 sono indicate le fasi obbligatorie e quelle opzionali, in base al limite del sistema preso in considerazione: l'analisi 'cradle to gate' valuta solo la fase del Product stage (A1-A3), che pertanto è obbligatoria; nell'analisi 'cradle to gate with options', la fase del Product stage (A1-A3) è obbligatoria mentre tutte le altre fasi sono opzionali; nell'analisi 'cradle to grave' sono obbligatorie tutte le fasi tranne la D) che è opzionale. È da rilevare comunque che se da un lato gli standard TC 350, attraverso la metodologia armonizzata attualmente proposta, forniscono un importante strumento per valutare le prestazioni ambientali e i costi del ciclo di vita degli edifici, dall'altro presentano diversi limiti con cui la ricerca e le politiche ambientali dei diversi Paesi dovranno confrontarsi nel prossimo futuro; infatti, natura volontaria dello strumento, accuratezza delle misurazioni e discrezionalità dei dati di alcune fasi, non consentono di fornire il reale consumo di energia dei materiali e dei componenti edilizi durante il loro intero ciclo di vita e, di conseguenza, non permettono di valutarne in modo univoco il relativo bilancio energetico generale.

*Terra cruda e sostenibilità* – Fra i materiali naturali che certamente possono essere impiegati in edilizia fornendo un valido contributo alla sostenibilità ambientale delle costruzioni, vi è la terra cruda, alternativa ecologica ed economica rispetto a materiali e processi produttivi decisamente più energivori: i mattoni in terra non richiedono una grande quantità di energia poiché, a differenza dei comuni laterizi, non hanno bisogno della fase di cottura, durante la quale viene emessa una considerevole quantità di CO<sub>2</sub>. Di contro questo materiale non presenta un'elevata resistenza meccanica e ciò non consente di utilizzarlo in maniera indiscriminata. La terra cruda ha ricevuto comunque negli ultimi anni una grande attenzione da parte della comunità scientifica, come testimonia l'incremento delle ricerche pubblicate, di cui oltre un centinaio su riviste Scopus (Pacheco-Torgal and Jalali, 2012). Se è vero che tale quantità rappresenta solo una piccola parte rispetto agli articoli pubblicati sul cemento Portland, è anche vero che essa è aumentata di almeno dieci volte rispetto agli articoli sulla terra cruda pubblicati negli anni '90.

Diversi studiosi hanno condotto ricerche che confrontano le emissioni di anidride carbonica di edifici realizzati in terra cruda con edifici realizzati con murature tradizionali, concludendo che l'energia incorporata utilizzata negli edifici in terra cruda è notevolmente inferiore rispetto a quella utilizzata per quelli in muratura tradizionale, così come sensibilmente più ridotte sono le relative emissioni di CO<sub>2</sub> (Morton et alii, 2005; Shukla et alii 2008). I dati forniti dall'Inventory of Carbon and Energy (Hammond and Jones, 2011), un database sui materiali da costruzione che riporta i relativi dati sulla embodied energy (MJ/kg) e quelli sull'emissione di CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/kg), ci dimostrano come la terra pressata abbia valori di 0,45 MJ/kg e di 0,023 kgCO<sub>2</sub>/kg notevolmente più bassi sia rispetto al cemento Portland (5,50 MJ/kg e 0,93 kgCO<sub>2</sub>/kg) sia alla calce (5,3 MJ/kg e 0,76 kgCO<sub>2</sub>/kg); i suddetti valori aumentano quando la terra pressata è stabilizzata con cemento nella percentua-

le del 5% (0,68 MJ/kg e 0,060 kgCO<sub>2</sub>/kg) o all'8% (0,83 MJ/kg e 0,082 kgCO<sub>2</sub>/kg).

*Architettura contemporanea in Terra* – La terra è un materiale da costruzione con una tradizione millenaria – lo dimostrano i resti delle fortificazioni greche di Capo Soprano a Gela in Sicilia del IV sec. a.C. (Fig. 1) o le città mediorientali interamente realizzate in terra, come Shibam nello Yemen (XVI sec.) nota anche come la Manhattan del Deserto (Fig. 2) – la quale, in virtù della sua versatilità, è in grado di porsi perfettamente in equilibrio con l'ambiente: la terra si presta a realizzazioni accessibili a qualsiasi organizzazione produttiva, dalla più semplice alla più complessa; inoltre è una risorsa facilmente reperibile nella gran parte dei contesti geografici e la varietà delle prestazioni ottenibili dalle diverse tecniche esecutive consente di produrre manufatti adatti a perseguire il risparmio energetico e il comfort in differenti contesti climatici (Sposito, 2013). Tra le caratteristiche della terra cruda si annoverano: l'elevata inerzia termica (per le sue proprietà igroscopiche); la capacità di mantenere costante, negli ambienti interni, un grado di umidità dell'aria intorno al 50%, evitando così livelli di umidità superiore al 70% responsabili della comparsa di muffe (Arundel et alii, 1986) o del proliferare di acari e malattie asmatiche (Howieson, 2005); le diverse proprietà di isolamento acustico (legate alla 'elasticità' del materiale), di abbattimento delle onde elettromagnetiche superiore a tutti gli altri materiali da costruzione (il 99% con spessori di soli 15 cm di terra), di purificazione dell'aria (grazie all'elevata porosità del materiale che assorbe il vapore acqueo) e di eliminazione dei fenomeni di condensa, soprattutto di quella interstiziale. Punti di debolezza sono l'elevata manutenibilità, l'effetto dell'acqua e la modesta resistenza meccanica.

Tra i prodotti più diffusi riconducibili alla terra cruda vi è sicuramente l'adobe, un mattone di terra cruda formato a mano, con stampo e senza compressione, e lasciato a seccare naturalmente; tra i più impiegati, soprattutto in epoca recente, vanno ricordati il blocco compresso, un mattone realizzato con l'ausilio di presse meccaniche per aumentare le caratteristiche di compressione, e il

blocco estruso, la cui esecuzione è simile a quella dei laterizi. Un'altra tecnica costruttiva molto diffusa è il pisé, che consiste nella formatura e compressione della terra in apposite casseforme: il materiale viene inserito in strati di circa 5-12 cm e battuto fino ad arrivare a strati di circa 80 cm. Le peculiarità della terra cruda se da un lato si prestano alla realizzazione di nuovi manufatti altamente sostenibili, grazie alle potenzialità plastiche e iconografiche del materiale, dall'altro risultano estremamente utili per interventi di integrazioni in costruzioni antiche in terra, eliminando quelle occasioni di incompatibilità – sia fisica sia identitaria – determinate dai materiali moderni. Per queste ragioni, alcuni progettisti contemporanei illuminati si sono cimentati nel riscoprire le caratteristiche di sostenibilità prediligendo la terra ad altri materiali caratterizzati da processi lineari di produzione e più energivori.

La terra cruda è stata impiegata in svariati tipi edilizi come musei, scuole, alberghi, ville, soprattutto in Paesi come l'Australia, il Canada, gli Stati Uniti o la Cina, dove esistono già da tempo regolamenti e norme per questo materiale da costruzione. Il centro culturale NK'MIP (Fig. 3) è stato realizzato in Canada, nella Columbia Britannica, in un'area di proprietà degli indiani Osoyoos, caratterizzata da un habitat unico nel panorama canadese. Al progetto iniziale, di Hotson Bakker Boniface Haden Architects + Urbanistes (HBBH), costituito da un edificio in cemento, è stato aggiunto un lungo muro in pisé – realizzato con terra locale, coloranti e una percentuale di cemento di poco superiore al 6% – per meglio integrarsi con l'ambiente circostante e soddisfare le esigenze della comunità indiana che stentava a riconoscersi nell'edificio in cemento. In contesti geografici caratterizzati da aree desertiche l'integrazione con il paesaggio circostante può essere realizzata soltanto con l'utilizzo di materiali naturali come la terra; in tal senso vanno lette la Dirt House del 1997 realizzata a Scottsdale, in Arizona, edificio residenziale a un unico livello, opera dell'architetto Neil Jones (Rael, 2008), la Palmer-Rose House a Tucson, in Arizona, che l'architetto Rick Joy ha progettato nel 2001 con muri in pisé – la stessa tecnica impiegata per l'ingresso al McDowell Sonoran Preserve – e

BUILDING LIFE CYCLE INFORMATION																Supplementary information beyond the building life cycle	
A1-3			A4-5		B1-7							C1-4			D		
Product stage			Construction process stage		Use stage							End of life stage			Benefit and loads beyond the system boundary		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse Recovery Recycling potential	
Scenarius			Scenarius							Scenarius							
Cradle to gate	M	M	M														M = Mandatory O = Inclusion Optional
Cradle to gate with options	M	M	M	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Cradle to grave	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	O

Tab. 2 - Information Forms for building products, adapted from EN 15804.

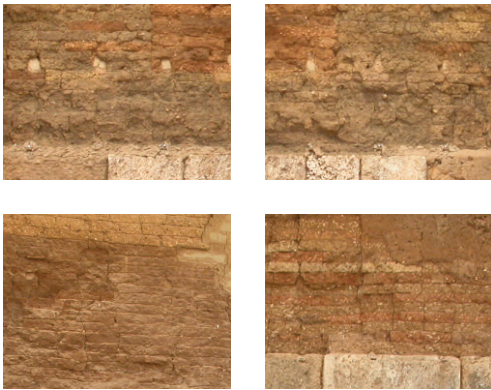


Fig. 1 - Rammed earth bricks of Capo Soprano (Gela, Italy) defensive walls of IV B.C. Century (credit: Scalisi, 2010).



Fig. 2 - The City of Shibam in Yemen of the 16th Century (credit: [www.scienze-ricerche.it/?p=2662](http://www.scienze-ricerche.it/?p=2662)).



Fig. 3 - The NK'MIP Cultural Centre in Canada (credit: [www.nknipdesert.com](http://www.nknipdesert.com)).



Fig. 4, 5 - The TarraWarra Museum of Art in Victoria, Australia (credits: [www.museumnetwork.sothebys.com/en/museums/tarrawarra-museum-of-art](http://www.museumnetwork.sothebys.com/en/museums/tarrawarra-museum-of-art)).

The TarraWarra Museum of Art (Figg. 4, 5) a Victoria, in Australia, interamente realizzato in terra nel 2004 su progetto dell'architetto Alan Powell. Più recente è il SanBaoPeng Art Museum (2017) a Jingdezheng in Cina, realizzato su progetto di DL Atelier, che impiega la terra cruda locale per perimetrare, con pareti lunghe 150 metri e alte 4 metri, lo spazio espositivo, richiamando con l'uso dell'argilla il materiale con cui sono realizzate le ceramiche esposte. I due setti longitudinali delimitano gli ambienti espositivi insieme a grandi vetrate trasversali e consentono alla nuova architettura d'integrarsi con discrezione in un contesto spiccatamente naturalistico (Fig. 6).

In Europa, Martin Rauch è considerato uno dei pionieri delle moderne tecniche per l'applicazione di tradizionali metodi di costruzione in terra. L'architetto austriaco ha realizzato un volume in argilla nella Chiesa della Conciliazione a Berlino (Figg. 7, 8), inaugurando nel 2000 la prima chiesa tedesca in argilla compressa (da 30 a 8 cm) con pareti spesse 60 centimetri e alte 7 metri. L'edificio sorge sulle rovine della vecchia Chiesa eretta nel 1894, caduta in rovina negli anni successivi alla costruzione del Muro di Berlino. Il nuovo progetto è composto da due corpi edilizi

ovali, collocati uno dentro l'altro ma con gli assi principali ruotati ortogonalmente: l'ovale esterno è realizzato in lamelle di legno mentre quello interno è in argilla compressa, mista a frammenti di pietra e di vetro provenienti dalle macerie della chiesa precedente. La sperimentazione in terra cruda iniziata da Martin Rauch nel 1994 con la realizzazione del proprio Atelier a Schlins, in Austria (Figg. 9, 10) – diventato un edificio di riferimento per gli operatori del settore – è proseguita con diversi fabbricati residenziali. L'Atelier, progettato con l'architetto Roger Boltshauser, è un edificio di tre livelli, realizzato in terra compressa stratificata con sottili fila di mattoni disposti a intervalli regolari, visibili nella facciata. Le pareti, i pavimenti e gli intonaci sono realizzati completamente con la terra dello sbancamento, risultato della volontà di costruire una casa esclusivamente con materiali sostenibili. La casa in terra ha una struttura monolitica che si presenta come un blocco scultoreo, una natura astratta e artificiale spinta verso l'alto dalla terra sottostante. Infine, è da citare il nuovo Ricola Kräuterzentrum a Laufren in Svizzera, realizzato su progetto di Herzog & de Meuron con la Lehm Ton Erde Baukunst GmbH (di Martin Rauch), manifesto bio/eco della nota

azienda produttrice di erbe aromatiche, attenta da sempre alla sostenibilità ambientale: l'involucro – realizzato con un composito a base di terra locale, inerti di tufo vulcanico provenienti da cave presenti nel raggio di 8 Km e calce – consente alla struttura di integrarsi con il paesaggio circostante e al contempo di mitigare il consumo energetico operativo, contribuendo a stabilizzare i livelli di temperatura e umidità necessari alla lavorazione delle erbe (Fig. 11).

*La stabilizzazione delle terre, fra ricerca e sperimentazione* – Le scarse caratteristiche meccaniche della terra cruda richiedono, ai fini di un suo impiego nei manufatti, che la stessa sia sottoposta a un processo di stabilizzazione che modifichi le proprietà fisico-chimiche e meccaniche del sistema terra-acqua affinché, attraverso l'aggiunta di altri materiali, se ne possano migliorare resistenza e/o altre proprietà per un impiego duraturo e compatibile per particolari applicazioni. La stabilizzazione della terra è un processo che ha antiche origini nella tradizione costruttiva in terra cruda, con aggiunte di fibre vegetali o animali (paglia, crine di cavallo), di sostanze collanti (caseina, sangue, sterco animale, albume d'uovo), di cementi, di calce o bi-

tumi (Danso et alii, 2015) e che si realizza con procedure di tipo meccanico, fisico e chimico (Houben and Guillaud, 1994): la prima prevede il compattamento della terra, azione che ne modifica la densità, la resistenza meccanica, la comprimibilità, la permeabilità e la porosità; la seconda è realizzata con miscele di granulometrie differenti e controllate per mezzo di specifici setacci; la terza, discussa nel presente contributo, consiste nell'aggiunta di altri materiali o prodotti chimici. La letteratura scientifica restituisce un quadro abbastanza esaustivo su quelle ricerche e sperimentazioni che, negli ultimi quindici anni, hanno previsto l'impiego di vari tipi di stabilizzanti (artificiali, naturali e misti) per il miglioramento delle prestazioni meccaniche della terra cruda.

Tra gli stabilizzanti artificiali, il cemento è sicuramente il materiale più utilizzato soprattutto per la correlazione proporzionale fra resistenza a compressione e suo dosaggio nell'impasto (Morel et alii, 2007): diverse in tal senso sono le sperimentazioni che hanno prodotto mattoni in terra cruda con resistenza alla compressione di 9,4 MPa (Walker and Stace, 1997), di 6,5 MPa (Bahar et alii, 2004), di 6,4 MPa (Millogo and Morel, 2012). Altro stabilizzante testato è la calce, con la quale si sono ottenuti mattoni in terra cruda dalla resistenza a compressione compresa tra 3,03 MPa (Burroughs, 2006) e 3,6 MPa (Millogo et alii, 2008). Se le citate sperimentazioni dimostrano che i due stabilizzanti artificiali migliorano sensibilmente le prestazioni a compressione della terra cruda (il cui impatto ambientale è irrilevante), è altrettanto condiviso che cemento e calce sono materiali tutt'altro che 'sostenibili' ed 'ecologici', dato che sono caratterizzati da un'elevata embodied energy. Questa presa di coscienza ha così guidato nuove sperimentazioni con l'obiettivo di determinare le percentuali massime di cemento e di calce utili a migliorare le prestazioni del nuovo impasto mitigandone al contempo l'impatto ambientale (Ciancio et alii, 2014). È stato quindi calcolato che la percentuale massima di cemento e di calce da utilizzare – con riferimento all'impatto energetico del calcestruzzo aerato autoclavato (AAC) che è uno dei materiali con il minor impatto ambientale fra quelli a base di cemento – è pari all'8% per il primo e al 7% per la seconda (Maskell et alii, 2014a). Invero, anche impiegando percentuali minori si possono ottenere prestazioni soddisfacenti: l'aggiunta del 5% di cemento determina infatti una resistenza alla compressione pari a 7,4 MPa, valore tutt'altro che irrisorio se confrontato con il 2,9 MPa di resistenza minima alla compressione in condizioni a secco (Maskell et alii, 2014).

Altri studi si sono invece concentrati sulla stabilizzazione della terra cruda con l'impiego di cemento o calce insieme a materiali di origine natu-

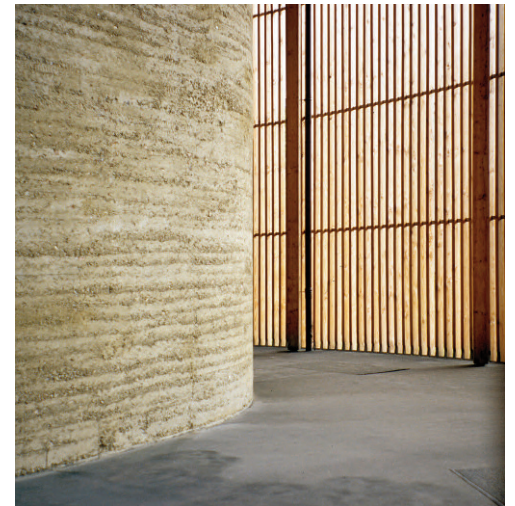


Fig. 6 - The SanBaoPeng Art Museum in Jingdezhen, China, designed by DL Atelier, 2017 (credit: www.archdaily.com).

Fig. 7, 8 - The Chapel of Reconciliation in Berlin by Martin Rauch (credits: Minke, 2000).

Fig. 9, 10 - The Atelier in Schlins, Austria, by Martin Rauch and Roger Boltshauser (credits: netzwerklehm.at/lehm bau/haus-rauch/).

Fig. 11 - The Ricola Kräuterzentrum in Laufen, Switzerland, designed by Herzog & de Meuron with Lehm Ton Erde Baukunst GmbH, 2014 (credit: Sun Haiting).



	[%]
SiO <sub>2</sub>	48.88
Na <sub>2</sub> O	1.33
K <sub>2</sub> O	0.56
MgO	5.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.8
MnO <sub>2</sub>	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.05
Organic matter	2.03
Cl	0.013
F	0.001

Tab. 3 - The chemical composition of the earth used in the experimentation.

	[%]
SiO <sub>2</sub>	92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04
TiO <sub>2</sub>	0.01
CaO	0.3
MgO	0.02
K <sub>2</sub> O	3.2
Na <sub>2</sub> O	0.2

Tab. 4 - The chemical composition of the sand used in the experimentation.

mm	[%]
>1.00<1.50	3
1.00 - 0.80	8
0.80 - 0.60	37
0.60 - 0.40	37
0.40 - 0.30	8
<0.30	5

Tab. 5 - Particle size of sand used in the experimentation.

Dimensions	30-70 nm diameter × 1-3 μm length
Pore size	1.26-1.34 mL/g pore volume
Surface area	64 m <sup>2</sup> /g
Capacity	8.0 meq/g cation exchange capacity
Density	2.53 (true specific gravity)
Formula	H <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub> · 2 H <sub>2</sub> O
Molecular Weight	294.19 g/mol
Form	nanopowder
Color	75-96 Hunter Brightness
Refractive index	n <sub>20/D</sub> 1.54

Tab. 6 - Characteristics of Halloysite Nanoclay.

rale come lo Sugarcanne Bagasse Ash (SBA), il residuo fibroso della canna da zucchero prodotto dopo l'estrazione del succo. SBA e cemento Portland ordinario, rispettivamente nelle percentuali



Fig. 12-14 - The materials used in the experimentation: Earth; Sand; Halloysite (credits: Scalisi and Sposito, 2017).

dell'8 e del 10 percento, riescono a fornire una resistenza a compressione pari a 5,85 MPa (James et alii, 2016). Altre sperimentazioni con lo Sugarcanne Bagasse Ash come stabilizzante sono quelle portate avanti da Sofia Lima (et alii, 2012), da Richard Onchiri (et alii, 2014), da Ramadhan Salim (et alii, 2014), da Anil Pratap Singh e Piyush Kumar (2015), e da Pakdee Khobklang (et alii, 2008). Un'altra interessante ricerca riguarda l'impiego di cemento e di calce con il metacaolino, legante pozzolanico 'naturale' e 'sostenibile' che si ottiene calcinando le argille caoliniche a una temperatura di circa 650°: i mattoni realizzati con l'aggiunta del 5% di calce e del 5% di metacaolino hanno raggiunto una resistenza a compressione pari a 6,96 MPa mentre campioni con le stesse percentuali di cemento e metacaolino forniscono valori di 3,73 MPa (Maskell et alii, 2015, 2016).

Infine, tra i diversi studi che hanno impiegato i soli stabilizzanti naturali, sollecitati da una ormai improcrastinabile sensibilità verso l'ecosistema e richiamando una pratica già consolidata sin dall'antichità, è da rilevare come molti di essi abbiano sperimentato additivi alternativi, rifiuti o sottoprodotti provenienti da vari settori industriali (Oti et alii, 2009; Tingle et alii, 2007). Esempi di rilievo sono le diverse stabilizzazioni con fibre di Hibiscus cannabinus – resistenza a compressione pari a 2,9 MPa (Millogo et alii, 2014), con scarti di lavorazione del tè – resistenza a compressione di 7,6 MPa (Demir, 2006), con scarti dei frutti delle palme da olio – resistenza a compressione di 10,65 MPa (Ismail and Yaacob, 2011), con bucce di manioca – resistenza a compressione di 2,15 MPa (Villamizar et alii, 2012). È inoltre da segnalare uno studio che ha sperimentato l'impiego di alginato (un polimero naturale estratto dalle alghe marine) e la lana di pecora per stabilizzare i terreni e per produrre un materiale da costruzione composto, sostenibile, non tossico e di provenienza locale (Galán-Marín et alii, 2010). I test hanno dimostrato che se l'aggiunta di alginato nell'impasto aumenta la resistenza a compressione a 3,77 MPa e quella della lana aumenta la resistenza a compressione a 3,05 MPa, il loro uso congiunto migliora in modo significativo la resistenza fino a 4,44 MPa, valore simile a quello ottenuto con il 10% di cemento Portland e maggiore di quello ottenuto con le più alte percentuali di calce (3,6 MPa).

La nuova sperimentazione su terra con nanotubi di argilla – All'interno del riportato scientifico-sperimentale, il presente contributo illustra le attività di sperimentazione su terra cruda e nanotecnologie eseguite dagli Autori all'interno del Dipartimento di Architettura della Scuola Politecnica di Palermo nel biennio 2017-2018. La ricerca

sperimentale è stata condotta con l'obiettivo di migliorare le prestazioni dei mattoni in terra cruda tramite l'apporto delle nanotecnologie, realizzando un 'nuovo materiale' con ridotta energia incorporata e modeste quantità di emissioni di anidride carbonica in atmosfera. Nello specifico, le prestazioni analizzate sono quelle legate alla resistenza a compressione che ne ampliano il settore di impiego come materiale in edilizia.

Materiali, metodologia e fasi operative – La terra cruda è un materiale composito naturale che deriva dalla combinazione di più materiali (argilla, sabbia, ecc.) le cui caratteristiche possono essere migliorate – attraverso un processo di stabilizzazione – con l'aggiunta di altri materiali. Nel caso specifico, all'impasto costituito da terra (Fig. 12), sabbia (Fig. 13) e acqua si è scelto di aggiungere l'Halloysite (Fig. 14), un nanotubo di argilla, soluzione validata dalla natura bio-based che il materiale nanostrutturato garantisce e dalle potenzialità prestazionali che in generale la nanotecnologia fornisce al settore edilizio (Scalisi, 2010).

Per i materiali presenti nell'impasto, si precisa che: a) la terra e la sabbia sono stati forniti dalla ditta Guglielmino di Misterbianco (CT) e provengono dalla cava denominata Roccasielei-Guglielmino Group, ubicata nel Comune di Motta S. Anastasia (CT); b) la composizione chimica della terra è riportata nella Tabella 3; c) la composizione chimica e la granulometria della sabbia sono indicate rispettivamente nelle Tabelle 4 e 5; d) l'Halloysite Nanoclay utilizzata per la presente sperimentazione, le cui caratteristiche sono dichiarate nella Tabella 6, è prodotta dalla Applied Minerals Inc. ed è disponibile presso la Sigma-Aldrich. L'Halloysite è un nanotubo di argilla con un diametro generalmente inferiore a 100 nanometri e con lunghezze che variano da circa 500 nanometri a oltre 1,2 micron; essa è chimicamente simile alla caolinite (Yuan et alii, 2015) e presenta una struttura tubolare prevalentemente cava a doppio strato di alluminio, silicio, idrogeno e ossigeno. Materiale poco costoso, facilmente reperibile e non tossico con un'elevata resistenza meccanica (Farzadina et alii, 2013), l'Halloysite – insieme ai nanocompositi e alle polveri nanometriche – rientra in quel settore della 'nanotecnologia verde' che mira a sviluppare prodotti sicuri e meno nocivi per l'ambiente (Kamble et alii, 2012; Nasrollahzadeh et alii, 2019). I nanotubi di Halloysite trovano numerose applicazioni commerciali come additivi in polimeri e plastica, componenti elettronici, veicoli per la somministrazione di farmaci, cosmetici e prodotti per la casa (Lvov et alii, 2008; Zhang et alii, 2016; Lazzara et alii, 2018), essendo materiali inorganici di rinforzo. In generale, l'aggiunta

del 5% di Halloysite aumenta sinergicamente la forza del polimero del 30-70% e migliora l'adesività composita (Lvov and Elshad, 2013).

I diversi materiali (47% di terra, 30% di sabbia e 2% di Halloysite) sono stati miscelati a secco per poi essere impastati con l'aggiunta di acqua nella misura del 21% del peso (Fig. 15). Per la realizzazione dei campioni, si è seguita la procedura consolidata impiegata per l'adobe: il mattone di terra cruda è stato formato a mano, entro stampi in acciaio delle dimensioni di 50x50x50 mm, senza compressione meccanica ma riempiendo completamente le cavità e rimuovendo il materiale in eccesso. Ruotata la forma ed estratto il blocco, gli elementi ottenuti sono stati posizionati su di un ripiano in luogo asciutto e ventilato per poter permettere l'essiccazione (Figg. 16-18); dopo un paio di giorni si presentavano sufficientemente solidi per poter essere girati e continuare così l'essiccamento, la cui durata è stata di 28 giorni. Nella preparazione dei provini, si sono rese necessarie due prove, prima di quella definitiva, per determinare la percentuale di Halloysite da inserire nell'impasto: la prima con una percentuale di Halloysite del 5%, la seconda con una percentuale del 3%. Entrambi gli impasti sono risultati eccessivamente fluidi, indipendente dalla quantità di acqua utilizzata, richiedendo una diminuzione della percentuale di Halloysite fino ad arrivare al 2% utilizzato per la produzione dei provini finali. I provini così ottenuti sono stati sottoposti alle prove di compressione (Figg. 19, 20). In assenza di normative specifiche sui prodotti in terra cruda, si è utilizzata la Norma UNI EN 772-1:2011 'Metodi di prova per elementi per muratura - Parte 1: Determinazione della resistenza a compressione', utilizzata anche in altre sperimentazioni su questo materiale (Maskell et alii, 2014); nel nostro caso tale Norma è stata presa come riferimento delle metodologie di prova con modifiche che riguardano il 'condizionamento dei provini per le prove di compressione'.

Preliminarmente all'esecuzione delle prove di resistenza a compressione, si è proceduto alla preparazione dei provini mediante le operazioni di taglio e di rettifica e al condizionamento degli stessi alla temperatura di  $20 \pm 2$  °C e all'umidità relativa di  $65 \pm 5\%$ , fino a massa costante. Inoltre è stato determinato il peso di volume di alcuni frammenti di provino (n. 2 determinazioni per serie di campioni) mediante il metodo della pesata idrostatica (Norma di riferimento C.N.R. - B.U. n. 40), non essendo attendibile, vista l'irregolarità dei provini, il calcolo con metodo geometrico (Tab. 7).



**Risultati, discussione e sviluppi futuri** – I provini sottoposti alla prova di compressione sono n. 6, contrassegnati con le sigle C1, C2, C3, C4, C5 e C6 (Figg. 21-26). I risultati della prova sui singoli campioni sono riportati nella Tabella 8 che mostra una resistenza media a compressione 'a secco' pari a 3,4 MPa. Si tratta di un risultato apprezzabile, considerando che in questo nuovo prodotto non sono stati utilizzati stabilizzanti come cemento o calce e che la resistenza minima alla compressione in condizioni a secco viene ritenuta pari a 2,9 MPa (Maskell et alii, 2014). Il valore ottenuto è più basso di quello del mattone realizzato con alginato e lana di pecora che fornisce una resistenza a compressione di 4,4 MPa (Galán-Marín et alii, 2010) o del mattone realizzato con il 5% di cemento e il 5% di metacaolino la cui resistenza a compressione è pari a 3,73 MPa (Maskell et alii, 2015, 2016). Ma occorre fare in merito delle considerazioni: a) in entrambi i casi si tratta di impasti che utilizzano processi di formazione più energivori come la compattazione meccanica (nel caso dell'impasto con alginato e lana) o l'estrusione (nel caso dell'impasto con metacaolino e cemento); b) i mattoni realizzati con compattazione meccanica e quelli estrusi forniscono, anche senza la presenza di stabilizzanti, una resistenza maggiore rispetto all'adobe; c) nel secondo caso, la resistenza a compressione è sì più alta ma di poco – 3,4 contro 3,7 MPa – pur trattandosi di un mattone estruso con la presenza nell'impasto del 5% di cemento.

La ricerca condotta presenta quindi interessanti margini di miglioramento, innanzitutto con l'introduzione della compressione meccanica, in considerazione del fatto che pensando all'impiego della terra cruda nell'attualità appare poco realisti-

ca una formazione del mattone a mano: l'introduzione di mezzi meccanici nella produzione, sebbene ne incrementi l'embodied energy (che rimane comunque inferiore rispetto a quella di altri materiali), migliora sia le prestazioni meccaniche sia il ciclo produttivo della terra cruda. Inoltre, data la fragilità del materiale in condizioni di umidità, sarà necessario verificare che la resistenza a compressione in condizioni di 'umido' non sia inferiore a 1 MPa, valore risultante dalle prove condotte da Maskell (et alii, 2014). Infine, poiché l'Halloysite utilizzata nella presente sperimentazione è un prodotto già in commercio, data la forma tubolare del materiale, possibili sviluppi della ricerca – in un'ottica multidisciplinare – potranno riguardare interventi volti a caricare i nanotubi di argilla in laboratorio, ad esempio con biopolimeri, e quindi utilizzare nell'impasto i nanotubi modificati.

**Conclusioni** – Se la questione ambientale è una priorità ineludibile, allora è di tutta evidenza che il rapporto fra progetto e materia deve riconquistare, pur nella complessità del quadro esigenziale che la contemporaneità richiede, una nuova centralità, soprattutto in considerazione agli aspetti ambientali nel ciclo di vita. In tal senso è determinante la figura dell'architetto-tecnologo come operatore qualificato che, riappropriandosi di un sapere 'materico' spesso dimenticato, sia capace di governare il progetto con la consapevolezza della dimensione materiale e produttiva dei processi, presidiando in maniera intelligente e 'laica' le tecnologie e svolgendo in modo incisivo il proprio ruolo culturale e professionale: «[...] un progettista in grado di dialogare con gli specialisti (senza essere tale), di tradurre opzioni figurative, configurazioni spaziali ed esigenze in puntuali specifiche tecniche e in dispositivi coerenti, efficienti e sostenibili, senza perdere uno sguardo d'insieme sul progetto di architettura come sintesi colta di saperi eclettici e complementari» (Antonini et alii, 2018, p. 17).

Nell'ultimo ventennio, le dinamiche industriali e commerciali dell'innovazione tecnologica spinte dalle esigenze imposte dalla stringente questione ambientale hanno condizionato materiali, tecniche e tecnologie costruttive scardinando prassi consolidate che, a fronte di ridotte emissioni, contenimento dei consumi energetici operativi e prodotti di impronta ecologica, ci hanno restituito manufatti spesso privi di identità «[...] con un valore che è più segnaletico che stilistico, [...] 'edifici-simbolo' con due essenziali componenti: quella di essere 'segnali' nella confusione urbanistica che li circonda, ma



Fig. 15 - Mixture of earth, sand, Halloysite and water (credit: Scalisi and Sposito, 2017).

Figg. 16-18 - Samples during drying stage (credits: Scalisi and Sposito, 2017).

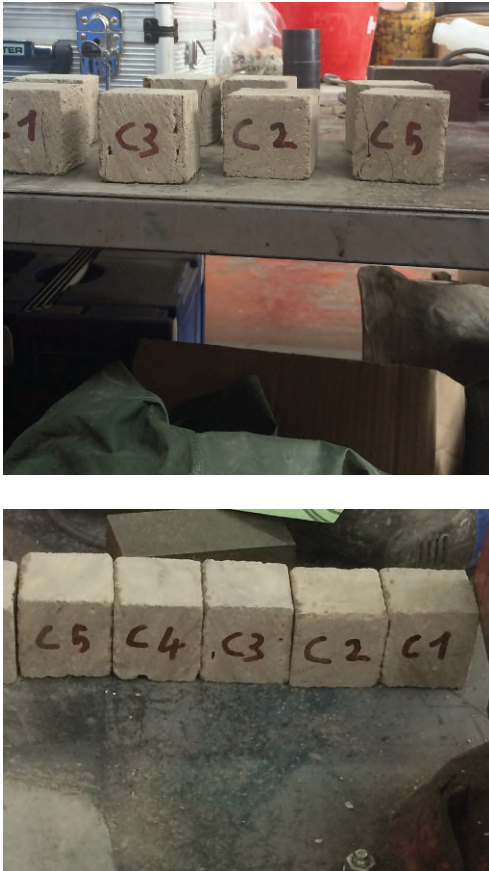


Fig. 19, 20 - The samples ready for compressive strength tests (credits: Scalisi and Sposito, 2017).

anche quella di sostituire i ‘modesti’ monumenti del passato» (Dorfles, 2007, p. 8). Le ricerche attivate in questi anni sulla terra cruda rispondono in tal senso alla duplice richiesta da un lato di valutare e progettare materiali bio-based non solo da un punto di vista delle prestazioni tecniche ma soprattutto rispetto alle prestazioni ambientali, ottimizzando risorse e processi di produzione al fine di ridurre le fasi più onerose dal punto di vista energetico, dall’altro di far recuperare all’architettura un carattere identitario attraverso coerenza, riconoscibilità del linguaggio e relazione con i luoghi.

La resistenza culturale verso questo materiale è parte di quei 12 ostacoli all’adozione di forme di costruzione sostenibili che Amr Sourani e Muhammad Sohail (2011) hanno sapientemente individuato. Non sappiamo quanto la sperimentazione illustrata possa contribuire a far superare i pregiudizi su questo materiale certamente povero ma sostenibile e dalle prestazioni potenziabili con l’ausilio delle ‘nanotecnologie verdi’, ma siamo certi che se è necessaria, oggi più che mai, un’inversione radicale di rotta nel comportamento degli operatori del settore edilizio (Francese, 2014), non altrettanto rimandabili sono approfondimenti su strumenti normativi, incentivi e strumenti di finanziamento, formazione e sviluppo di capacità, cambiamenti nei comportamenti e nelle pratiche sociali degli utenti per le quali il dialogo di facilitazione promosso dalle Nazioni Unite con la Talanoa Dialogue Platform e la United Nations Framework Convention on Climate Change nel 2018 – e la relativa revisione collettiva formale prevista nel 2023 – possono costituire un buon volano, colmando il divario fra le ambizioni climatiche e le attuali politiche nel settore delle costruzioni.

#### ENGLISH

*Energy and Environment are two major subjects to which architecture and building started to be confronted with over the last twenty years, as the building sector is responsible for 36% of global energy consumption and 39% of CO<sub>2</sub> emissions (UN Environment, 2018; Graph 1). Despite the global economic crisis of the last decade, the building industry area has been growing at an unprecedented rate and will keep growing in the next 40 years, building around 230 billion square metres every year, 52 times the area of the city of Paris. This is the premise of the important Global Status Report 2017 of the United Nations (UN Environment, 2017) which then continues with data on the growth of energy use in buildings, which rose from 119 EJ in 2010 to 125 EJ in 2017 (Graph 2). Then it deals with the data on fossil fuels – that has stayed stable in the same time span at around 45 EJ – and with those on carbon emissions, increased from 3.1 Gigatonnes (Gt) of CO<sub>2</sub> in 2010 to around 3.7 Gt of CO<sub>2</sub> in 2017. And if the energy efficiency of buildings in recent years has steadily improved at an average rate of 1.5% per year, the final energy demand has increased by 5 EJ while the built area has grown of about 2.3% per year, neutralizing the efforts of the building industry to contrast global warming (IEA, 2017). In the next twenty years, it is estimated that over half of the new buildings planned for 2060 will be built, two thirds of them in Asia and Africa, specifically in Countries that do not have mandatory energy codes and building regulations (IEA 2017; Graph 3).*

*The Climate Change Conference held in Paris in December 2015 resulted in the Paris Agreement, signed by the 193 countries. On the occasion were collected 132 papers (NDC) explicitly mentioning the building industry (Tab. 1). 104 documents report the opportunities given by the energy efficiency to achieve mitigation goals; 51 countries declare to be committed to using renewable sources to power buildings and to support the implementation of low-carbon emissions activities. None of the participants mentions technologies, certifications or standards/codes on energy performance for buildings (European Commission, 2016). The document produced by the Global Alliance for Buildings and Construction (UN Environment, 2017) is more ‘operational’. Among its priorities for action it identifies the reduction of the embodied energy and operational energy that contribute to the calculation of the total energy used by the building (Barucco et alii, 2016; Gonzalez and Navarro, 2006; Treloar et alii, 2001). The embodied energy take into account the whole life cycle of the material and it is established through a cradle-to-grave analysis – it includes the energy necessary to extract raw materials, their processing and transportation, and also the energy to regular maintenance and ultimate disposal of the artifact (Dixit et alii, 2010; Verbeeck and Hens, 2010). The operational energy refers to the quantity of energy used during the operation of buildings to heating, cooling, ventilation, production of domestic hot water and illumination (Koskela, 1992).*

*If we analyse the estimations on the global consumption of materials and we consider that their use has increased by eight times in the last century up to 60 billion tons a year (Krausmann*

*et alii, 2009), of which about 40 % is used by the building industry (Kulatunga et alii, 2006), then we have to agree on the principle that the environmental issue should require the project to identify «solutions able to drastically reduce the consumption of resources and the production of impacts, with a new attention to the performances of materials and the hiring of the life cycle time horizon» (Campioli et alii, 2018, p. 86).*

*On the basis of the above premise, it is clear that the relationship between Project and Matter must have a more central role in the environmental subject and, with the consolidated support of the cultural and scientific tradition of Architectural Technology (Lucarelli, 2018), it must develop in-depth studies and research on the study of natural, renewable materials with reduced embodied energy and operational energy «[...] without any media exhibition of the innovation, nor renouncing to use materials as a vehicle – and, together, as content – of the quality of space and architecture» (Antonini et alii, 2017, p. 1). Within this cultural and scientific scenario outlined below, also supported by examples of contemporary rammed earth architecture in which the material has a structural function, this paper shows the results of an experimentation that aims to improve the performance of compressive strength of rammed earth with the contribution of nanotechnologies, developing a ‘new material’ with a reduced embodied energy and a reduced amount of CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. A material able to limit the environmental issue and foster and encourage the re-appropriation and reuse of a traditional construction technology, both for the recovery/restoration of existing buildings and for the construction of new buildings with adequate dimensions, uses and climatic conditions or where to look for materials-plastic solutions to qualify the architecture.*

*Embodied Energy vs Operational Energy – The set of data mentioned feeds the concern for the environmental impact of materials, and, on the one hand, it clarifies the reason why adjectives such as ‘green’, ‘bio’, ‘sustainable’ or ‘ecological’ have become very popular in the building industry. But on the other, it does not explain why, as Fernando Pacheco-Torgal (2014) points out, the first studies on the LCA analysis of Portland cement – one of the most widely used building materials in the world, whose production is well over that of bricks, steel and wood together (Flatt et alii, 2012) – dates back only to 2012 (Van den Heede and De Belie, 2012; Habert et alii, 2012). In accordance with the regulation guidelines of the Energy Performance Building Directive 31/2010 (European Parliament and Council of the European Union, 2010) – recently updated with the European Directive 2018/844 (European Parliament and Council of the European Union, 2018) – the building industry has started creating and implementing high energy efficiency solutions and high-performance materials and components, promoting the construction of buildings classified as nearly Zero Energy Buildings (nZEB). The building industry has, however, neglected that in their production there is often an increase in embodied energy, justifiable only by a significant reduction in energy during the building’s operation phase – from a positive balance between embodied energy and operational energy*

(Hammond, 2007; Sartori and Hestnes, 2007; Ibn-Mohammed et alii, 2013; Jia and Crabtree, 2015; Copiello, 2017).

Several studies question the possibility that the production of these high-performance materials can be balanced out by the decrease in energy required for the operational stage, since the embodied energy might represent almost half of the total energy used in a building life cycle and, sometimes, it exceeds operational energy (Crawford et alii, 2016). Greek researchers Panagiotis Chastas, Theodoros Theodosiou, Dimitrios Bikas and Karolos Kontoleon (2017) have examined the scientific literature on 90 residential buildings, deducing that, within their life cycle, in conventional artifacts the embodied energy accounts for a variable percentage between 6% and 20%, in the 'passive' ones for a percentage between 11% and 33%, in 'low energy consumption' buildings it fluctuates between 26% and 57%, while in nZEB between 74% and 100%. In Italy, we point out the LCA study on a PassivHaus in Umbria which, excluding the contribution from renewable sources from the calculation, shows higher values for the envelope and plants, which are between 48% and 61% (Proietti et alii, 2013).

In this perspective, it is clear that the search for efficiency only in the operational stage can be counterproductive for total energy consumption, because it does not guarantee sufficient benefits in terms of environmental sustainability of the artifact (Langston and Langston, 2008). On the contrary, the use of materials and traditional and more sustainable building techniques can make an important contribution to the eco-efficiency of the building industry (Pacheco-Torgal and Jalali, 2012), resulting in a 17% reduction in energy used in building (Miller, 2001) and cutting down CO<sub>2</sub> emissions by 30% (Crowther, 1999). The selection of building sustainable materials should not be focused only on technical performances, but mostly on the environmental impact and health/well-being of users (Ip and Miller, 2012; Ding, 2014).

Since the most commonly used building materials – cement, steel and aluminium – are energy-intensive and contribute significantly to the emissions of CO<sub>2</sub> into the atmosphere, during the production process (Akbarnezhad and Xiao, 2017), research on new 'low energy' materials, on their production method and recycling possibilities have become extremely important. A fundamental tool for assessing the environmental impacts of materials is the EPD – Environmental Product Declaration or Type III Environmental Label (Minkov et alii, 2015), which provides quantified environmental data using predetermined parameters and, if necessary, additional environmental information based on the ISO 14025 standard (2006). The EPD is a technical document, verified by a certification body, which accompanies the sale of the product and contains quantitative information based on the LCA method, as defined by the ISO 14040 Standard (2006). The CEN TC350 Committee – Sustainability of construction works (De Wolf et alii, 2017) – has outlined the Product Category Rules (PCR) for EPD of building materials in compli-

ance with the EN 15804:2012+A1:2013 standard. The PCR describes the life cycle stages – Product stage, Construction stage, Use stage, End of life stage, and an optional module Reuse-recovery (D) – that have to be considered in the environmental product declaration and which processes should be included.

In the Table 2 the mandatory and optional stages are listed, according to the system limit considered: the 'cradle to gate' analysis evaluates only the Product stage (A1-A3), which is therefore mandatory; in the 'cradle to gate with options' analysis, the Product stage (A1-A3) is mandatory while all other phases are optional; in the 'cradle to grave' analysis all phases are mandatory except 'D' which is optional. It should be noted, however, that while, on the one hand, the TC 350 standards, through the harmonized methodology currently proposed, provide an important tool for assessing the environmental performance and costs of the life cycle of buildings, on the other they have many limits which research and environmental policies of the different countries will have to face in the near future. In fact, the instrument's voluntary nature, accuracy of the measurements and the discretion of the data of some stages, do not allow to supply the real energy consumption of the materials and building components during their entire life cycle and, therefore, do not allow to uniquely evaluate their general energy balance.

**Rammed Earth and Sustainability** – Among the natural materials that can certainly be used in the building industry, providing a valid contribution to the environmental sustainability of buildings, there is rammed earth: an ecological and economic alternative to materials and production processes that are much more energy-intensive. Mud bricks do not require a large amount of energy since, unlike common bricks, they do not need cooking, when considerable quantity of CO<sub>2</sub> is emitted. Conversely, this material does not have a high mechanical strength and can't be used indiscriminately. However, in recent years, rammed earth has received great attention from the scientific community, as shown by the increase of published research, of which over a hundred in Scopus magazines (Pacheco-Torgal and Jalali, 2012). It is true that this quantity is only a small part compared to the articles published on Portland cement, but it has increased at least ten times compared to the articles on rammed earth published in the 1990s.

Several scholars have carried out research that compares the carbon dioxide emissions of buildings made with rammed earth with buildings

made with traditional masonry, concluding that the embodied energy used in rammed earth buildings is considerably lower than that energy for traditional masonry buildings, as well as their CO<sub>2</sub> emissions are significantly lower (Morton et alii, 2005; Shukla et alii 2008). The data provided by the Inventory of Carbon and Energy (Hammond and Jones, 2011) – a database on building materials showing data on embodied energy (MJ/kg) and CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/kg) emissions – shows that the soil has values of 0.45 MJ/kg and 0.023 kgCO<sub>2</sub>/kg significantly lower than both Portland cement (5.50 MJ/kg and 0.93 kgCO<sub>2</sub>/kg) and lime (5.3 MJ/kg and 0.76 kgCO<sub>2</sub>/kg). These values increase when compressed earth is stabilized with 5% (0.68 MJ/kg and 0.060 kgCO<sub>2</sub>/kg) or 8% (0.83 MJ/kg and 0.082 kgCO<sub>2</sub>/kg) cement.

**Contemporary Architecture with Soil** – Soil is a building material with a thousand-year-old tradition – as the remains of the Greek fortification of Capo Soprano in Gela, Sicily, of 4th century B.C. show (Fig. 1). It is also shown by Middle Eastern cities entirely built with soil as Shibam in Yemen (16th century) also known as the Manhattan of the Desert (Fig. 2); by virtue of its versatility, this city is able to be in perfect balance with the environment: the earth lends itself to results accessible to any productive organization, from the simplest to the most complex. Moreover, it is an easily available resource in most geographical areas and the variety of the performances achievable through different executive techniques allows to produce artifacts suitable to pursue energy saving and comfort in different climatic contexts (Sposito, 2013). The characteristics of rammed earth include: high thermal inertia (due to its hygroscopic properties); the ability to maintain a constant humidity level of about 50% in indoor environments, thus avoiding humidity levels higher than 70%, responsible for mould (Arundel et alii, 1986) or the proliferation of mites and asthmatic diseases (Howieson, 2005); the different properties of acoustic insulation (linked to the 'elasticity' of the material), of electromagnetic wave reduction higher than all other construction materials (thickness of only 15 cm with soil around 99%), of air purification (thanks to the high porosity of the material that absorbs water vapour) and to eliminate condensation phenomena, especially interstitial condensation. The high maintainability, the effect of water and the compressive strength are its weaknesses.

Among the most widespread products attributable to rammed earth there is certainly adobe, a hand-compacted brick, with a mould and without compression, and left to dry naturally.

	Sample 1	Sample 2
Weight of sample	[g] 576.32	576.03
Weight in air of sample in paraffin	[g] 613.62	603.77
Weight of paraffin	[g] 37.30	27.74
Bulk weight of paraffin	[g/cm <sup>3</sup> ] 0.90	0.90
Volume of paraffin	[cm <sup>3</sup> ] 41.52	30.88
Net weight in water of sample in paraffin	[g] 294.32	293.42
Effective volume	[dm <sup>3</sup> ] 277.78	279.47
Density	[g/cm <sup>3</sup> ] 2.07	2.06
<b>Mean density</b>	<b>[g/cm<sup>3</sup>] 2.07</b>	

Tab. 7 - Bulk Weight of Samples.



Fig. 21-26 - The samples during compressive strength tests (credits: Scalisi and Sposito, 2017).

Samples	Dimensions			Section (axb) [mm <sup>2</sup> ]	Mass [gr]	Tensile Strength [N]	Compressive strength [MPa]
	a [mm]	b [mm]	c [mm]				
C1	50.8	50.7	50.8	2576.1	266	8439	3.3
C2	50.4	51.1	51.0	2571.4	268	8550	3.3
C3	50.0	50.4	51.9	2518.0	262	9309	3.7
C4	51.4	51.6	51.5	2651.7	277	9081	3.4
C5	51.0	51.4	51.4	2621.4	270	8712	3.3
C6	51.0	51.3	51.5	2616.3	273	10245	3.9
<b>Average compressive strength 3.4 Mpa   difference 0.3   coefficient of variation 8.0%</b>							

Tab. 8 - The results of compressive strength tests.

Among the most used, especially in recent times, we should mention the compressed block, a brick made with the aid of mechanical presses to increase the compression characteristics, and the extruded block, whose creation is similar to that of bricks. Another widespread construction technique is the pisé, which consists in moulding and compressing the soil in special formworks: the material is placed in layers of 5-12 cm and trod until it reaches layers of about 80 cm. The peculiarities of rammed earth, on the one hand, lend themselves to the creation of new highly sustainable artifacts, thanks to the plastic and iconographic potential of the material. On the other, they are extremely useful for interventions of integration in ancient soil buildings, eliminating any incompatibility – both physical and on identity – caused by modern materials. For these reasons,

some contemporary enlightened designers have ventured into rediscovering the sustainability characteristics of rammed earth by preferring the soil to other materials having line and more energy-consuming production processes.

Rammed earth has been used in many building types such as museums, schools, hotels, villas, especially in countries such as Australia, Canada or the United States, where regulations and standards for this building material exist since a long time. The NK'MIP Cultural Centre (Fig. 3) has been made in Canada, British Columbia, in an area belonging to Osoyoos Indians, marked by a peculiar habitat of the Canadian scenario. To the initial projects, by Hotson Bakker Boniface Haden Architects + Urbanistes (HBBH), made up of a cement building, a pisé wall has been added. It was made with local soil, colouring and a per-

centage of cement of just over 6% – to better integrate with the surrounding environment and meet the needs of the Indian community that struggled to identify with concrete buildings. In geographical contexts characterized by desert areas, integration with the surrounding landscape can only be achieved through the use of natural materials such as soil. The following examples should be seen in this perspective: the 1997 Dirt House in Scottsdale, Arizona, a one-story residential building by architect Neil Jones (Rael, 2008), the Palmer-Rose House in Tucson, Arizona, designed by the architect Rick Joy in 2001 with pisé walls – the same technique used for the hall at the McDowell Sonoran Preserve – and The TarraWarra Museum of Art (Fig. 4, 5) in Victoria, Australia, entirely made in soil in 2004 by architect Alan Powell. SanBaoPeng Art Museum (2017) in Jingdezhen, China, is more recent. A project by DL Atelier, that uses local rammed earth to delimit with 150 m long and 4 m high partitions, the exhibition space, recalling, through the use of clay, the material with which the exposed ceramics are made. The two longitudinal partitions delimit the exhibition areas together with large transversal windows and allow the new architecture to integrate with discretion in a markedly naturalistic setting (Fig. 6).

In Europe, Martin Rauch is considered one of the pioneers of the modern techniques to apply traditional methods of building with soil. The Austrian architect has made a clay volume in the Chapel of Reconciliation in Berlin (Fig. 7, 8), inaugurating the first German Church in compressed clay (from 30 to 8 cm) with walls 60 cm thick and 7 metres high. The building is situated on the ruins of the old Church built in 1894, fallen into ruin after the construction of the Berlin Wall. The new project is made up by two elliptical buildings, placed one inside the other but with the main axes rotated orthogonally: the external oval is made of wooden plates while the inner one is made of compressed clay, mixed with fragments of stone and glass from the rubble of the previous church. The experimentation with rammed earth started by Martin Rauch in 1994 with the creation of his Atelier in Schlins, Austria (Fig. 9, 10) – which became a reference building for the professionals – and continued with several residential buildings. The Atelier, designed with the architect Roger Boltshauser, is a three-story building, made in compressed earth stratified with thin rows of bricks arranged in regular intervals, visible in the façade. The walls, the floors and the plasters are made entirely with the soil of earthworks, the result of the will to build a house only with sustainable materials. The soil house has a monolithic structure that looks like a sculpture block, abstract and artificial nature pushed upwards by the earth below. Finally, it is worth mentioning the new Ricola Kräuterzentrum in Laufren, Switzerland, a project by Herzog & de Meuron with the Lehm Ton Erde Baukunst GmbH (of Martin Rauch), bio/green manifesto of the well-known company producing aromatic herbs, that has always cared about environmental sustainability. The envelope – made with a mix with local soil, volcanic tuff aggregates from quarries within 8 km and lime – allows to integrate the structure with the surrounding landscape and, at the same time, to mitigate the operational energy consumption, helping to

stabilize the temperature and humidity levels necessary for processing the herbs (Fig. 11).

The Stabilization of Soil, Between Research and Experimentation – The scarce mechanical characteristics of rammed earth require, in order to be used in the artifacts, to subject it to a stabilization process that modifies the physico-chemical and mechanical properties of the earth-water system so that, by adding other materials, their strength and/or other properties can be improved for a long-lasting and compatible use for specific uses. The stabilization process of the soil has ancient origins in the building with rammed earth tradition, by adding vegetable or animal fibres (straw, horsehair), glue substances (casein, blood, animal dung, egg whites), cements, lime or bitumen (Danson et alii, 2015) made with mechanical, physical and chemical procedures (Houben and Guillaud, 1994). The first one involves the compacting of the earth, an action that modifies its density, mechanical strength, compressibility, permeability and porosity; the second one is performed with mixtures of different grain sizes and controlled by specific sieves; the third one, discussed in this paper, is the addition of other materials or chemical products. The scientific literature gives a fairly thorough picture of the researches and experiments that, in the last fifteen years, have provided for the use of different types of stabilizers (artificial, natural and mixed) to improve the mechanical performance of rammed earth.

Among the artificial stabilizers, cement is definitely the most used mostly for the proportional correlation between compressive strength and its dose in the mix (Morel et alii, 2007): the experiments that have produced rammed earth bricks with compressive strength of 9.4 MPa (Walker and Stace, 1997), of 6.5 MPa (Bahar et alii, 2004), of 6.4 MPa (Millogo and Morel, 2012) are different. Another tested stabilizer is lime, with which rammed earth bricks have been created, having a compressive strength between 3.03 MPa (Burrighs, 2006) and 3.6 MPa (Millogo et alii, 2008). If the aforementioned experiments show that the two artificial stabilizers significantly improve the compression performances of rammed earth (whose environmental impact is irrelevant), it is also common opinion that cement and lime are anything but 'sustainable' and 'ecological' materials, since they have a high embodied energy. Therefore, this awareness has driven new experiments with the aim of determining the maximum percentages of cement and lime useful for improving the performance of the new mix at the same time mitigating its environmental impact (Ciancio et alii, 2014). Therefore, it was calculated that the maximum percentage of cement and lime to use – with reference to the energy impact of autoclaved aerated concrete (AAC) which is one of the lowest environmental impact materials among those cement-based – is equal to 8% for the first and 7% for the latter (Maskell et alii, 2014a). Actually, even with smaller percentages it is possible to have satisfactory performances: adding 5% of cement, in fact, gives a compressive strength equal to 7.4 MPa, definitely not an insignificant value compared with 2.9 MPa of minimum compressive strength in dry conditions (Maskell et alii, 2014).

Other studies focused on the stabilization of rammed earth using cement or lime mixed with

materials of natural origin such as Sugarcane Bagasse Ash (SBA) – a fibrous residue obtained from the sugarcane after extracting the juice. SBA and ordinary Portland cement, 8 and 10 percent respectively, can provide a compressive strength of 5.85 MPa (James et alii, 2016). Other experiments with the Sugarcane Bagasse Ash as a stabilizer were carried out by Sofia Lima (et alii, 2012), Richard Onchiri (et alii, 2014), Ramadhan Salim (et alii, 2014), Anil Pratap Singh and Piyush Kumar (2015), and Pakdee Khobklang (et alii, 2008). Another interesting research deals with the use of cement and lime with metakaolin, a 'natural' and 'sustainable' pozzolanic binder obtained by calcining the kaolinitic clays at a temperature of about 650 °C. The bricks are made by adding 5% of lime and 5% of metakaolin and have reached a compressive strength of 6.96 MPa while samples with the same percentages of cement and metakaolin have values of 3.73 MPa (Maskell et alii, 2015, 2016).

Finally, among the many studies that have used only natural stabilizers, prompted by a urgent sensitivity towards the ecosystem and recalling an already consolidated practice since ancient times, it is to be noted that many of them have experienced alternative additives, waste or by-products coming from different industrial sectors (Oti et alii, 2009; Tingle et alii, 2007). The different stabilization with *Hibiscus cannabinus* fibres make relevant examples – compressive strength equal to 2.9 MPa (Millogo et al., 2014), with tea processing waste – compressive strength of 7.6 MPa (Demir, 2006), with fruits of palm oil waste – compressive strength of 10.65 MPa (Ismail and Yaacob, 2011), with cassava skins – compressive strength of 2.15 MPa (Villamizar et alii, 2012). It is also worth mentioning a study that has experimented with the use of alginate (a natural polymer extracted from a marine algae) and sheep's wool to stabilize soils and to produce a sustainable, non-toxic and local composite building material (Galán-Marín et alii, 2010). Tests have shown that if adding alginate in the mixture increases the compressive strength to 3.77 MPa and that if adding wool increases the compressive strength to 3.05 MPa, when combined they significantly improve the resistance up to 4.44 MPa, a similar value to that obtained with 10% of Portland cement and greater than the result obtained with the highest percentages of lime (3.6 MPa).

The New Soil Experimentation with Clay Nanotubes – Within the scientific-experimental report, this paper illustrates the experimentation activities on rammed earth and nanotechnologies carried out by the Authors at the Architecture Department of the Polytechnic School of Palermo in 2017-2018. The experimental research was carried out with the aim of improving the performance of rammed earth bricks with the help of nanotechnologies, creating a 'new material' with reduced embodied energy and low CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. Specifically, the analysed performances are related to the compressive strength that expand their area of use as a building material.

Materials, Methodology and Operational Stages – The rammed earth is a natural composite material originating from the combination of several mate-

rials (clay, sand, etc.) whose characteristics can be improved – through a stabilization process – by adding other materials. In this case, to the mix made up by soil (Fig. 12), sand (Fig. 13) and water we decided to add Halloysite (Fig. 14), a clay nanotube. This solution was supported by the bio-based nature that the nanostructured material guarantees and the performance potential that nanotechnology, in general, gives to the building sector (Scalisi, 2010).

About the materials in the mix it should be noted that: a) earth and sand were supplied by the Guglielmino Company in Misterbianco (CT) and come from the quarry called Roccaseli-Guglielmino Group, located in the Municipality of Motta S. Anastasia (CT); b) the chemical composition of the soil is listed in Table 3; c) the chemical composition and the granulometry of sand are shown respectively in Tables 4 and 5; d) the Halloysite Nanoclay used for this experimentation, whose characteristics are listed in Table 6 is produced by Applied Minerals Inc. and is available at Sigma-Aldrich. The Halloysite is a clay nanotubes with a diameter generally under 100 nanometres and with lengths ranging from about 500 nanometres to over 1.2 microns; it is chemically similar to kaolinite (Yuan et alii, 2015) and has a predominantly hollow tubular structure with a double layer of aluminium, silicon, hydrogen and oxygen. Not expensive, readily available and non-toxic material with high mechanical resistance (Farzadina et alii, 2013), the Halloysite – together with nanocomposites and nanometric powders – is part of a 'green nanotechnology' sector which aims to develop safe and ecologically less polluting products (Kamble et alii, 2012; Nasrollahzadeh et alii, 2019). Halloysite nanotubes have many commercial applications such as polymer and plastic additives, electronic components, drug delivery vehicles, cosmetics and household products (Lvov et alii, 2008; Zhang et alii, 2016; Lazara et alii, 2018), being inorganic materials for reinforcement. In general, adding 5% of Halloysite synergistically increases the strength of the polymer by 30-70% and improves its total adhesiveness (Lvov and Elshad, 2013).

The different materials (47% soil, 30% sand and 2% Halloysite) have been dry mixed and then water was added amounting to 21% of the weight (Fig. 15). To create the samples, the consolidated procedure used for the adobe was followed: the rammed earth brick was hand-moulded, with 50x50x50 mm steel moulds, without mechanical compression but completely filling the cavities and removing the excess material. Once the mould was rotated and the block was extracted, the elements obtained have been placed on a shelf in a dry and ventilated place to allow them to dry (Figg. 16-18). After a couple of days, they seemed solid enough to be turned and kept to dry – which lasted 28 days. While preparing the samples, two tests were necessary, before the final one, to determine the percentage of Halloysite to include in the mix: the first with 5% of Halloysite, the second with 3%. Both mixtures were excessively fluid, regardless the quantity of water used, pushing to reduce the percentage of Halloysite up to 2%, used for the production of the final samples. The samples obtained have undergone compressive strength tests (Figg. 19, 20). In the absence of specific regulations on rammed earth products,

the UNI EN 772-1:2011 standard was used 'Methods of Test for Masonry Units – Part 1: Determination of Compressive Strength', also used in other experiments on this material (Maskell et alii, 2014). In our case, this Standard was used as a reference for the testing methods with modifications on the 'conditioning of the samples for the compressive strength tests'.

Before performing compressive strength tests, the samples were prepared with cutting and grinding operations and by being changed and conditioned at a temperature of  $20 \pm 2$  °C and at a humidity of  $65 \pm 5\%$ , up to constant mass. Furthermore, the bulk weight of some sample fragments (2 determinations per series of samples) was established using the hydrostatic weighing method (C.N.R. reference standard – B.U. n. 40), since the calculation with the geometric method was not reliable, due to the irregularity of the samples (Tab. 7).

Results, Debate and Future Developments – The samples subjected to the compressive strength test are 6, labelled with the acronyms C1, C2, C3, C4, C5 and C6 (Figg. 21-26). The results of each sample are listed in Table 8 that shows an average 'dry' compressive strength of 3.4 MPa. This is a satisfactory outcome, considering that in this new product stabilizers such as cement or lime were not used and that the minimum compressive strength under dry conditions is equal to 2.9 MPa (Maskell et alii, 2014). The value obtained is lower than that of the brick made with alginate and sheep's wool which has a compressive strength of 4.4 MPa (Galán-Marín et alii, 2010) or of the brick made with 5% cement and 5% metakaolin whose compressive strength is 3.73 MPa (Maskell et alii, 2015, 2016). But it is necessary to make some considerations: a) in both cases, the mixtures use more energy-intensive creation processes such as mechanical compaction (in case of alginate and wool mix) or extrusion (in case of metakaolin and cement mix); b) the bricks made with mechanical compaction and the extruded ones provide, even without stabilizers, greater resistance than the adobe; c) in the second case, the compressive strength is slightly higher – 3.4 and 3.7 MPa – even though it is an extruded brick with 5% cement in the mix.

Therefore, the research carried out has interesting margins for improvement. First, on the introduction of mechanical compression, considering that by using rammed earth, currently, a hand-made brick is unrealistic: the introduction of mechanical means in production, although it increases the embodied energy (which is still lower than that of other materials), it improves both the mechanical performance and the rammed earth production cycle. Furthermore, since the material is fragile under humid conditions, it will be necessary to check that the compressive strength in 'humid' conditions is not under 1 MPa, result of the tests performed by Maskell (et alii, 2014). Finally, since the Halloysite used in this experimentation is already on the market but, given its tubular shape, possible research developments – in a multidisciplinary perspective – may concern interventions aiming at loading the clay nanotubes in the laboratory, for example with biopolymers, and therefore use modified nanotubes in the mix.

Conclusions – Since the environmental issue is a

top priority, it is clear that the relationship between Project and Matter must regain a central role, despite the complexity of the set of requirements established by the modern era, especially considering the environmental aspects of the life cycle. In this sense, the figure of the Architect-Technologist as a qualified operator is decisive. He, by regaining possession of an often forgotten 'material' knowledge, should be able to manage the project with the awareness of the material and productive dimension of the processes, smartly and 'laically' manning technologies and incisively carrying out his cultural and professional role; «[...] a designer aware of the material and productive dimension of the processes: an architect able to dialogue with specialists (without being such), to translate figurative options, spatial configurations and fruitive needs in precise technical specifications and in coherent, efficient and sustainable construction devices, without losing an overview of the whole architectural design, as a cultured synthesis of eclectic and complementary knowledge» (Antonini et alii, 2018, p. 17).

Over the last twenty years, the industrial and commercial dynamics of technological innovation driven by the demands imposed by the pressing environmental issue have influenced materials, techniques and construction technologies invalidating established practices. These techniques considering reduced emissions, containment of operational energy consumption and ecological products, have produced artifacts often without identity «[...] with a value that is more identificatory than stylistic, [...] 'symbolic buildings' with two essential components: being 'symbols' in the urban confusion that surrounds them, but also that of replacing the 'modest' monuments of the past» (Dorfles, 2007, p. 8). The research carried out over the past few years on rammed earth responds, in this sense, to the two-fold request, on the one hand, to evaluate and design bio-based materials both from a technical performance point of view and mostly with respect to environmental performance, optimizing resources and production processes in order to reduce the most energy-intensive stages. And on the other hand, to make architecture recover its identity through coherence, language recognizability and relationship with places.

The cultural resistance to this material is part of the twelve obstacles wisely identified by Amr Sourani and Muhammad Sohail (2011) on the implementation of sustainable construction forms. We do not know how much the illustrated experimentation can contribute to overcoming prejudices on this material – definitely humble but sustainable and with performances that can be enhanced with the help of 'green nanotechnologies'. But we are sure that, today more than ever, a radical shift in the behavior of operators in the building sector is necessary (Francese, 2014). And what shouldn't also be delayed is: in-depth analysis of regulatory tools, incentives and financing tools, training and skills development, changes in users' behaviours and social practices for which the facilitation dialogue encouraged by the United Nations with the Talanoa Dialogue Platform and the United Nations Framework Convention on Climate Change in 2018 – and its common formal review scheduled in 2023 – can be a good fly-wheel, bridging the gap between climate ambi-

tions and current policies in the building industry.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution, resulting from a common reflection, is to be attributed in equal parts to both Authors.

We would like to thank the Guglielmino Group both for supplying soil and sand and the technical support to the experimentation.

## REFERENCES

- Akbarnezhad, A. and Xiao, J. (2017), "Estimation and Minimization of Embodied Carbon of Buildings: A Review", in *Buildings*, vol. 7, issue 5, pp. 1-24.
- Antonini, E., Rossetti, M. and Giglio, F. (2018), "Introduzione", in *Techne | Materia è Progetto*, vol. 16, pp. 17-19.
- Antonini, E., Rossetti, M. and Giglio, F. (2017), *Call for papers | Techne 16 | Materia è Progetto*. [Online] Available at: [http://www.fupress.net/public/journals/38/CALL\\_16\\_ITA.pdf](http://www.fupress.net/public/journals/38/CALL_16_ITA.pdf) [Accessed 6 April 2019].
- Arundel, A., Sterling, E., Biggin, J. and Sterling, T. (1986), "Indirect health effects of relative humidity in indoor environments", in *Environmental Health Perspectives*, vol. 65, pp. 351-61.
- Bahar, R., Benazzoug, M. and Kenai, S. (2004), "Performance of compacted cement-stabilised soil", in *Cement & Concrete Composites*, vol. 26, pp. 811-820.
- Barucco, M. A., Verde, F. and Scalisi, F. (2016), "Innovazione tecnologica di sistemi, componenti e materiali | Technological innovation of systems, components and materials", in Lucarelli, M. T., Mussinelli, E. and Trombetta, C. (eds), *Cluster in progress. La Tecnologia dell'architettura in rete per l'innovazione/The Architectural technology network for innovation*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RM), pp. 103-108.
- Burroughs, S. (2006), "Strength of Compacted Earth: Linking Soil Properties to Stabilizers", in *Building Research and Information*, vol. 34, issue 1, pp. 55-65.
- Campoli, A., Della Valle, A., Ganassali, S. and Giorgi, S. (2018), "Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale", in *Techne | Materia è Progetto*, vol. 16, pp. 86-95.
- Chastas, P., Theodosiou, T., Bikas, D. and Kontoleon, K. (2017), "Embodied Energy and Nearly Zero Energy Buildings: a Review in Residential Building", in *Proceedia Environmental Science*, vol. 38, pp. 554-561.
- Ciancio, D., Beckett, C. T. S. and Carraro, J. A. H. (2014), "Optimum lime content identification for lime-stabilised rammed earth", in *Construction and Building Materials*, vol. 53, pp. 59-65.
- Copiello, S. (2017), "Building energy efficiency: A research branch made of paradoxes", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 1064-1076.
- Crawford, R. H., Bartak, E. L., Stephan, A. and Jensen, C. A. (2016), "Evaluating the life cycle energy benefits of energy efficiency regulations for buildings", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 63, pp. 435-451.
- Crowther, P. (1999), "Design for disassembly to recover embodied energy", in Szokolay, S. S. (ed.), *The 16th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 22-24 September 1999, Melbourne*, Brisbane, Cairns.
- Danso, H., Martinson, B., Ali, M. and Mant, C. (2015), "Performance characteristics of enhanced soil blocks: a quantitative review", in *Building Research & Information*, vol. 43, issue 2, pp. 253-262.
- Demir, I. (2006), "An investigation on the production of construction brick with processed waste tea", in *Building and Environment*, vol. 49, issue 1, pp. 1274-1278.
- De Wolf, C., Pomponi, F. and Moncaster, A. (2017), "Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice", in *Energy and Buildings*, vol. 140, pp. 68-80.
- Ding, G. K. C. (2014), "Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview", in Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J. and de Magalhães,



Fig. 27 - Pre-cast rammed earth wall, achieved with oxides, that was made to reflect the colours of Australia (credit: www.earthdwellings.com).

Fig. 28 - Pre-cast rammed earth panels waiting to be sawn to final dimensions and transported to the job site for final installation: a steel frame is installed on the back of each panel to use for attachment to the structural wall (credit: www.rammedearthworks.com).

A. (eds), *Eco-efficient Construction and Building Materials. Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 38-62.

Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S. and Culp, C. H. (2010), "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review", in *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 1238-1247.

Dorfles, G. (2007), "L'Architettura contemporanea fra estetica e semantica", in *Agathón | Notiziario del Dottorato di Ricerca in Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi*, Università degli Studi di Palermo – Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia, pp. 7-10.

EN 15804:2012+A1:2013, *Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products*. [Online] Available at: <http://store.uni.com> [Accessed 07 May 2017].

European Commission (2016), *The Road from Paris: assessing the implications of the Paris Agreement and accompanying the proposal for a Council decision on the signing, on behalf of the European Union, of the Paris agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016DC0110> [Accessed 06 April 2019].

European Parliament and Council of the European Union (2018), *Directive 2018/844/EU of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1559545496938&uri=CELEX:32018L0844> [Accessed 04 January 2019].

European Parliament and Council of the European Union (2010), *Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*. [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32010L0031> [Accessed 04 January 2019].

Farzadina, N., Ali, A., Demirboga, R. and Parvez Anwar, M. (2013), "Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortars", in *Cement and Concrete Research*, vol. 18, pp. 97-104.

Flatt, R., Roussel, R. and Cheeseman, C. R. (2012), "Concrete: An eco-material that needs to be improved", in *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 32, pp. 2787-2798.

Francese, D. (2014), "Recovering the Mediterranean Cultural Landscapes with Rammed Earth", in *Sustainable Mediterranean Construction | Rammed Earth*, vol. 1, pp. 34-39.

Galán-Marín, C., Rivera-Gómez, C. and Petric, J. (2010), "Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre", in *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1462-1468.

Gonzalez, M. J. and Navarro, J. G. (2006), "Assessment of the decrease of CO2 emissions in the construction field through the selection of materials: practical case studies of three houses of low environmental impact", in *Building and Environment*, vol. 41, issue 7, pp. 902-909.

Habert, G., Arribe, D., Dehove, T., Espinasse, L. and Le Roy, R. (2012), "Reducing environmental impact by increasing the strength of concrete: quantification of the improvement to concrete bridges", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 35, pp. 250-262.

Hammond, G. P. (2007), "Industrial energy analysis, thermodynamics and sustainability", in *Applied Energy*, vol. 84, issue 7-8, pp. 675-700.

Hammond, G. and Jones, C. (2011), *Inventory of Carbon and Energy (ICE). Version 2*, Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, Bath (UK). [Online] Available at: <https://www.carbonsolutions.com/Resources/ICE%20V2.0%20-%20Jan%202011.xls> [Accessed 16 April 2019].

Houben, H. and Guillaud, H. (1994), *Earth construction: a comprehensive guide*, Earth Construction Series, Intermediate Technology Publications, London.

Howieson, S. (2005), *Housing and asthma*, Spon Press, London.

Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. and Acquaye, A. (2013), "Operational vs Embodied emissions in buildings: a review of current trends", in *Energy and Buildings*, vol. 66, pp. 232-245.

IEA (2017), *Tracking Clean Energy Progress 2017*. [Online] Available at: <https://www.iea.org/tcep/> [Accessed 8 May 2019].

Ip, K. and Miller, A. (2012), "Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 69, pp. 1-9.

Ismail, S. and Yaacob, Z. (2011), "Properties of Laterite Brick Reinforced with Oil Pal Empty Fruit Bunch Fibres", in *Pertanika Journal of Science and Technology*, vol. 19, issue 1, pp. 33-43.

ISO 14025 (2006), *Environmental labels and declara-*

*tions – Type III environmental declarations – Principles and procedures*. [Online] Available at: <http://store.uni.com> [Accessed 08 May 2017].

ISO 14040 (2006), *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework*. [Online] Available at: <http://store.uni.com> [Accessed 06 May 2017].

James, J., Pandian, P. K., Deepika, K., Venkatesh, J. M., Manikandan, V. and Manikumar, P. (2016), "Cement Stabilized Soil Blocks Admixed with Sugarcane Bagasse Ash", in *Journal of Engineering*, vol. 2016, Article ID 7940239, pp. 1-9.

Jia, J. and Crabtree, J. (2015), "You get what you ask", in Jia, J. and Crabtree, J. (eds), *Driven by Demand: How Energy gets its Power*, Cambridge University Press, Cambridge (MA), pp. 3-10.

Kamble, R. Ghag, M., Gaikawad, S. and Kumar Panda, B. (2012), "Halloysite Nanotubes and Applications: A Review", in *Journal of Advanced Scientific Research*, vol. 3, issue 2, pp. 25-29.

Khobklang, P., Nokkaew, K. and Greepala, V. (2008), "Effect of bagasse ash on water absorption and compressive strength of lateritic soil interlocking block," in Limbachiya, M. C. and Kew, H. Y. (eds), *Proceedings of the International Conference on Excellence in Concrete Construction Through Innovation, Kingston University, London, 9-10 September 2008*, CRC Press, London, pp. 181-185.

Koskela, L. (1992), *Application of the new production philosophy to construction*, CIFE Technical Report 72, Stanford University, California.

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H. and Fischer-Kowalski, M. (2009), "Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century", in *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 2696-2705.

Kulatunga, U., Amaratunga, D., Haigh, R. and Rameezdeen, R. (2006), "Attitudes and perceptions of construction workforce on construction waste in Sri Lanka", in *Management of Environmental Quality an International Journal*, vol. 17, issue 1, pp. 57-72.

Langston, Y. L. and Langston, C. A. (2008), "Reliability of building embodied energy modelling: an analysis of 30 Melbourne case studies", in *Construction Management and Economics*, vol. 26, pp. 147-160.

Lazzara, G., Cavallaro, G., Panchal, A., Fankhrullin, R., Stavitskaya, A., Vinokurov, V. and Lvov, Y. (2018), "An



- assembly of organic-inorganic composites using halloysite clay nanotubes”, in *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, n. 35, pp. 42-50.
- Lima, S. A., Varum, H., Sales, A. and Neto, V. F. (2012), “Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash”, in *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 829-837.
- Lucarelli, M. T. (2018), “Nota”, in *Techne / Materia è Progetto*, vol. 16, pp. 7-8.
- Lvov, Y and Elshad, A. (2013), “Functional polymer-clay nanotube composites with sustained release of chemical agents”, in *Progress in Polymer Science*, n. 38, pp. 1690-1719.
- Lvov, Y. M., Shchukin, D. G., Mohwald, H. and Price, R. R. (2008), “Halloysite clay nanotubes for controlled release of protective agents”, in *ACS Nano*, vol. 2, issue 5, pp. 814-820.
- Maskell, D., Heath, A. and Walker, P. (2016), “Appropriate structural unfired earth masonry units”, in *Construction Materials*, vol. 169, issue 5, pp. 261-270.
- Maskell, D., Heath, A. and Walker, P. (2015), “Use of Metakaolin with stabilised extruded earth masonry units”, in *Construction and Building Materials*, vol. 78, pp. 172-180.
- Maskell, D., Heath, A. and Walker, P. (2014), “Inorganic stabilisation methods for extruded earth masonry units”, in *Construction Building Materials*, vol. 71, pp. 602-609.
- Maskell, D., Heath, A. and Walker, P. (2014a), “Comparing the environmental impact of stabilisers for unfired earth construction”, in *Key Engineering Materials*, vol. 600, pp. 132-143.
- Miller, A. J. (2001), “Embodied energy a life cycle of transportation energy embodied in construction materials”, in Ruddock, L. Chynoweth, P., Egbu, C., Sutrisna, M. and Parsa, A. (eds), *COBRA 2001 – Proceedings of the RICS Foundation Construction and Building Research Conference, 5 September 2001*, Glasgow Caledonian University, Glasgow (UK).
- Millogo, Y., Hajjaji, M. and Quedraogo, R. (2008), “Microstructure and Physical Properties of Lime-Clayey Adobe Bricks”, in *Construction Building Materials*, vol. 22, issue 12, pp. 2386-2392.
- Millogo, Y. and Morel, J.-C. (2012), “Microstructural Characterization and Mechanical Properties of Cement Stabilised Adobes”, in *Materials and Structures*, vol. 45, issue 9, pp. 1311-1318.
- Millogo, Y., Morel, J.-C., Aubert, J.-E. and Ghavami, K. (2014), “Experimental Analysis of Pressed Adobe Blocks Reinforced with Hibiscus Cannabinus Fibers”, in *Construction and Building Materials*, vol. 52, pp. 71-78.
- Minke, G. (2000), *Earth construction handbook: the building material earth in the modern architecture*, WIT Press, Southampton (UK).
- Minkov, N., Schneider, L., Lehmann, A. and Finkbeiner, M. (2015), “Type III Environmental Declaration Programmes and harmonization of product category rules: Status quo and practical challenges”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 94, pp. 235-246.
- Morel, J.-C., Pkla, A. and Walker, P. (2007), “Compressive strength testing of compressed earth blocks”, in *Construction and Building Materials*, vol. 21, issue 2, pp. 303-309.
- Morton, T., Stevenson, F., Taylor, B. and Smith, N. C. (2005), *Low cost earth brick construction. Monitoring and evaluation*, Arc, UK.
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., Issaabadi, Z. and Atarod, M. (eds) (2019), *An Introduction to Green Nanotechnology*, Series Interface Science and Technology, vol. 28, Academic Press-Elsevier, London.
- Onchiri, R., James, K., Sabuni, B. and Busieney, C. (2014), “Use of sugarcane bagasse ash as a partial replacement for cement in stabilization of self-interlocking earth blocks”, in *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 5, issue 10, pp. 124-130.
- Oti, J. E., Kinuthia, J. M. and Bai, J. (2009), “Engineering properties of unfired clay masonry bricks”, in *Engineering Geology*, vol. 107, issue 3-4, pp. 130-139.
- Pacheco-Torgal, F. (2014), “Introduction to the environmental impact of construction and building materials”, in Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J. and de Magalhães, A. (eds), *Eco-efficient Construction and Building Materials. Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 1-10.
- Pacheco-Torgal, F. and Jalali, S. (2012), “Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction”, in *Construction and Building Materials*, vol. 29, pp. 512-519.
- Proietti, S., Sringola, P., Desideri, U., Zepparelli, F., Masciarelli, F. and Castellani, F. (2013), “Life Cycle Assessment of a Passive House in a Seismic Temperate Zone”, in *Energy and Buildings*, vol. 64, pp. 463-472.
- Rael, R. (2008), *Earth Architecture*, Princeton Architectural Press, New York.
- Salim, R. W., Ndambuki, J. M. and Adedokun, D. A. (2014), “Improving the bearing strength of sandy loam soil compressed earth block bricks using sugarcane bagasse ash”, in *Sustainability*, vol. 6, issue 6, pp. 3686-3696.
- Sartori, I. and Hestnes, A. G. (2007), “Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article”, in *Energy and Buildings*, vol. 39, pp. 249-257.
- Scalisi, F. (2010), *Nanotecnologie in Edilizia. Innovazione tecnologica e nuovi materiali per le costruzioni*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN).
- Shukla, A., Tiwari, G. and Sodha, M. S. (2008), “Embodied energy analysis of adobe house”, in *Renew Energy*, vol. 34, pp. 755-61.
- Singh, A. P. and Kumar, P. (2015), “Light weight cement-sand and bagasse ash bricks”, in *International Journal of Innovative Research in Science and Technology*, vol. 1, issue 12, pp. 284-287.
- Sourani, A. and Sohail, M. (2011), “Barriers to addressing sustainable construction in public procurement strategies”, in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, vol. 164, issue 4, pp. 229-237.
- Sposito, C. (2013), “Architettura in terra”, in Sposito, C. and Scalisi, F. (eds), *Terracruda e Nanotecnologie: tradizione, innovazione, sostenibilità*, Aracne Editrice, Roma, pp. 61-74.
- Tingle, J. S., Newman, J. K., Larson, S. L., Weiss, C. A. and Rushing, J. F. (2007), “Stabilization mechanisms of nontraditional additives”, in *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1989-2, issue 1, pp. 59-67.
- Treloar, G. J., Love, P. E. D. and Holt, G. D. (2001), “Using national input output data for embodied energy analysis of individual residential buildings”, in *Construction Management Economics*, vol. 19, issue 1, pp. 49-61.
- UN environment (2018), *Global Status Report 2018: Towards a zero-emission, efficient, and resilient building and construction sector*, Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. [Online] Available at: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27140/Global\\_Status\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27140/Global_Status_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Accessed 12 May 2019].
- UN environment (2017), *Global Status Report 2017: Towards a zero-emission, efficient, and resilient building and construction sector*, Global Alliance for Building and Construction, International Energy Agency. [Online] Available at: [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188\\_GABC\\_en%20%28web%29.pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf) [Accessed 12 May 2019].
- Van den Heede, P. and De Belie, N. (2012), “Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: Literature review and theoretical calculations”, in *Cement & Concrete Composites*, vol. 34, pp. 431-442.
- Verbeeck, G. and Hens, H. (2010), “Life cycle inventory of buildings: a contribution analysis”, in *Building and Environment*, vol. 45, pp. 964-967.
- Villamizar, M. C. N., Araque, V. S., Reyes, C. A. R. and Silva, R. S. (2012), “Effect of the addition of coal-ash and cassava peels on the engineering properties of compressed earth blocks”, in *Construction and Building Materials*, vol. 36, pp. 276-286.
- Walker, P. and Stace, T. (1997), “Properties of Some Cement Stabilised Compressed Earth Blocks and Mortars”, in *Materials and Structures*, vol. 30, pp. 545-551.
- Yuan, P., Tan, D. and Annabi-Bergaya, F. (2015), “Properties and applications of halloysite nanotubes: recent research advances and future prospects”, in *Applied Clay Science*, vol. 112-113, pp. 75-93.
- Zhang, Y., Tang, A., Yang, H. and Ouyang, J. (2016), “Applications and interfaces of halloysite nanocomposites”, in *Applied Clay Science*, vol. 82, issue 1, pp. 8-17.

<sup>a</sup> CESARE SPOSITO, PhD Architect, is Associate Professor at the Department of Architecture, Polytechnic School, of the University of Palermo, Italy. His main research interests are the Conservation Process (focusing in particular on shelter systems for archaeological sites), *Innovative Materials for Architecture, Nanomaterials, Energy Saving in Buildings, Social Housing*. Mob. +39 328/00.89.765. E-mail: cesare.sposito@unipa.it

<sup>b</sup> FRANCESCA SCALISI, PhD Architect and Research Manager at DEMETRA Ce.Ri.Med. (Centro Documentazione e Ricerca Euro-Mediterranea – Euro-Mediterranean Documentation and Research Center), Palermo, Italy. Her research areas are Green Materials, *Innovative Materials for Architecture, Nanomaterials, Energy Saving in Buildings*. E-mail: francescascalisi@gmail.com



## **COSTRUIRE CON LA PLASTICA UNA NUOVA POSSIBILE SOLUZIONE PER L'AMBIENTE**

### **BUILDING WITH PLASTIC A NEW POSSIBLE SOLUTION FOR THE ENVIRONMENT**

**Daniela Besana<sup>a</sup>, Claudia Ferrari<sup>b</sup>**

#### **ABSTRACT**

*La ricerca affronta il tema di un possibile riciclo delle bottiglie di plastica in edilizia come circuito aggiuntivo di riuso. A seguito di una preliminare analisi critica di casi di studio per evidenziare le possibili variabili progettuali, si propone un metodo innovativo che usi la bottiglia di plastica per la realizzazione di murature a funzione portante. Sono stati progettati e realizzati modelli con diverse soluzioni costruttive fino alla proposta di un modulo composto da quattro bottiglie riempite di sabbia e legate tra loro. Le prove di compressione in laboratorio hanno permesso di dimostrare la solidità del modulo di base e analisi f.e.m. di comprovare la stabilità della struttura. Questi primi risultati incoraggiano verso l'approfondimento di altre analisi e testimoniano una sua potenziale versatilità costruttiva ed esportabilità d'uso anche in contesti differenti sia a livello sociale, economico e ambientale.*

The research concerns a possible way for recycling plastic bottles as construction material, as an additional reuse circuit. Following a preliminary critical analysis of case studies to highlight the possible design variables, an innovative method which uses plastic bottles for the construction of load-bearing walls is proposed. Models of different constructive solutions have been designed and built, up to the proposal of a module of four bottles, filled with sand and tied together. Laboratory compression tests have shown the strength of the basic module and a f.e.m. analysis has demonstrated the stability of the structure. These first results encourage to other more accurate analysis and testify its potential versatility as building material and exportability of use even in different contexts, at a social, economic and environmental level.

#### **KEYWORDS**

*plastica, riciclo, bottiglie in PET, economia circolare, gestione dei rifiuti*

plastic, recycle, PET bottles, circular economy, waste management

L'Italia, con 208 litri di acqua minerale a persona, è il primo Paese europeo e secondo nel mondo per consumo di acqua in bottiglia con un aumento mondiale della produzione pari a circa 5 volte dal 1980 ad oggi con conseguenze allarmanti sulla quantità di scarti. La produzione mondiale di plastica è in costante aumento passando dai 15 milioni del 1964 ai circa 340 milioni attuali (World Economic Forum et alii, 2018) rispetto ai quali l'Asia ne produce circa il 50% e, la sola Cina, circa il 29% (Plastics Europe, 2018). L'Europa è il secondo produttore di plastica, attestata a 60 milioni di tonnellate, pari a circa il 20% di quella mondiale. Dagli anni Cinquanta del secolo scorso, con l'avvio della grande diffusione dell'utilizzo della plastica, si sono prodotti 8,3 miliardi di tonnellate di plastica, buttandone in natura circa 6,3 miliardi. Anche se solo l'andamento della produzione rimanesse immutato, si stima che la quantità di rifiuti di plastica potrebbe raggiungere i 34 miliardi di tonnellate nel 2050 di cui almeno 12 tonnellate costituirebbero rifiuti sparsi.

Ad oggi solo il 9% di plastica viene riciclato, il 12% incenerito mentre il 79% finisce nelle discariche e in tutti gli ambienti naturali (Geyer, Jambeck and Law, 2017). Dal 1990 ad oggi i consumi sono stabilmente cresciuti (+5% all'anno) e la domanda dei consumatori europei aumenta parallelamente alla produzione. A fronte di questa crescita esponenziale di anno in anno, Gaele Gourmelon (2015) del Worldwatch Institute spiega come il recupero e il riciclaggio restino insufficienti, dal momento che la maggior parte della plastica finisce nelle discariche e soprattutto negli oceani. Si stima infatti che, ogni anno, entrino negli oceani dalle 1,15 alle 2,41 milioni di tonnellate di plastica (Lebreton, 2018), prevalentemente polietilene (PE) o polipropilene (PP) (Chen, 2017) e che esistano cinque isole di plastica che galleggiano negli oceani, la più grande di queste, nel Pacifico di circa 80.000 tonnellate.

Il consumo di plastica in Europa è in media di 31 chili annui pro-capite; l'Italia è il settimo Paese europeo in termini di generazione di rifiuti in plastica pro-capite, con circa 35 chili all'anno, di cui gran parte usato per il confezionamento. È proprio a questo settore che spetta il primato per il maggiore utilizzo di plastica, immediatamente seguito da quello edilizio. Questa emergenza ambientale mette in luce una forte responsabilità della società che deve necessariamente far fronte alla sempre cre-

scente necessità di smaltire in modo appropriato la plastica. Se si considera il solo settore edilizio, l'uso della plastica è ampiamente diffuso non solo relativamente alla produzione di materiali edili (isolamento, tubature, telai, etc.) ma anche nell'intero processo edilizio: stoccaggio e confezionamento del materiale e trasporto.

I progettisti, non solo come cittadini ma anche come principali attori delle politiche edilizie, hanno dunque una grossa responsabilità per trovare nuove strategie atte a limitare l'uso della plastica e, contestualmente, a ipotizzare nuove forme di riutilizzo. Da queste premesse ha preso avvio la ricerca, con l'obiettivo di riutilizzare la plastica per scopi edilizi. Metodologicamente la prima fase della ricerca si è indirizzata all'inquadramento e alla conoscenza del tema, in particolare attraverso lo studio del suo processo storico ed evolutivo, per poi soffermarsi sulle differenti tipologie. Ci si è dunque interrogati su quale fosse il tipo di plastica più adatto e più facilmente reperibile per poterlo riutilizzare. La scelta si è infine focalizzata sulle bottiglie da 500 ml, frequentemente e diffusamente utilizzate, e il cui ciclo di vita è molto spesso brevissimo: la bottiglia viene consumata e gettata integra nella sua forma originaria.

Seppure esistano diversi tipi di plastiche in cui varia la composizione polimerica (Sadat-Shojai and Bakhshandeh, 2011), nella ricerca qui presentata ci si concentra principalmente sul polietilene tereftalato PET, principale polimero di cui ci si serve per la produzione delle bottiglie d'acqua (Container Recycling Institute, 2019) e la cui produzione è pari a poco meno di 4 milioni di tonnellate in Europa nel 2017 (Plastics Europe, 2018). Rispetto ai numeri sopra citati, questa stima evidenzia come non sia considerabile come una produzione significativa rispetto al totale, ma sicuramente un polimero largamente diffuso e facilmente reperibile. Successivamente, essendo lo scopo della ricerca quello di non sostituirsi ai circuiti di smaltimento al momento in uso, ma di inserirsi come circuito di riciclo aggiuntivo, la scelta si è indirizzata verso quelle bottiglie per cui non è previsto un nuovo futuro, investigando anche il processo del Life Cycle Assessment della plastica. In particolare, il 'fine vita' è una fase fondamentale perché offre un secondo utilizzo al prodotto attraverso il riciclo (per la generazione di un nuovo bene) o il recupero a fini energetici (Campioli and Lavagna, 2013).

Con l'introduzione della raccolta differenziata,

esistono infatti diverse opzioni di trattamento di fine vita per la bottiglia: venire lavata e riutilizzata, subire un processo denominato up-cycling con cui è trasformata in un diverso prodotto, essere trasformata in energia attraverso la combustione o, nel peggiore dei casi, invadere il pianeta sotto forma di spazzatura (Fig. 1). Nei centri di riciclaggio dunque, le bottiglie d'acqua vengono smistate, schiacciate e imballate per la spedizione a compagnie specializzate che inseriscono nelle trituratrici e vendono il prodotto ad altre aziende che producono plastiche riciclate. La plastica ridotta in granuli dà poi origine a plastiche tenere, dure o fibre che generano l'immissione di prodotti altri sul mercato. Differenti sono infatti i settori di impiego della plastica (Fig. 2), primo fra tutti gli imballaggi (circa 39,7%), il settore edilizio (19,8%), automobilistico (10,1%), elettrico ed elettronico (6,2%), fino a quello sportivo (4,1%), alimentare (3,4%) e vario (16,7%) (Plastics Europe, 2018).

Alla luce di quanto precedentemente riportato, si è quindi avviata una fase di ricognizione e catalogazione critica di differenti casi di studio, attraverso

una schedatura volta a compararne analogie, differenze, vantaggi e svantaggi, di seguito presentati, fino alla successiva proposta di un sistema costruttivo con bottiglie di plastica a funzione strutturale.

*Costruire con le bottiglie: casi studio e variabili progettuali* – L'idea di costruire con le bottiglie non è una novità; molti progettisti hanno sfruttato in precedenza questo materiale per la realizzazione di edifici, sviluppando metodi costruttivi basati sul riciclo e sul riutilizzo di queste tipologie di contenitori (Mansour and Ali, 2015). Ad esempio, grazie alla loro reperibilità ed economicità, le bottiglie sono potute diventare una risorsa importante nell'edilizia, soprattutto nel campo dell'autocostruzione. La ricerca ha dunque preso le mosse con una raccolta di esempi in ambito edilizio di costruzioni con le bottiglie. Al fine di sistematizzare i dati si è proceduto attraverso una lettura critica, volta a evidenziarne pregi e criticità, di casi studio precedentemente raccolti, attraverso la valutazione di alcune variabili di cui tenere conto nella scelta progettuale: il materiale, la forma, il tipo di riempimento della

bottiglia, la loro disposizione e funzione (strutturale o non) e infine il tipo di connessione tra le stesse.

Il vetro è ed è stato il tipo di materiale più diffuso per contenere liquidi. Nonostante possiedano svariate forme e dimensioni, la caratteristica comune di questi recipienti è di essere molto resistenti e, quindi, adatti a essere utilizzati come mattoni, anche nel caso in cui al loro interno non sia presente alcun tipo di contenuto. Di vetro, infatti, sono i primi esempi di case di bottiglie – cfr.: WoBo Summer House, Paesi Bassi, 1965; Bottle Houses, Canada, 1980-1984 (Fig. 3); Casa di Bottiglie, Italia, 1999. Oggigiorno gli esempi di progettazione assistita presi in esame sfruttano le bottiglie in PET come mattone, grazie alla loro versatilità, leggerezza durante il trasporto e reperibilità. Oltre al materiale, in commercio esistono bottiglie di diverse forme (Fig. 4): ciò permette di selezionare, a seconda delle caratteristiche, la tipologia e la disposizione dei contenitori più adatti al raggiungimento di un determinato scopo (Anyanka, 2011). Un esempio sono le bottiglie della Coca-Cola Company che, con la loro peculiare imboccatura conica, sono par-

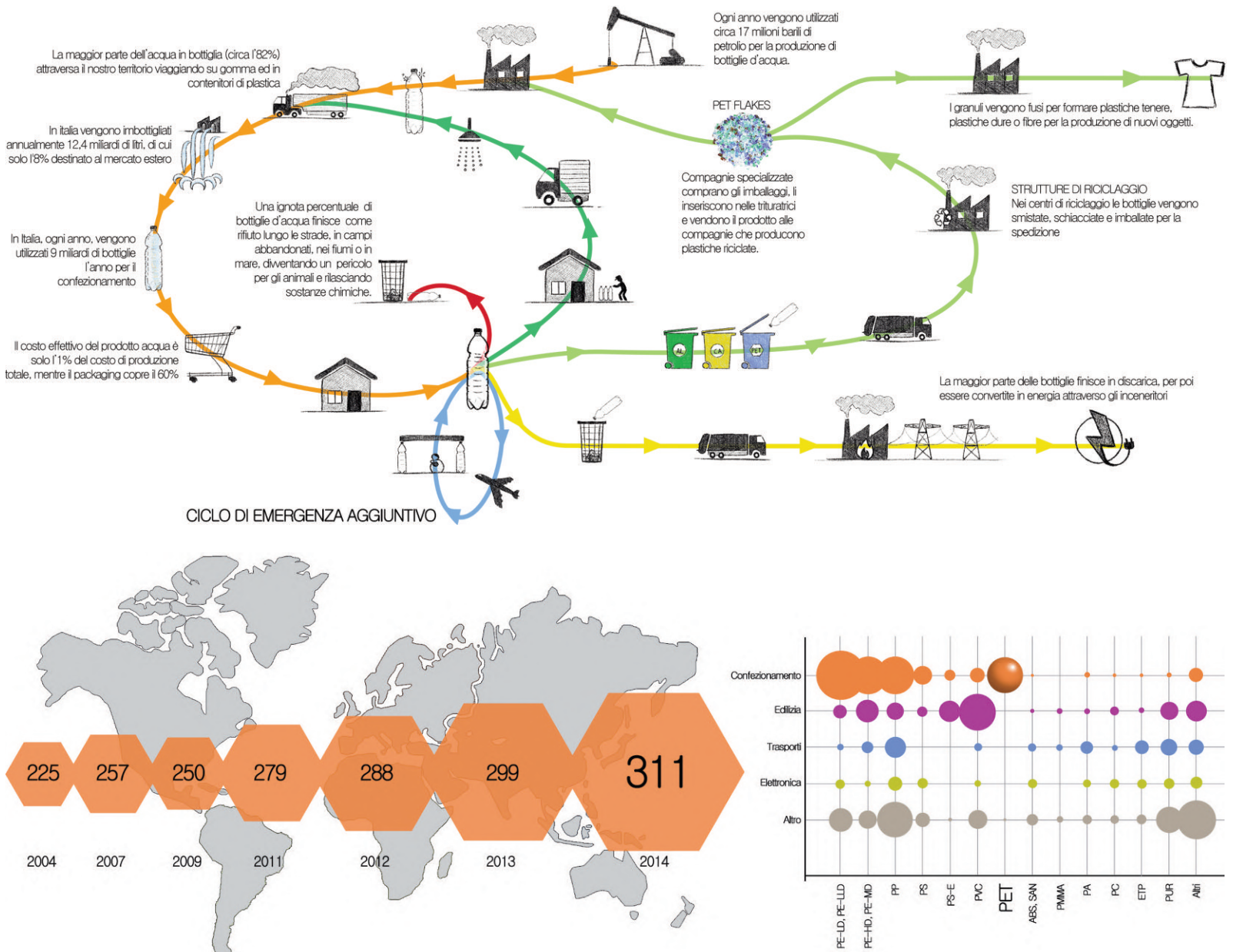


Fig. 1, 2 - Proposal for an additional emergency cycle for plastic; Production of plastic in the world in millions of tons and use of types of polymers according to the sectors.

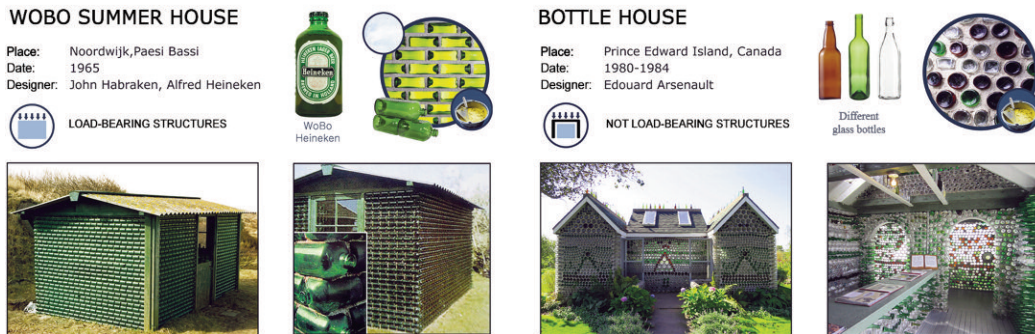


Fig. 3 - WoBo Summer House (Netherlands) and Bottle Houses (Canada): type sheet prepared for each case study analysed with respect to the considered design variables.

ticularmente adatte alla costruzione di colonne, se vengono disposte a raggiera (cfr. Ecotec Bi4PVS, Africa, America Latina e India dal 2001; Fig. 5).

Nella maggior parte dei casi di studio analizzati, la bottiglia è vista dapprima come un contenitore e solo successivamente come materiale edilizio, ma la storia ha proposto casi in cui, fin dal momento della sua ideazione, prima ancora di essere un recipiente, il prodotto finale si presentava come un vero e proprio ‘mattoncino di emergenza’. Nel corso degli anni, sono quindi state progettate forme funzionali prima di tutto alla costruzione, in modo da non dover più scendere a compromessi con l’inefficienza dei formati presenti in commercio; la funzione di recipiente ha fornito invece il pretesto necessario per motivare la produzione e la vendita di tali bottiglie: la WoBo (World Bottle) Summer House voluta dallo stesso Heineken già nel 1960 e la United Bottle del 2007 (Fig. 6) ne sono un esempio.

Sfruttando la naturale funzione di contenitore delle bottiglie, è possibile migliorarne le prestazioni della bottiglia come materiale da costruzione secondo il tipo di riempimento utilizzato. Tra gli esempi analizzati, le bottiglie che presentano una differenziazione di riempimento sono solo quelle in PET, mentre quelle in vetro sono sempre state utilizzate vuote. Quando si parla di bottiglie vuote è opportuno però fare una distinzione tra le bottiglie non tappate – quindi effettivamente senza alcuna tipologia di contenuto – e quelle in cui si è scelto consapevolmente di intrappolare aria al loro interno (Casas de las Botellas, Argentina, 2000; Fig. 7), migliorandone così le prestazioni termiche. La scelta del tipo di riempimento è determinata inoltre dalle caratteristiche richieste al muro e dalla disponibilità del materiale (Fig. 8): peli e piume sono ottimi per l’isolamento, ma non offrono alcuna garanzia statica, al contrario della ghiaia. La terra di scavo ha il pregio di essere immediatamente reperibile e a costo zero, e le sue caratteristiche migliorano se il contenuto è setacciato; la sabbia è dunque il riempimento migliore e più utilizzato, poiché unisce capacità termiche e strutturali (Ruiz Valencia, Lopez Perez, Cortes and Froese, 2012). Particolari sono gli Eco-Bricks (Taaffe, O’Sullivan, Rahman and Pakrashi, 2014): bottiglie di plastica al cui interno si trovano rifiuti come sacchetti di patatine, imballaggi in cellophane e simili, che non sono comunemente riciclabili (cfr. Bottle Schools, Guatemala, 2009; Fig. 9).

Le bottiglie, come i mattoni, possono essere disposte con diverso orientamento rispetto alla direzione del muro, andando a incidere sullo spessore e sull’estetica, oltre che sulla sua capacità portante. Se per esempio le bottiglie sono accostate orizzon-

talmente le une alle altre con l’asse perpendicolare all’andamento del muro, si ha uno spessore maggiore del muro che sarà in grado di avere funzione portante (cfr. Casa di Bottiglie, Italia, 1999). Se invece l’asse è parallelo al piano del muro, le bottiglie possono essere sistemate verticalmente, orizzontalmente o anche in posizione obliqua, creando interessanti motivi geometrici che possono essere lasciati a vista (Wat Pa Maha Chedi Kaew, Thailandia, 1984-2004); in questo caso, però, la funzione portante è demandata a strutture più tradizionali di travi e pilastri in cemento armato, acciaio o legno, mentre il compito svolto dalle bottiglie è solo quello di tamponamento (Fig. 10).

Tranne che per casi particolari come la United Bottle, in cui la forma della bottiglia garantisce un’unione salda a incastro, i contenitori necessitano di un vincolo che li tenga in posizione. Ereditata dalla tradizione del mattone, la malta è stata il primo e più utilizzato metodo di connessione sia per la plastica che per il vetro, sostituita in alcuni casi da colle e materie resinose che svolgono la medesima funzione con prestazioni superiori e spessori inferiori. Con lo svilupparsi della progettazione assistita, si sono studiati metodi per perfezionare la connessione tra le bottiglie allo scopo di migliorare la stabilità dell’edificio. I contenitori possono quindi venire legati tra loro in modo da limitarne gli spostamenti reciproci. Questa soluzione, però, spesso non è sufficiente ed è quindi assistita dall’impiego della malta o dall’utilizzo di una tecnica che prevede la chiusura a sandwich delle bottiglie tra due strati contenitivi (Fig. 11).

Un esempio particolarmente interessante ai fini della presente ricerca è il progetto pioniero nella costruzione di strutture autoportanti in bottiglie di PET, denominato l’Ecotec BiPVS di Andreas Froese (Fig. 5) attivo in diversi Paesi in via di sviluppo fin dal 2001, supera le 50 strutture finora costruite. Diversi test, in collaborazione con la Pontificia Universidad Javeriana di Bogotá in Colombia, sono stati condotti per verificarne la resistenza e la stabilità (Ruiz Valencia et alii, 2012). Questo metodo prevede l’utilizzo di bottiglie di plastica riempite di sabbia, terra o ghiaia come materiale da costruzione e sembra essere particolarmente efficace sia strutturalmente, essendo a prova di terremoto, incendio e proiettili, sia termicamente, mantenendo una temperatura interna costante di 18-20 °C tutto l’anno. Questo sistema costruttivo prevede un metodo di impilamento in cui le bottiglie dello strato successivo vengono posizionate nell’incavo formato dalle due bottiglie sottostanti: questa soluzione crea un problema di allontanamento dovuto al peso, formando così fratture nella malta tra una

bottiglia e l’altra, e rotture nei punti in cui il muro si interrompe. Pertanto, tra le diverse forme si è preferita quella circolare, in modo che la struttura si auto equilibri e vengano costruiti dei pilastri quali elementi d’angolo e di interruzione in corrispondenza delle aperture per le porte. Le finestre, invece, sono tendenzialmente piccole con intelaiature in legno o metallo (Kusimwiragi, 2011).

*La proposta di un nuovo metodo costruttivo* – Partendo dalla lettura dei casi di studio, si è cercato di proporre un metodo costruttivo che potesse risolvere, almeno in parte, i problemi riscontrati nelle strutture già realizzate, con particolare attenzione a quelle che utilizzano le bottiglie con funzione portante (cfr. WoBo Summer House, Paesi Bassi, 1965; Casa di Bottiglie, Italia, 1999; Ecotec BiPVS, Africa, America Latina e India, dal 2001). Alla base di tutti i sistemi di costruzione che sfruttano materiali alternativi c’è la volontà di fornire soluzioni semplici, ma non scontate, a problemi riguardanti la difficoltà di reperimento dei materiali o l’impossibilità di impiegare le consuete tecnologie edilizie. Questi metodi meno tradizionali tentano di sfruttare al meglio le potenzialità costruttive di oggetti comunemente ritenuti di scarso valore e propongono nuove soluzioni, studiate per ovviare agli inconvenienti che l’utilizzo di materiali non convenzionali determinano.

Alla base del progetto vi è la selezione del tipo di bottiglia: in PET da 500 ml e con restringimento a circa 2/3 della sua altezza, la bottiglia è stata scelta principalmente per la sua miglior reperibilità in condizioni integre (Sharma, 2017) – essendo utilizzata soprattutto fuori casa, gettata in cestini per rifiuti indifferenziati, spesso senza essere prima schiacciata – ma anche perché la forma con restringimento è la più diffusa e presenta le migliori prestazioni meccaniche. Sfruttando questa geometria particolare è stato possibile utilizzare le bottiglie con funzione portante ovviando al problema di compressione riscontrato negli edifici già realizzati, attraverso una composizione che permetta di rispondere al meglio a questo tipo di sforzo. Il nuovo metodo costruttivo proposto prevede la creazione di un ‘mattoncino’ formato da 2 bottiglie inferiori e 2 superiori perpendicolari alle precedenti: in questo modo il problema dell’allontanamento reciproco dovuto al peso non si presenta: sfruttando la strozzatura, infatti, le quattro bottiglie del ‘mattoncino’ s’incastano le une nelle altre. La compressione, anzi, comprime le bottiglie, riducendo la possibilità di reciproco scivolamento e migliorandone l’incastro (Ferrari, 2016).

La realizzazione del muro avviene affiancando i vari mattoni, trattandoli come blocchi sago-



Fig. 4 - Design variables: material and shape of the bottle.

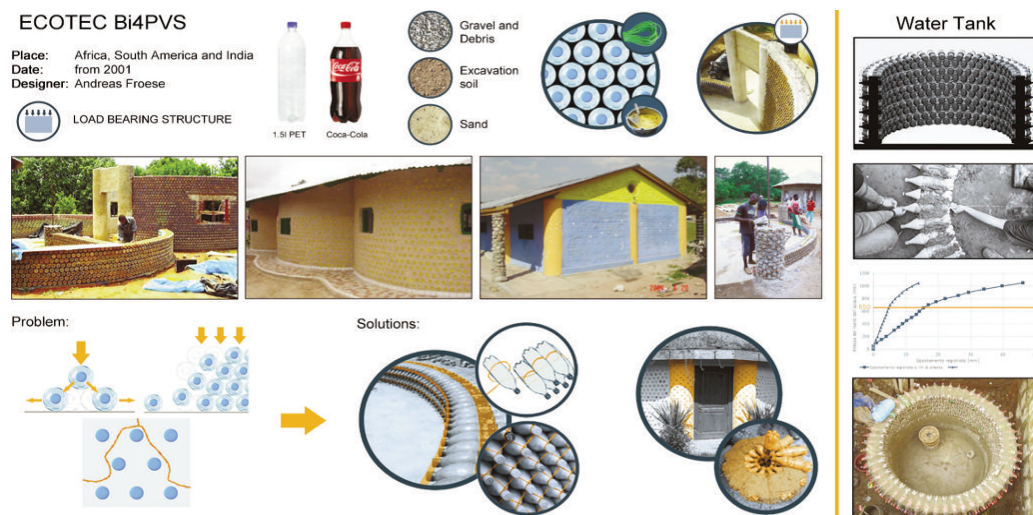


Fig. 5 - Ecotec Bi4PVS, States of Africa, Latin America and India: type sheet.

mati, simili a pezzi di un puzzle che lavorano per forma. È pertanto necessario trovare un modo per tenere unite le quattro bottiglie e poterle quindi maneggiare come un blocco unico. L'utilizzo di colla è stato immediatamente scartato, poiché rende impossibile fare piccoli aggiustamenti di posizione una volta posti in opera i 'mattoni'. È stato quindi deciso di legare tra loro le bottiglie con fil di ferro – preferito all'altra possibile soluzione che prevede l'uso di corde – per una miglior coesione (Fig. 12). Poiché le bottiglie sono posizionate in due strati perpendicolari tra loro, per realizzare la parete è sufficiente impilare i diversi blocchi; anche in questo caso la strozzatura delle bottiglie garantisce una migliore stabilità di appoggio. I mattoni sono accostati e impilati senza mai modificarne l'orientamento, anche quando cambia la direzione del muro, rendendo possibile incrociare le pareti ad angolo retto senza l'utilizzo di particolari accorgimenti (Fig. 13).

Le caratteristiche statiche del muro così composto sono implementate in base al riempimento scelto per le bottiglie. Non è possibile lasciarle vuote, sia a causa dell'eccessiva deformazione quando sottoposte a carico, sia soprattutto perché l'aria al loro interno deforma la bottiglia al variare della temperatura. Sono quindi stati presi in considerazione diversi tipi di materiali, tra cui quelli dalle ottime proprietà termiche, come peli e piume, e rifiuti secchi che però potrebbero deformarsi in maniera non uniforme se sottoposti a compressione. La scelta è quindi ricaduta su sabbia o terra di scavo, per la loro immediata reperibilità e per le buone proprietà meccaniche.

Definiti il mattone e la disposizione base, è stato quindi possibile configurare il metodo costruttivo vero e proprio caratterizzato, oltre dai mattoni, da elementi funzionali prestabiliti (irrigidimenti, copertura e finitura esterna), il cui materiale può variare a seconda della finalità, delle caratteristiche termiche ed estetiche desiderate e della sua disponibilità (Fig. 14). La costruzione della struttura inizia dalla base, costituita da uno scavo di fondazione in cui un primo corso di mattoni di bottiglie è posizionato su uno strato di terra per migliorarne l'appoggio al suolo. Si prosegue con altri corsi di mattoni, fino ad arrivare a livello del suolo; vengono quindi inseriti i montanti a intervalli regolari e infine lo scavo viene riempito di

terra, per formare una base solida e compatta per il resto della struttura (Fig. 15).

Montanti, trasversi e tiranti costituiscono gli elementi di irrigidimento della struttura e impediscono gli spostamenti eccessivi delle bottiglie in caso di urti o spinte laterali, in special modo nella parte alta del muro, dove la stabilità garantita dal peso proprio delle bottiglie è inferiore. Quattro montanti verticali tenuti chiusi dai tiranti ingabbiano a intervalli regolari una singola colonna di bottiglie che diventa così un irrigidimento per la struttura, mentre i trasversi tra una colonna e l'altra bloccano il resto delle bottiglie e fungono da eventuale aggancio per una pannellatura di finitura. Montanti e trasversi non vanno ad aumentare lo spessore della parete, ma sono posizionati sfruttando la particolare disposizione delle bottiglie che crea una serie di spazi fisici, 'canali' in cui alloggiare montanti e trasversi, e dei buchi in cui far passare i tiranti, creando così una struttura più solida e compatta (Fig. 16). Per una completa reversibilità della struttura e per garantire la possibilità di montaggi e smontaggi ciclici, montanti e trasversi possono essere costituiti da profilati metallici e utilizzare barre filettate per i tiranti. Per una struttura più economica e di più facile montaggio, anche se non altrettanto reversibile, è possibile sostituire il legno ai profilati e utilizzare della corda come tirante.

Definito interamente il muro, si è posto il problema del tipo di copertura da adottare. La tipologia di muratura di bottiglie proposta, come descritto, lavora bene a compressione, mentre le spinte laterali, nonostante gli irrigidimenti, potrebbero creare dei problemi. Seppure non siano state fatte verifiche sismiche, è ragionevole pensare che si potrebbero verificare dei problemi rispetto ai quali occorrerebbe trovare una soluzione progettuale supportata da test di laboratorio che simulino l'azione sismica. Un'altra possibile criticità potrebbe derivare dalla spinta del vento sulla pannellatura, anche in questo caso da verificare. Per questi motivi sono state prese tre decisioni progettuali in relazione agli effetti del tetto sul muro. Innanzitutto, si è scelto di utilizzare un dormiente massivo, che garantisca un certo grado di compressione ai mattoni posti sulla sommità del muro che, non avendo peso sopra di loro, risulterebbero poco o per nulla deformati e con scarso attrito che li tenga uniti. Dovendo necessariamente appoggiare sulle bottiglie, il dor-

miente non è fissato ai montanti, ma solo contenuto da questi in modo da poter assecondare eventuali piccoli cedimenti nel tempo. I montanti svolgono infatti esclusivamente una funzione di contenimento (Fig. 17).

La seconda decisione vuole far fronte al problema di un momento flettente eccessivo che potrebbe portare al ribaltamento dell'ultimo strato di mattoni. La soluzione preferibile è quella di un tetto a sbalzo, il più possibile leggero e che vada a equilibrare, almeno in parte, la rotazione interno-esterno del muro. Relativamente alla tipologia di copertura è possibile fare alcune considerazioni generali: una struttura a falde permette di avere un'altezza interna superiore, ma potrebbe trasmettere al muro forze di taglio e spinte orizzontali problematiche, preferibilmente da scongiurare. Un tetto piano, che scarichi solo verticalmente, è quindi più opportuno.

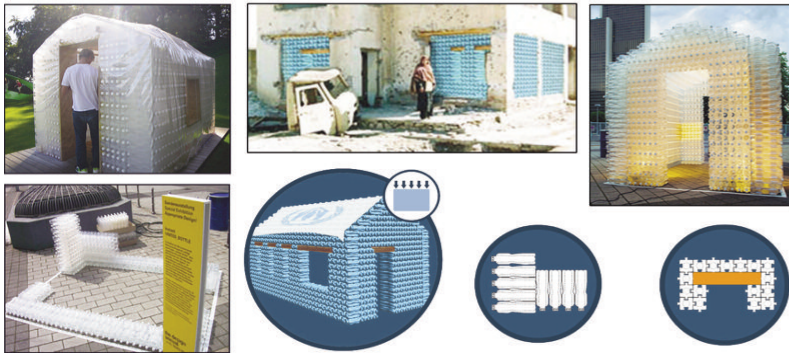
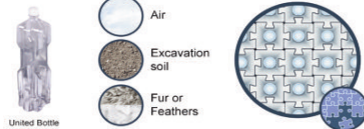
A finitura della struttura è possibile aggiungere un successivo strato di pannelli leggeri che vada a racchiudere le bottiglie, in modo da garantire protezione dagli urti e conferire un aspetto più finito alla costruzione. Ad esempio, sfruttando i trasversi è possibile agganciare delle finiture opache, che nascondano alla vista le bottiglie e diano al muro un aspetto più tradizionale o delle finiture trasparenti, che mantengono le bottiglie a vista pur assicurandone la sicurezza. Entrambe le soluzioni consentono un buon livello d'ispezionabilità, manutenibilità e reversibilità al pacchetto costruttivo in quanto possono anche essere rimosse in caso di necessaria verifica dello stato delle bottiglie. I materiali utilizzabili possono essere i più vari, quali legno, plastica, lamiera metallica o ceramica, purché non risultino eccessivamente pesanti (Fig. 18). Grazie a questa struttura 'a sandwich' è anche possibile implementare i requisiti prestazionali energetici del pacchetto grazie all'inserimento di uno strato d'isolamento come lana di roccia, fibre di legno o paglia prima di completarlo con la finitura esterna. È naturalmente possibile utilizzare differenti finiture per l'interno e l'esterno, in modo da adeguare le pareti interne alla funzione dell'edificio. Dato che il metodo si presta all'utilizzo di diversi materiali, è possibile creare edifici a carattere completamente diverso, da un padiglione temporaneo che mostri il metodo costruttivo a un edificio fisso dall'aspetto tradizionale (Fig. 19).

*Test di laboratorio* – Per validare il nuovo metodo costruttivo, che utilizza materiali non convenzionali e che sfrutta le proprietà meccaniche derivanti dalla combinazione di involucro e contenuto, è stata eseguita un'analisi f.e.m., affiancata da prove a compressione eseguite in laboratorio. Le prove hanno avuto il duplice scopo di valutare l'effettiva resistenza del 'mattone' alla compressione, finora solo ipotizzata, e verificare la corrispondenza alla realtà delle risposte fornite dal programma, in base ai dati ipotizzati come input. I calcoli sono stati eseguiti considerando i pesi complessivi delle bottiglie riempite di sabbia in accordo ai dati di progetto, pari a 2,9 kg per il singolo mattone, e il peso di un ipotetico tetto piano, pensato come una struttura leggera (ad esempio in acciaio e plexiglass). In prima ipotesi, questa scelta segue l'idea di non sovraccaricare la muratura in plastica ma è certamente possibile prevedere e sperimentare soluzioni con coperture tecnologiche più massive.

Per l'analisi statica è stata modellata una botti-

**UNITED\_BOTTLE**

Place: exposition in New York, Copenhagen and Zurich  
 Date: 2007 (first prototype)  
 Designer: United\_Bottle group  
 (Dirk Hebel, Tobias Klauser, Hanspeter Logo, Jorg Stollmann)



**CASAS de las BOTELLAS**

Place: Puerto Iguazú, Misiones, Argentina  
 Date: early 2000s (first prototype)  
 Designer: Alfredo Alberto Santa Cruz

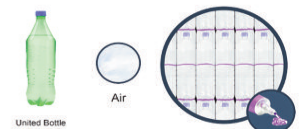


Fig. 6, 7 - United Bottle (New York, Copenhagen and Zurich): type sheet; Casas de las botellas (Argentina): type sheet.

glia base con geometria semplificata (evidenziando le superfici di appoggio), ripetuta quattro volte per creare il mattone, a sua volta ripetuto per 20 volte in modo da riprodurre una singola colonna di bottiglie facente parte del muro. Sulla superficie di appoggio dell'ultimo strato di bottiglie è stato applicato un carico pari al peso del tetto sulla singola colonna (500N). Il peso dei mattoni viene trasferito dal modello grazie all'applicazione dell'accelerazione di gravità. Alla base del primo strato di bottiglie è stata modellata una piastra, completamente vincolata, in modo da ricreare l'appoggio delle bottiglie al suolo. I valori attribuiti ai materiali della struttura esterna della bottiglia in PET sono modulo di elasticità  $E = 2960 \text{ N/mm}^2$ , resistenza a trazione  $T = 57.3 \text{ N/mm}^2$  e carico di snervamento  $Y = 57 \text{ N/mm}^2$ , mentre per il riempimento interno in sabbia fine, modulo di elasticità  $E = 80 \text{ N/mm}^2$ . L'analisi ha evidenziato che le sollecitazioni maggiori si hanno nei punti di contatto tra le bottiglie, in particolare nelle strozzature. I valori trovati sono notevolmente inferiori ai carichi limite del PET, quindi l'integrità della bottiglia è garantita. Gli spostamenti avvengono lungo l'asse verticale e comportano una leggera riduzione in altezza della colonna. La deformazione calcolata è stata poi confrontata con le prove di laboratorio, essendo la sabbia nel modello, perfettamente compattata (Fig. 20).

Le prove sono state eseguite presso il Laboratorio strutturale dell'Eucentre di Pavia su quattro mattoni campione, preparati preventivamente riempiendo le bottiglie con sabbia finissima, compattata solo manualmente e legati con fil di ferro in modo ottenere un blocco più solidale rispetto alla connessione con una semplice corda. I mattoni sono stati suddivisi per eseguire due prove: la prima sul mattone singolo, la seconda su una colonna di tre. Utilizzando i dati di progetto, è stato calcolato un carico di esercizio agente sull'ultimo mattone della colonna di circa 100 kg. Si è quindi deciso di iniziare con questo carico per verificare la deformazione del provino; in un secondo momento, la forza agente sul mattone è stata dapprima raddoppiata, poi triplicata e infine quadruplicata per valutarne la resistenza. Dopo ogni step, il carico è stato mantenuto stazionario per alcuni minuti. La compressione è stata infine aumentata fino al punto di rottura, avvenuta a 6,2 tonnellate per cedimento della plastica. La prova ha inoltre evidenziato che

la deformazione avviene solo in fase di carico e che il ruolo del fil di ferro risulta marginale, dal momento che le bottiglie vanno a compattarsi e incastrarsi le une nelle altre. Per il secondo provino, formato da tre mattoni impilati, gli step di carico si sono ripetuti identici ai precedenti e la rottura è avvenuta a 4,5 tonnellate, per cedimento della plastica di una delle bottiglie del mattone centrale.

La prova ha confermato la resistenza della struttura, già dimostrata dal calcolo f.e.m., essendo la rottura avvenuta in entrambi i casi ben oltre il carico di esercizio. Il cedimento maggiore è avvenuto per entrambi i provini nella prima fase di carico a 100 kg, probabilmente dovuto alla presenza di aria tra i granelli di sabbia nelle bottiglie, compattati solo manualmente, e non alle caratteristiche del materiale. Ciò ha permesso però un miglior assetto delle une sulle altre, incrementandone la stabilità. Nelle successive fasi di carico la deformazione si è assestata a un valore di circa 1 mm per mattone ad ogni step, valore che si è ridotto ulteriormente a 10 volte il carico di esercizio, aumentando la compattezza della sabbia all'interno delle bottiglie. Il cedimento in altezza dovuto al carico in esercizio non è quindi trascurabile e in fase di progetto è necessario tenerne conto stimando un'altezza di 7 mm in meno per ogni mattone (Fig. 21). La deformazione calcolata nell'analisi f.e.m. è stata inferiore a quella riscontrata durante la prova in laboratorio, dal momento che nel calcolo la sabbia risulta già perfettamente compattata. Con l'aumentare del carico, e quindi della compattezza della sabbia, i risultati del calcolo e della prova sono diventati maggiormente confrontabili. Si può

quindi dedurre che l'aggiunta di carichi straordinari sul tetto non comporta cedimenti eccessivi e conseguenti problemi di incastro con i traversi e i tiranti posizionati.

**Conclusioni** – È ormai ampiamente noto e condiviso che la produzione di rifiuti plastici sia un'emergenza ambientale. La ricerca qui presentata si è prefissata dunque lo scopo di comprendere quali potessero essere i cicli aggiuntivi di riuso delle bottiglie della plastica, pur con la consapevolezza di non avere nessuna pretesa di divenire sostitutiva rispetto ad altre ipotesi di riciclo. La proposta di un sistema costruttivo basato sulle bottiglie di plastica porta con sé altrettanto importanti valutazioni non solo ambientali ma anche circa l'implicazione sociale e culturale nell'uso della stessa. Per contro, tale metodo costruttivo permette un'interessante applicazione in differenti contesti con differenti possibilità d'uso, proponendosi come linee guida costruttive esportabili ed implementabili: da architetture di emergenza e temporanee a costruzioni più stabili, da contesti fortemente urbanizzati ai paesi del Sud del Mondo, nel rispetto del proprio contesto sociale e culturale (Chun and Brisson, 2015).

Se applicato in contesti di estrema povertà, dove la scarsità di risorse rende difficile il reperimento del materiale per la costruzione di una casa, il metodo costruttivo può essere rianalizzato, in ragione della sua natura intrinseca, attraverso due possibili distinte azioni: la prima che riprende passo passo tutte le fasi e le caratteristiche della struttura, ri-analizzando le variabili e attuando una scelta di materiali più consona alle disponibilità del luogo; la seconda volta a semplificare al massimo la struttura e la costruzione, tornando all'idea di aggregazione di base eliminando tutte le aggiunte di supporto, che garantiscono la possibilità di costruire a secco e la reversibilità dell'edificio. Rispetto alla maggior parte di casi di studio analizzati, si è proposta una soluzione costruttiva in cui la bottiglia fosse veramente impiegata a funzione portante, servendosi, nella progettazione del muro, anche dell'esperienza dei pochi casi in cui erano state condotte prove di laboratorio (cfr. Ecotec BiPVS). Questo aspetto ha permesso di scartare a priori alcune soluzioni che già negli studi pregressi si erano dimostrate carenti. Inoltre, in antitesi ri-

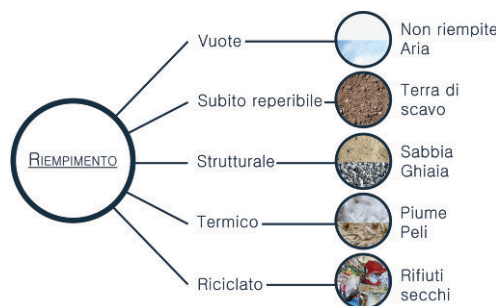


Fig. 8 - Design variables: type of bottle filling.



Fig. 9 - Bottle School (Guatemala and Latin America): type sheet.

spetto a molti casi di studio analizzati, che molto spesso propongono architetture con forme circolari, si è cercato di studiare una soluzione con un livello di impiegabilità tipologica e funzionale maggiormente flessibile.

Infine, la ricerca qui presentata lascia ancora ampi margini di approfondimento e verifiche in merito all'ottimizzazione del progetto del muro di plastica: modellazioni più accurate per valutare il comportamento strutturale, piuttosto che verifiche sotto azioni dinamiche, quali sismi o azioni del vento, sono ad oggi ancora temi aperti. Contestualmente potrebbe essere interessante effettuare prove di valutazione energetica dei pacchetti di chiusura verticale e orizzontale esterna, per definirne il comportamento in termini di resistenza termica, tenuta all'acqua e all'aria. Ai fini di una reale esportabilità e applicazione del metodo proposto, potrebbe essere infine interessante progettare solu-

zioni costruttive low-tech fino a una successiva ottimizzazione prestazionale con uso di materiali high-tech, a seconda del contesto specifico nel quale si opera e nel rispetto delle caratteristiche costitutive di base. Le sperimentazioni sulle tipologie dei pacchetti di copertura oppure di ottimizzazione del modulo 'mattoncino' lasciano ancora la ricerca aperta a interessanti sviluppi futuri.

ENGLISH

Italy, with 208 litres of mineral water per person, is the first European country and second in the world for bottled water consumption, with a world-wide increase in production of about 5 times since 1980 and alarming consequences on the amount of waste. World production of plastic is constantly increasing, going from 15 million in 1964 to the current 340 million (World Economic Forum et alii, 2018) of which Asia produces about 50% and, only China, about 29% (Plastics Europe, 2018). Europe is the second largest producer of plastics, with its 60 million tons, about 20% of world production. Since the fifties of the last century, with the start of the widespread use of plastic, 8.3 billion tons of plastic have been produced, throwing about 6.3 billion in nature. Even if only the production trend remains unchanged, it is estimated that the amount of plastic waste in 2050 could reach 34 billion tons of which at least 12 tons would constitute scattered waste.

To date only 9% of plastic is recycled, 12% incinerated while 79% ends up in landfills and in natural environments (Geyer, Jambeck and Law, 2017). From 1990 up today, consumption has steadily grown (+ 5% per year) and European consumer demand is increasing in parallel with production. Faced with this exponential growth from year to year, Gaëlle Gourmelon (2015) of the Worldwatch Institute explains how recovery and recycling remain insufficient, since most of the plastic ends up in landfills and, above all, in the oceans. It is estimated that, every year, 1.15 to 2.41 million tons of plastic (Lebreton, 2018), mainly polyethylene (PE) or polypropylene (PP) (Chen, 2017) enter the oceans and there are five islands of plastic floating in the oceans, the largest of these, in the Pacific of about 80,000 tons.

Europe plastic consumption is on average 31 kilos per year per capita; Italy is the seventh Euro-

pean country in terms of plastic waste generation per capita, with around 35 kilos per year, most of which for packaging use. This sector holds the record for the greatest use of plastic, immediately followed by the building one. This environmental emergency highlights a strong responsibility of the society that must necessarily cope with the ever-growing need to properly dispose of plastic. If we consider only the building sector, the use of plastic is widespread not only in relation to the production of building materials (insulation, pipes, frames, etc.) but also in the entire building process: storage and packaging of the material and transport.

The designers, not only as citizens but also as the main actors in building policies, have the great responsibility to find new strategies to limit the use of plastic and, at the same time, to imagine new forms of reuse. From this background, the research started with the aim of reusing plastic for building purposes. Methodologically, the first phase of the research was focused on outlining and knowing the topic, in particular through the study of its historical and evolutionary process, and then dwell on the different typologies. The question arose as to which type of plastic was the most suitable and most readily available for re-use. The choice was finally focused on the 500 ml bottles, frequently and widely used, and whose life cycle is very often very short: the bottle is consumed and thrown intact in its original form.

Although there are different types of plastics in which the polymer composition varies (Sadat-Shojai and Bakhshandeh, 2011), the research presented here focuses mainly on PET polyethylene terephthalate, the main polymer used to produce water bottles (Container Recycling Institute, 2019) and whose production amounts to just under 4 million tons in Europe in 2017 (Plastics Europe, 2018). Compared to the numbers mentioned above, this estimation shows that it is not as a significant production as respect to the total, but certainly a widely diffused and easily available polymer. Subsequently, since the aim of this research was not to replace the disposal circuits currently in use, but to become an additional recycling circuit, the choice was directed towards those bottles for which a new future is not foreseen, also investigating the process of the Life Cycle Assessment of plastic. In particular, the 'end of life' is a fundamental phase because it offers a second use to the product through recycling (for the generation of a new good) or recovery for energy purposes (Capioli and Lavagna, 2013).

With the introduction of separate waste collection, there are several end-of-life treatment options for bottle: washed and reused, a process called up-cycling, with which it is transformed into a different product, transformed into energy through combustion or, at worst, invade the planet in the form of garbage (Fig. 1). In recycling centres, therefore, the bottles are sorted, crushed and packed for shipment to specialized companies that insert into the shredders and sell the product to other companies that recycle raw materials. The plastic reduced in granules then can be transformed into soft plastic, hard plastic or fibers that generate the release of other products on the market. The sectors of use of plastic are different (Fig. 2): first of all the packaging (about 39.7%), the building and construction sector (19.8%), automotive (10.1%), electrical and electronic (6.2%), leisure and sports (4.1%), food

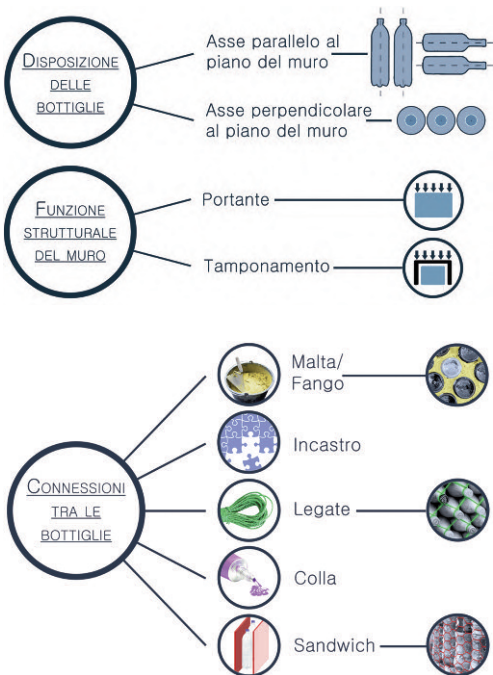


Fig. 10, 11 - Design variables: Arrangement of the bottles and structural function or not; Connections between the bottles.

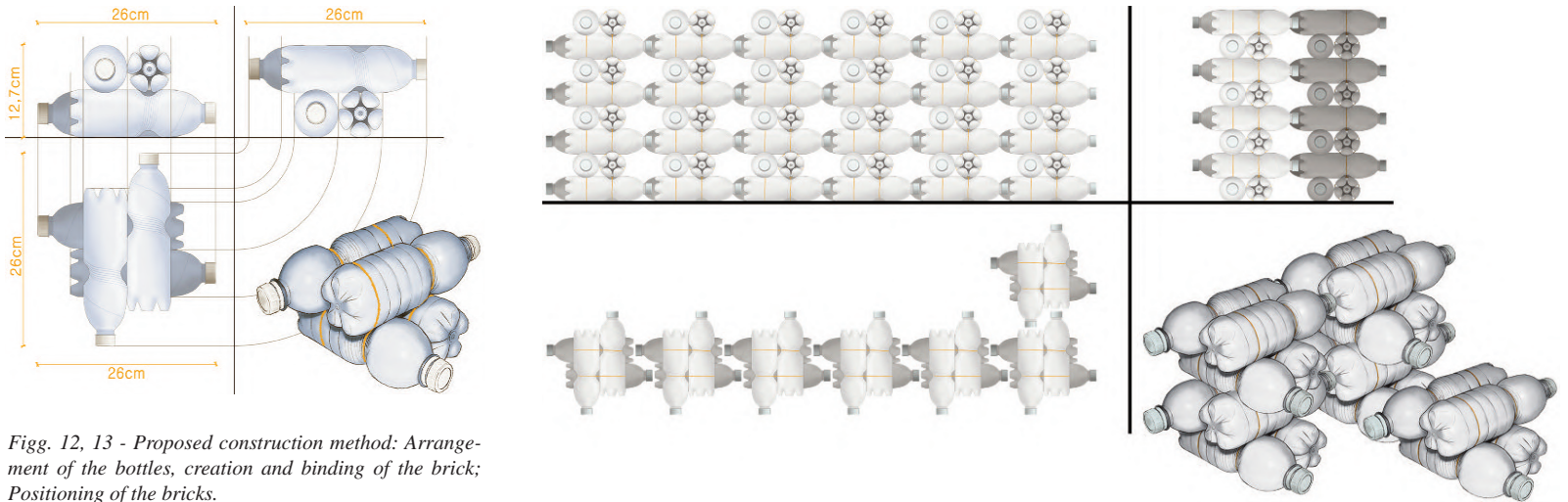


Fig. 12, 13 - Proposed construction method: Arrangement of the bottles, creation and binding of the brick; Positioning of the bricks.

and agriculture (3.4%) and others (16.7%) (Plastics Europe, 2018).

In light of the above, a critical recognition and cataloguing phase of different case studies was launched, aimed at comparing similarities, differences, advantages and disadvantages, presented below, until the proposal of a new construction system with plastic bottles with a structural function.

**Building with bottles: case studies and design variables** – The idea of building with bottles is nothing new; many designers have previously exploited this material for the construction of buildings, developing construction methods based on recycling and re-use of these types of containers (Mansour and Ali, 2015). For example, thanks to their availability and cheapness, the bottles could become an important resource in the building sector, especially in the field of self-construction. The research has therefore started with a collection of examples in the construction of buildings with bottles. In order to systematize the data we proceeded through a critical reading, aimed at highlighting its merits and critical points, of previously collected case studies, through the evaluation of some variables to be taken into account in the design choice: the material, the form, the type of filling the bottle, their arrangement and function (structural or not) and finally the type of connection between them.

Glass is, and has been, the most common type of material to contain liquids. Despite possessing various shapes and sizes, the common characteristic of these containers is that they are very resistant and, therefore, suitable for use as bricks, even if there is no type of content inside them. In fact, they are the first examples of houses made of bottles – see: WoBo Summer House, Netherlands, 1965; Bottle Houses, Canada, 1980-1984 (Fig. 3); Casa di Bottiglie, Italy, 1999. Nowadays, the assisted design examples examined use PET bottles as a brick, thanks to their versatility, lightness during transport and availability. In addition to the material, there are bottles of different shapes available on the market (Fig. 4): this makes it possible to select, depending on the characteristics, the type and arrangement of the most suitable containers for achieving a specific purpose (Anyanka, 2011). An example is the bottles of the Coca-Cola Company which, with their peculiar conical mouth, are particularly suitable for the construction of columns, if they are arranged radially (see: Ecotec Bi4PVS,

Africa, Latin America and India since 2001; Fig. 5).

In most of the analysed case studies, the bottle is first seen as a container and only later as building material, but history has proposed cases in which, from the moment of its conception, even before being a container, the final product it presented itself as a real ‘emergency brick’. Over the years, functional forms have therefore been designed first of all for the construction, so as to no longer have to compromise with the inefficiency of the formats available on the market; the function of container has instead provided the necessary pretext to motivate the production and sale of these bottles: the WoBo (World Bottle) Summer House wanted by the same Heineken already in 1960 and the United Bottle of 2007 (Fig. 6) are some examples.

Taking advantage of the natural function of holding the bottles, it is possible to improve the performance of the bottle as a building material according to the type of filling used. Among the examples analysed, the bottles that have a filling differentiation are only those in PET, while those in glass have always been used empty. When we talk about empty bottles, however, it is appropriate to make a distinction between uncapped bottles – therefore effectively without any type of content – and those in which we consciously chose to trap air inside them (Casas de las Botellas, Argentina, 2000; Fig. 7), thus improving its thermal performance. The choice of the type of filling is also determined by the characteristics required of the wall and the availability of the material (Fig. 8): hair and feathers are excellent for insulation, but do not offer any static guarantee, unlike gravel. The excavation ground has the advantage of being immediately available and at no cost, and its features improve if the content is sieved; sand is therefore the best and most used filling, because it combines thermal and structural capabilities (Ruiz Valencia, Lopez Perez, Cortes and Froese, 2012). Particular are the Eco-Bricks (Taaffe, O’Sullivan, Rahman and Pakrashi, 2014): plastic bottles containing waste such as bags of chips, cellophane packaging and the like, which are not commonly recyclable (see Bottle Schools, Guatemala, 2009; Fig. 9).

The bottles, like bricks, can be arranged with different orientation with respect to the direction of the wall, going to affect the thickness and aesthetics, as well as its bearing capacity. If, for example, the bottles are placed horizontally next to

each other with the axis perpendicular to the course of the wall, there is a greater thickness of the wall that will be able to have a supporting function (see Casa di Bottiglie, Italy, 1999). If, on the other hand, the axis is parallel to the wall plane, the bottles can be arranged vertically, horizontally or even in an oblique position, creating interesting geometric patterns that can be left exposed (Wat Pa Maha Chedi Kaew, Thailand, 1984-2004); in this case, however, the load-bearing function is entrusted to more traditional structures of beams and pillars in reinforced concrete, steel or wood, while the task performed by the bottles is only the infill (Fig. 10).

Except for special cases such as the United Bottle, in which the shape of the bottle guarantees a firm and interlocking union, the containers need a constraint that keeps them in place. Inherited from the brick tradition, the mortar was the first and most used method of connection for both plastic and glass, replaced in some cases by glues and resinous materials that perform the same function with superior performance and lower thicknesses. With the development of assisted design, methods have been studied to improve the connection between bottles in order to improve the stability of the building. The containers can then be tied together so as to limit their reciprocal movements. This solution, however, is often not sufficient and is therefore assisted by the use of the mortar or the use of a technique that involves the sandwich closing of the bottles between two containing layers (Fig. 11).

A particularly interesting example for the purposes of this research is the pioneer project in the construction of self-supporting structures in PET bottles, called the Ecotec BiPVS by Andreas Froese (Fig. 5) active in various developing countries since 2001, exceeding the 50 structures so far built. Several tests, in collaboration with the Pontificia Universidad Javeriana of Bogotá in Colombia, have been conducted to verify its resistance and stability (Ruiz Valencia et alii, 2012). This method involves the use of plastic bottles filled with sand, earth or gravel as a building material and seems to be particularly effective both structurally, being earthquake-proof, fire and bullets, and thermally, maintaining a constant internal temperature of 18-20 °C all year. This construction system provides a stacking method in which the bottles of the next layer are placed in the recess formed by the two bottles below: this solution cre-



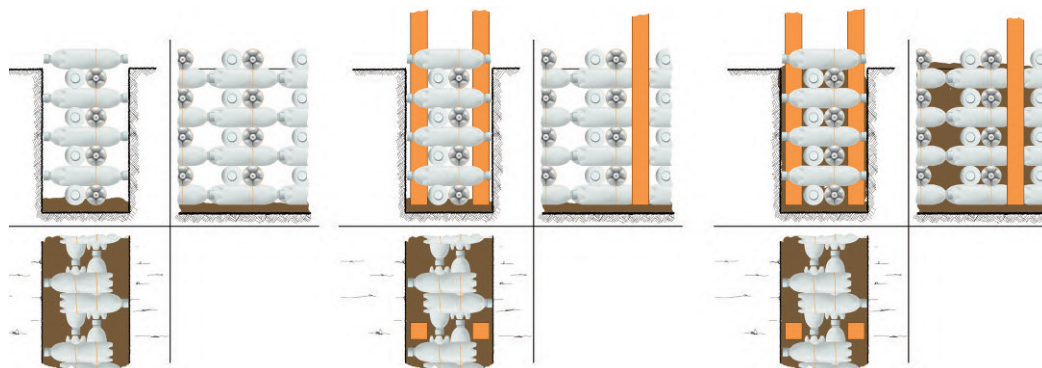
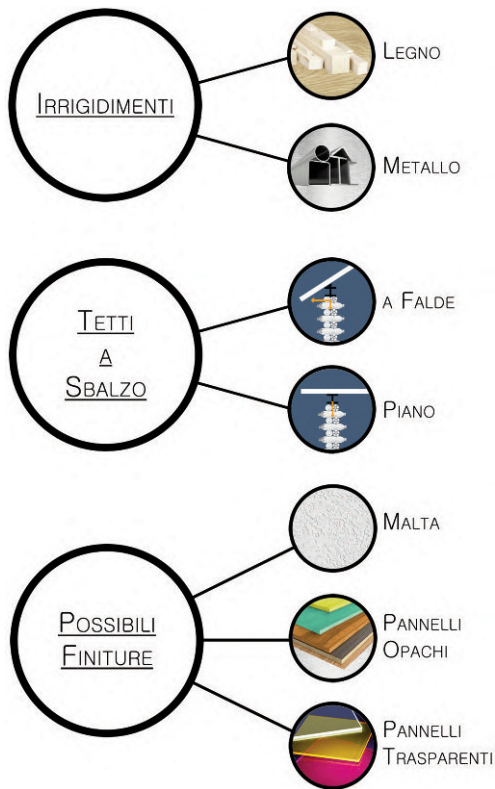


Fig. 14, 15 - Proposed construction method: Design choices; Construction of the base of the wall.

ates a problem of removal due to weight, thus forming fractures in the mortar between one bottle and another, and breakages at the points where the wall stops. Therefore, among the various forms, the circular one was preferred, so that the structure self-balances and pillars are constructed as corner and break elements at the openings for the doors. The windows, instead, tend to be small with wooden or metal frames (Kusimwiragi, 2011).

The proposal for a new construction method – Starting from the reading of the case studies, an attempt was made to propose a constructive method that could solve, in part at least, the problems encountered in structures already built, with particular attention to those that use bottles with load-bearing function (see WoBo Summer House, Netherlands, 1965; Casa di Bottiglie, Italy, 1999; Ecotec BiPVS, Africa, Latin America and India, since 2001). At the base of all the construction systems that use alternative materials is the desire to provide simple, but not obvious, solutions to problems concerning the difficulty of finding materials or the impossibility of using the usual building technologies. These less traditional methods try to make the most of the constructive potential of objects commonly considered to be of low value and propose new solutions, designed to overcome the drawbacks that the use of unconventional materials determine.

At the base of the project is the selection of the bottle type: in PET of 500 ml and with shrinkage at about 2/3 of its height, the bottle was chosen mainly for its best availability in intact conditions (Sharma, 2017) – being used above all outside the home, thrown in baskets for undifferentiated waste, often without being first crushed – but also because the shape with narrowing is the most widespread and has the best mechanical performances. Taking advantage of this particular geometry it has been possible to use the bottles with

load-bearing function, obviating the problem of compression found in buildings already constructed, through a composition that allows to better respond to this type of effort. The new construction method proposed involves the creation of a ‘brick’ formed by 2 lower bottles and 2 upper ones perpendicular to the previous ones: in this way the problem of mutual removal due to weight does not occur: using the bottleneck, in fact, the four bottles of the ‘brick’ they fit into each other. The compression, in fact, pack the bottles, reducing the possibility of mutual slipping and improving the joint (Ferrari, 2016).

The construction of the wall takes place putting alongside the various bricks, treating them as shaped blocks, similar to pieces of a puzzle that work by shape. It is therefore necessary to find a way to hold the four bottles together and then be able to handle them as a single block. The use of glue was immediately discarded, as it makes it impossible to make small adjustments to the position once the bricks have been laid. It was therefore decided to tie together the bottles with wire – preferred to the other possible solution that involves the use of ropes – for better cohesion (Fig. 12). Since the bottles are positioned in two layers perpendicular to each other, to make the wall it is sufficient to stack the different blocks; also, in this case the choking of the bottles guarantees a better stability of support. The bricks are juxtaposed and stacked without ever changing their orientation, even when the direction of the wall changes, making it possible to cross the walls at right angles without using special devices (Fig. 13).

The static characteristics of the wall thus composed are implemented based on the filling chosen for the bottles. It is not possible to leave them empty, either because of excessive deformation when subjected to load, or above all because the air inside them deforms the bottle as the temperature changes. Different types of materials have therefore been taken into consideration, including those with excellent thermal properties, such as hair and feathers, and dry waste which could deform unevenly if subjected to compression. The choice therefore fell on sand or excavated earth, due to their immediate availability and good mechanical properties.

Once the brick and the basic layout were defined, it was therefore possible to configure the real construction method, which is characterized, in addition to the bricks, by pre-established functional elements (stiffening, roofing and external finishing), whose material may vary depending on the

purpose, characteristics desired thermal and aesthetic properties and its availability (Fig. 14). The construction of the structure starts from the base, constituted by a foundation excavation in which a first course of bottle bricks is positioned on a layer of earth to improve its support on the ground. Continue with other brick courses until you reach ground level; the uprights are then inserted at regular intervals and finally the excavation is filled with earth, to form a solid and compact base for the rest of the structure (Fig. 15).

Uprights, crossbars and tie rods constitute the elements of stiffening of the structure and prevent excessive movement of the bottles in the event of impacts or lateral thrusts, especially in the upper part of the wall, where the stability guaranteed by the weight of the bottles is lower. Four vertical uprights kept closed by the tie rods cage at regular intervals a single column of bottles which thus becomes a stiffening for the structure, while the crosspieces between one column and another block the rest of the bottles and act as an eventual coupling for finishing panels. Uprights and crosspieces do not increase the thickness of the wall, but are positioned by taking advantage of the particular arrangement of the bottles which creates a series of physical spaces, ‘channels’ in which to house uprights and crosspieces, and holes in which the tie rods pass, creating thus a more solid and compact structure (Fig. 16). For a complete reversibility of the structure and to guarantee the possibility of assembling and dismantling cyclical, uprights and crossbars can be made up of metal profiles and use threaded rods for tie rods. For a more economical and easier to assemble structure, even if not equally reversible, it is possible to replace the wood to the profiles and to use the rope as a tie rod.

Having defined the entire wall, the problem of the type of coverage to be adopted was posed. The proposed type of bottle masonry, as described, works well in compression, while lateral thrusts, despite stiffening, could create problems. Although no seismic checks have been made, it is reasonable to think that problems could occur with respect to which it would be necessary to find a design solution supported by laboratory tests that simulate the seismic action. Another possible criticality could derive from the wind pressure on the panelling, also in this case to be verified. For these reasons, three design decisions have been taken in relation to the effects of the roof on the wall. First of all, we have chosen to use a massive sleeper, which guarantees a certain degree of compression to the

bricks placed on the top of the wall which, having no weight above them, would be little or not at all deformed and with little friction to keep them together. Having to rest on the bottles, the sleeper is not fixed to the uprights, but only contained by these so as to be able to accommodate any small failure over time. The uprights in fact perform exclusively a containment function (Fig. 17).

The second decision aims to tackle the problem of an excessive bending moment that could lead to the overturning of the last layer of bricks. The preferable solution is that of a cantilevered roof, as light as possible and which goes to balance, at least in part, the internal-external rotation of the wall. With regard to the type of roofing, it is possible to make some general considerations: a pitched structure allows for a higher internal height, but it could transmit to the wall cutting forces and problematic horizontal thrusts, preferably to be avoided. A flat roof, which only drains vertically, is therefore more appropriate.

To complete the structure, it is possible to add a subsequent layer of light panels that enclose the bottles, so as to guarantee protection against impacts and give the building a more finished appearance. For example, by using the crosspieces, it is possible to hook up the matt finishes, which hide the bottles from view and give the wall a more traditional look or transparent finishes, which keep the bottles in sight while ensuring their safety. Both solutions allow a good level of inspectability, maintainability and reversibility to the construction package as they can also be removed in case of necessary verification of the condition of the bottles. The materials that can be used can be the most varied, such as wood, plastic, metal sheet or ceramic, as long as they are not excessively heavy (Fig. 18). Thanks to this 'sandwich' structure, it is also possible to implement the energy performance requirements of the package thanks to the insertion of an insulation layer such as rock wool, wood or straw fibers before completing it with the external finish. It is of course possible to use different finishes for the interior and exterior, so as to adapt the interior walls to the function of the building. Since the method lends itself to the use of different materials, it is possible to create buildings of a completely different nature, from a temporary pavilion that shows the construction method to a fixed building with a traditional appearance (Fig. 19).

**Laboratory tests** – To validate the new construction method, which uses unconventional materials, and which exploits the mechanical properties deriving from the combination of envelope and content, an f.e.m. analysis was performed, accompanied by compression tests carried out in the laboratory. The tests had the dual purpose of evaluating the effective resistance of the 'brick' to the compression, so far only hypothesized, and verifying the correspondence to the reality of the answers provided by the program, based on the data hypothesized as input. The calculations were performed considering the total weight of the sand filled bottles according to the design data, equal to 2.9 kg for the single brick, and the weight of a hypothetical flat roof, designed as a light structure (for example in steel and plexiglas). In the first hypothesis, this choice follows the idea of not overloading the plastic masonry, but it is certainly pos-

sible to predict and experiment with solutions with more massive technological coverings.

For the static analysis a basic bottle has been modelled with a simplified geometry (highlighting the supporting surfaces), repeated four times to create the brick, in turn repeated 20 times in order to reproduce a single column of bottles forming part of the wall. On the support surface of the last layer of bottles a load was applied equal to the weight of the roof on the single column (500N). The weight of the bricks is transferred from the model thanks to the application of gravity acceleration. At the base of the first layer of bottles a plate was modelled, completely constrained, in order to recreate the support of the bottles on the ground. The values attributed to the materials of the external structure of the PET bottle are modulus of elasticity  $E = 2960 \text{ N/mm}^2$ , tensile strength  $T = 57.3 \text{ N/mm}^2$  and yield strength  $Y = 57 \text{ N/mm}^2$ , while for internal filling in sand fine, modulus of elasticity  $E = 80 \text{ N/mm}^2$ . The analysis showed that the greatest stresses occur at the points of contact between the bottles, particularly in the bottlenecks. The values found are considerably lower than the limit loads of PET, so the integrity of the bottle is guaranteed. The displacements take place along the vertical axis and involve a slight reduction in height of the column. The calculated deformation was then compared with the laboratory tests, the sand being perfectly compacted in the model (Fig. 20).

The tests were performed at the Structural Laboratory of the Eucentre in Pavia on four sample bricks, prepared in advance by filling the bottles with very fine sand, compacted only manually and tied with wire so as to obtain a more solid block than the connection with a simple rope. The bricks were divided to perform two tests: the first on a single brick, the second on a column of three. Using the design data, an operating load acting on the last brick of the column of about 100 kg was calculated. It was therefore decided to start with this load to verify the deformation of the specimen; at a later time, the force acting on the brick was

first doubled, then tripled and finally quadrupled to assess its resistance. After each step, the load was kept stationary for a few minutes. Finally, the compression was increased to the breaking point, which occurred at 6.2 tons due to plastic failure. The test also showed that the deformation occurs only during the loading phase and that the role of the wire is marginal, since the bottles go to compact and fit together. For the second specimen, consisting of three stacked bricks, the loading steps were repeated identical to the previous ones and the break occurred at 4.5 tons, due to the plastic collapse of one of the central brick bottles.

The test confirmed the strength of the structure, already demonstrated by the calculation f.e.m., as the break occurred in both cases well beyond the operating load. The greater failure occurred for both specimens in the first loading phase at 100 kg, probably due to the presence of air between the grains of sand in the bottles, compacted only manually, and not to the characteristics of the material. This allowed, however, a better settlement of one on the other, increasing its stability. In the subsequent loading phases the deformation has settled at a value of about 1 mm per brick at each step, a value which has been further reduced to 10 times the operating load, increasing the compactness of the sand inside the bottles.

The failure in height due to the load in operation is therefore not negligible and in the design phase it is necessary to take this into consideration estimating a height of 7 mm less for each brick (Fig. 21). The deformation calculated in the analysis f.e.m. it was lower than that found during the laboratory test, since the sand is already perfectly compacted in the calculation. As the load and therefore the compactness of the sand increase, the results of the calculation and the test have become more comparable. It can therefore be deduced that the addition of extraordinary loads on the roof does not lead to excessive failure and consequent problems of interlocking with the crossbars and tie rods positioned.

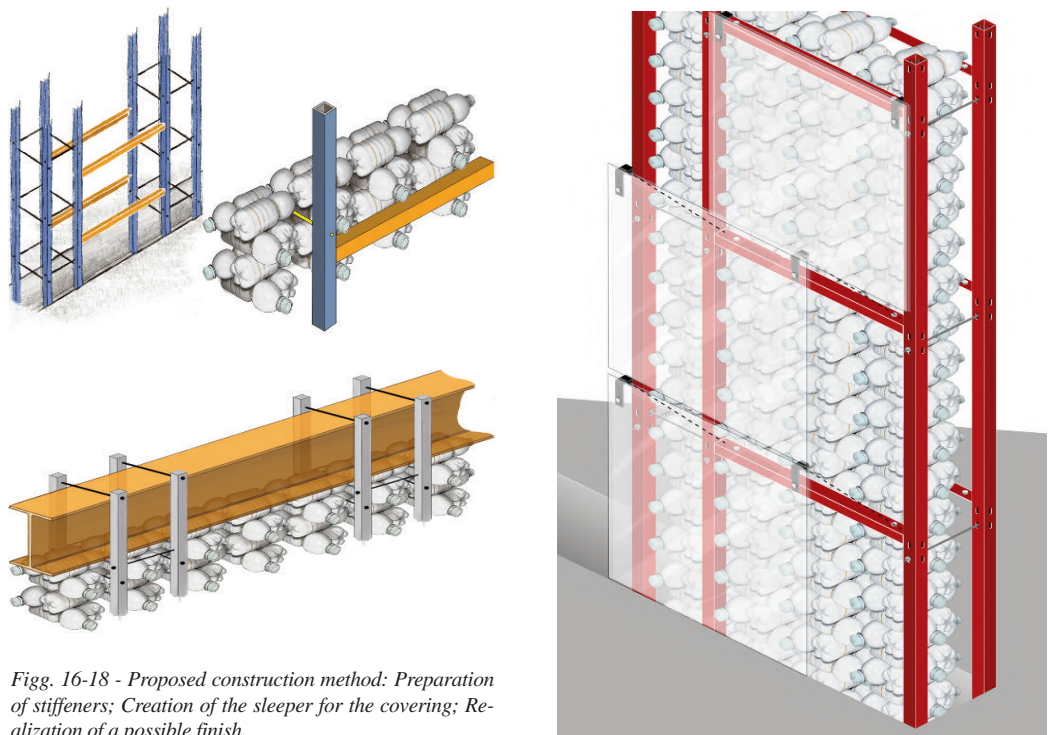


Fig. 16-18 - Proposed construction method: Preparation of stiffeners; Creation of the sleeper for the covering; Realization of a possible finish.



**Conclusions** – It is now widely known and accepted that the production of plastic waste is an environmental emergency. The research presented here has therefore set itself the goal of understanding what could be the additional cycles of reusing plastic bottles, even with the knowledge that they have no claim to become a substitute for other recycling hypotheses. The proposal of a constructive system based on plastic bottles brings with it equally important assessments not only environmental but also about the social and cultural implication on its use. On the other hand, this constructive method allows an interesting application in different contexts with different possibilities of use, proposing itself as exportable and implementable constructive guidelines: from emergency and temporary architectures to more stable constructions, from highly urbanized contexts to Global South, respecting its social and cultural context (Chun and Brisson, 2015).

If applied in contexts of extreme poverty, where the scarcity of resources makes it difficult to find material for the construction of a house, this method can be re-analysed, due to its intrinsic nature, through two possible distinct actions: the first that takes over step by step all the phases and characteristics of the structure, re-analysing the variables and implementing a choice of materials more suited to the availability of the place; the second time to simplify the structure and construction as much as possible, returning to the idea of basic aggregation by eliminating all the support additions, which guarantee the possibility of building dry and the reversibility of the building. Compared to most of the case studies analysed, a constructive solution was proposed in which the bottle was really used as a load-bearing function, exploiting, in the design of the wall, also the experience of the few cases in which laboratory tests had been conducted (see Ecotec BiPVS). This aspect made it possible to discard some solutions that had already been lacking in prior studies. Moreover, in contrast to many analysed case studies, which very often propose architectures with circular shapes, we tried to study a solution with a more flexible level of typological and functional employability.

Finally, the research presented here still leaves ample margins for further investigation and verification regarding the optimization of the plastic wall design: more accurate modelling to evaluate structural behaviour, rather than checks under dynamic actions, such as earthquakes or wind actions, are to date still open topics. At the same time, it could be interesting to carry out tests of energy evaluation of the external vertical and horizontal closure packages, to define their behaviour in terms of thermal resistance, water and air tightness. For the purpose of a real exportability and application of the proposed method, it could finally be interesting to design low-tech constructive solutions up to a subsequent performance optimization with the use of high-tech materials, depending on

the specific context of the project and in respect of the characteristic's basic constitutive elements. Experiments on the types of coverage packages or optimization of the 'brick' module still leave the research open to interesting future developments.

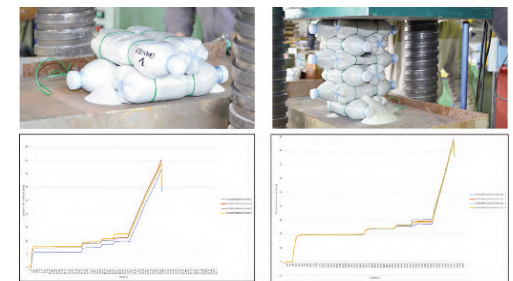
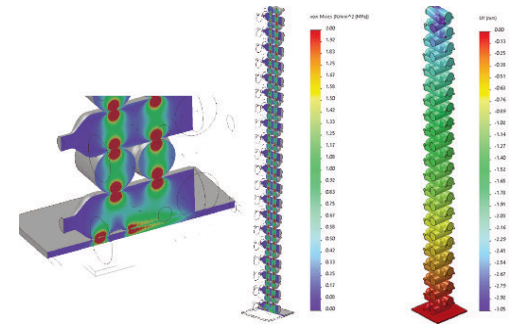
**ACKNOWLEDGEMENTS**

The proposed research, starting from the recognition of the state of the art up to the formulation of the construction method, was conducted personally by the Authors of the paper while the test was performed, under the supervision of the authors, at the Eucentre Laboratory in Pavia with the collaboration of eng. R. Franzolin and of eng. S. Girello.

Credits for all images: Ferrari, C. (2016), *Progettare con le bottiglie di plastica: proposta per un padiglione a città del Messico*, Master Degree Thesis in Engineering and Architecture, Supervisor Prof. Daniela Besana, University of Pavia (Italy).

**REFERENCES**

Anyanka, U. (2011), *Nigeria recycles plastic bottle, into housing!* [Online] available at: <https://greennigeria.wordpress.com/2011/08/12> [Accessed 10 April 2019].  
 Campioli, A. and Lavagna, M. (2013), "Innovazione ambientale dei processi di trasformazione del costruito e ciclo di vita", in *Techne | Environment Emergency*, vol. 5, pp. 66-73.  
 Chen, Q. et alii (2017), "Pollutants in Plastics within the North Pacific Subtropical Gyre", in *Environmental Science and Technology*, vol. 52, n. 2, pp. 446-456. [Online] available at: <http://doi.org/10.1021/acs.est.7b04682> [Accessed 29 April 2019].  
 Chun, A. M. S. and Brisson, I. E. (2015), *Ground Rules in Humanitarian Design*, John Wiley & Sons, New Jersey.  
 Container Recycling Institute, *Plastic Facts & Statistics*. [Online] available at: <http://www.container-recycling.org/index.php/factsstatistics/plastic> [Accessed 10 April 2019].  
 Ferrari, C. (2016), *Progettare con le bottiglie di plastica: proposta per un padiglione a città del Messico*, Master Degree Thesis in Engineering and Architecture, Università di Pavia.  
 Geyer, R., Jambeck, J. R. and Law, K. L. (2017), "Production, use and fate of all plastic ever made", in *Science Advances*, vol. 3, n. 7, pp. 1-5. [Online] available at: <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782> [Accessed 10 April 2019].  
 Kusimwiragi, K. (2011), *Investigating the Compressive Strength of Plastic Bottles as Masonry*, Uganda University. [Online] available at: [https://www.eco-tecnologia.com/phocadownload/descargas/k.kalumire\\_thesis.pdf](https://www.eco-tecnologia.com/phocadownload/descargas/k.kalumire_thesis.pdf) [Accessed 29 April 2019].  
 Mansour, A. M. and Ali, S. A. (2015), "Reusing waste plastic bottle as an alternative sustainable building material", in *Energy for Sustainable Development*, vol. 24, pp. 79-85.  
 Lebreton, L. C. M. et alii (2018), "Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic", in *Scientific Reports* 8, article n. 4666. [Online] available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w> [Accessed 29 April 2019].  
 Plastics Europe (2018), *Plastics: the facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. [Online] available at: [https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics\\_the\\_facts\\_2018-afweb](https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics_the_facts_2018-afweb) [Accessed 29/04/2019].



	Carico	Forza applicata [daN]	Cedimento Totale [mm]	Cedimento medio per 'mattoncino' [mm]	Cedimento relativo [mm]
Provino 1	di esercizio	100	7,68		7,68
	x2	200	9,12		1,44
	x3	300	10,16		1,04
	x4	400	11,21		1,05
	x10	1000	14,93		7,25
	a rottura	6225	37,54		30,16
Provino 2	di esercizio	100	19,23	6,41	6,41
	x2	200	23,86	7,95	1,57
	x3	300	26,03	8,68	0,73
	x4	400	28,54	9,51	0,83
	x10	1000	39,36	13,2	6,79
	a rottura	4467	62,21	27,40	20,99

Fig. 19-21 - Proposed construction method: Exportability of the method; Calculations of stresses and displacements; Laboratory test verification.

Ruiz Valencia, D., Lopez Perez, C., Cortes, E. and Froese, A. (2012), "Nuevas alternativas en la construcción: botellas PET con relleno de tierra", in *Apuntes: Revista de Estudio sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies*, vol. 25, issue 2, pp. 292-303.  
 Sadat-Shojai, M. and Bakhshandeh, G. R. (2011), "Recycling of PVC wastes", in *Polymer Degradation and Stability*, vol. 96, pp. 404-415.  
 Sharma, H. (2017), "Innovative and Sustainable Application of PET Bottle a Green Construction Overview", in *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 10, issue 16, pp. 1-6.  
 Taaffe, J., O'Sullivan, S., Rahman, M. E. and Pakrashi, V. (2014), "Experimental characterization of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks" in *Materials & Design*, vol. 60, pp. 50-56.  
 World Economic Forum, Ellen Mac Arthur Foundation and Mc Kinsey Company (2016), *The New Plastic Economy: Rethinking the future of plastic*. [Online] available at: [www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org) [Accessed 14 February 2019].

<sup>a</sup> DANIELA BESANA, Engineer-Architect and PhD, she is Associate Professor at the DICAr Department of the University of Pavia (Italy). She carries out research on the recovery and re-use of cultural heritage, with reference to construction technologies and design strategies. Tel. +39 (0)382/98.54.04. E-mail: daniela.besana@unipv.it

<sup>b</sup> CLAUDIA FERRARI, Engineering-Architecture, she works as a freelancer mainly performing f.e.m. and structural calculations d.b.a. and a code for engineering studies. Mob. +39 348/81.36.706. E-mail: clo88@hotmail.it



## IL PROCESSO DEL PROGETTO PER LA RESOURCE PRODUCTIVITY UN CASO STUDIO

### THE DESIGN PROCESS TOWARDS RESOURCE PRODUCTIVITY A CASE STUDY

Serena Baiani<sup>a</sup>, Paola Altamura<sup>b</sup>

#### ABSTRACT

La transizione verso un'economia circolare, applicata in via prioritaria all'ambiente costruito, è riconosciuta nei più recenti indirizzi UE come approccio promettente per aumentare la produttività delle risorse. In Italia, una potente leva è rappresentata dall'obbligatorietà di applicazione dei Criteri Ambientali Minimi del Green Public Procurement che, in edilizia (DM 11/10/2017), riguarda la totalità degli appalti. Il contributo ne descrive uno dei primi casi applicativi compiuti, posto in riferimento all'innovazione nel processo del progetto in ottica life cycle, che si riflette in particolare nelle modalità di selezione e approvvigionamento dei materiali, bio ed eco-compatibili, con contenuto di riciclato, certificati, nonché nel progetto della disassemblabilità dei componenti edilizi.

The transition to a circular economy, applied as a priority to the built environment, is recognized in the most recent EU guidelines as a promising approach to increase resource productivity. In Italy, a powerful lever is represented by the mandatory application of the Minimum Environmental Criteria within Green Public Procurement which, in construction (Ministerial Decree 11/10/2017), concern the totality of the contracts. The paper describes one of the first complete implementations of these Criteria, considering the innovation in the design process from a life cycle perspective, which is reflected in particular in the methods of selection and procurement of natural and eco-friendly materials, with recycled content and certified products, as well as in the design for disassembly of building components.

#### KEYWORDS

produttività delle risorse, dalla culla alla culla, disassemblabilità, materiali riciclati, acquisti verdi della pubblica amministrazione

resource productivity, cradle to cradle, design for disassembly, recycled materials, green public procurement

La transizione verso un'economia circolare è stata progressivamente riconosciuta come approccio promettente per massimizzare il valore, aumentando la produttività delle risorse, riducendone al minimo il consumo e i relativi sprechi. Nell'ultimo decennio, infatti, a livello Comunitario è cresciuta sensibilmente l'attenzione sull'uso efficiente delle risorse materiche, con l'emanazione di una Roadmap (Commissione Europea, 2011) e di un Piano d'Azione (Commissione Europea, 2015), seguiti dal pacchetto di nuove direttive in materia di rifiuti ed economia circolare del 2018, volti a favorire la trasposizione dell'approccio circolare all'ambiente costruito. Rispetto allo stato di implementazione del Piano d'Azione, l'UE ha pubblicato<sup>1</sup> a marzo 2019 un Report relativo alle 54 azioni avviate nell'ultimo triennio, delle quali 3 specificamente dedicate ai rifiuti da costruzione e demolizione. Dal Report (Commissione Europea, 2019) si evince chiaramente la netta direzione assunta dall'UE verso la transizione a un'economia circolare: nel 2016, infatti, le attività circolari (riparazione, riutilizzo, riciclaggio) hanno generato quasi 147 miliardi di euro di valore aggiunto e il contributo dei materiali riciclati alla domanda globale di materiali registra un continuo incremento (Commissione Europea, 2019). Tuttavia, si individua un forte margine di potenziale crescita, laddove nel 2016 i materiali riciclati sono riusciti a soddisfare in media meno del 12% della domanda di materiali dell'UE<sup>2</sup>. Nel trend di crescita di questo importante indicatore (Circular Material Use Rate) l'Italia si distingue per un incremento pari a quasi il 6%, tra il 2010 e il 2016, e un tasso del 17,1% che nel 2016 la colloca significativamente al di sopra della media UE, a un livello comparabile con Francia, Regno Unito e Belgio, inferiore soltanto ai Paesi Bassi (3XN, 2015; Icibaci, 2019).

In Italia, d'altra parte, le norme in materia di Green Public Procurement (GPP) avevano precocemente introdotto (DM 203/2003) disposizioni mirate alla circolarità dei processi produttivi, prevedendo già allora, in via pionieristica, un contenuto minimo del 30% di riciclato in tutti i prodotti acquistati dalle Pubbliche Amministrazioni (Gargari, Hamans and Torricelli, 2013; Cianciullo, 2016). Obiettivo all'epoca disatteso, rilanciato con il più recente aggiornamento del Piano d'Azione Nazionale per il GPP (DM 10/04/13), ma soprattutto tramite l'obbligatorietà di applicazione dei relativi Criteri Ambientali Minimi (CAM) per le singole

categorie merceologiche, sancita dal DLgs 50 del 2016 che in edilizia (DM 24/12/15 e DM 11/10/17) riguarda la totalità degli appalti. In totale aderenza agli indirizzi europei, i CAM Edilizia introducono, per quanto attiene il tema della Resource Efficiency dei materiali, diversi criteri legati al progetto e alle fasi di cantiere. Si introduce l'obbligo dell'adozione dell'audit pre-demolizione, dei processi di demolizione selettiva e di un tasso di recupero degli scarti da costruzione e demolizione pari al 70% (DM 11/10/17, par. 2.4.2), conforme agli obiettivi della Dir. 98/2008 in materia di rifiuti. Al contempo, si prescrive un contenuto minimo di materia riciclata o recuperata pari al 15% in peso del totale dei materiali impiegati nell'intervento edilizio (par. 2.4.1.2) di qualsiasi natura esso sia, specificando soglie pertinenti ad alcuni dei principali materiali da costruzione. Il criterio che appare più innovativo, rispetto alla prassi costruttiva nazionale, è tuttavia quello relativo alla disassemblabilità (par. 2.4.1.1) dei componenti edilizi, che deve essere garantita per il 50% dei componenti in peso.

Emerge, quindi, la necessità di orientare la progettazione in un'ottica di reversibilità sistemica che permetta di evidenziare le connessioni tra le componenti come elemento prioritario dell'architettura, in un'ottica di dematerializzazione e con un approccio Zero Waste Design (come sviluppato presso la Eindhoven University nel 2000).

*Esperienze di ricerca e sperimentazione progettuale* – Il contributo restituisce, pertanto, alcune riflessioni metodologiche elaborate dal Gruppo di Lavoro (GdL) sulla base di attività di ricerca e sperimentazione progettuale orientate a comporre le interrelazioni tra l'obiettivo di un'elevata Resource Productivity dei materiali da costruzione e l'innovazione nel processo del progetto in ottica Life Cycle, con l'obiettivo di trasferire nella cultura tecnologica mediterranea il Reversible Building Design (Mulhall and Braungart, 2010). Il progetto della de-costruzione che passa per la disassemblabilità delle componenti (Fig. 1), permette di realizzare il principio della flessibilità d'uso e la variazione nel tempo dell'edificio, consente la riparazione, il riutilizzo e il recupero di materiali, prodotti e componenti, l'aggiornamento o la sostituzione, con una accessibilità semplificata ai diversi strati, per la reversibilità delle connessioni (Carvalho Machado et alii, 2018; Co.Project, 2016).

Da tale approccio progettuale deriva un'impor-

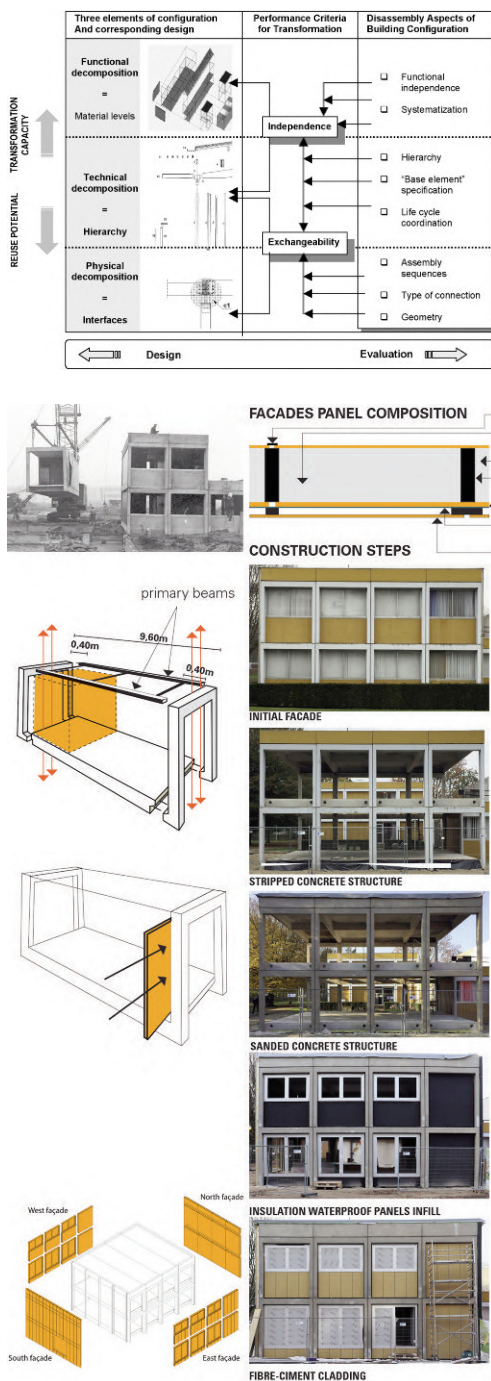


Fig. 1 - Design for disassembly in the sense of reversibility as intended in the Reversible Building Design Guidelines of the BAMB Project: critical factors to be considered to increase the potential for reuse and/or the potential for transformability of the technological system through decomposition (credit: E. Durmisevic, 2018).

Fig. 2 - System of interventions on the building envelope in the Circular Retrofit Lab (BAMB Project, Testing BAMB results through prototyping and pilot projects, 2019).

tante potenzialità di innovazione a livello di prodotto, ottenibile anche con il trasferimento tecnologico di soluzioni costruttive reversibili tra più settori e tra diversi componenti edilizi (Densley Tingley and Allwood, 2015). Dal punto di vista metodologico, il caso pilota del Circular Retrofit Lab, realizzato presso il VUB di Bruxelles nell'ambito del progetto europeo H2020 Buildings as Materials Banks (BAMB), costituisce un importante riferimento per un approccio 'research by design' e una visione 'process approach'<sup>3</sup>. Il progetto

Circular Retrofit Lab evidenzia, infatti, la necessità di sinergie tra le attività dell'industria delle costruzioni, combinando il processo di progettazione, il processo di collaborazione e cooperazione, e il processo di apprendimento.

I moduli prefabbricati in calcestruzzo (Variel System, arch. Fritz Stucky), inizialmente utilizzati come soluzione temporanea, sono stati installati nel Campus VUB negli anni '70 per far fronte alla crescente domanda di alloggi per studenti. La flessibilità del sistema modulare, sviluppato in Svizzera, ha permesso di realizzare un layout variabile che ha generato una sequenza articolata di spazi verdi e costruiti. L'analisi della capacità di reversibilità di un edificio esistente, presupposto della sperimentazione sviluppata nell'ambito del progetto BAMB, ha dimostrato la necessità di riutilizzo di strutture in cls armato ad alto impatto ambientale (valutato in base a LCA), attraverso la verifica di compatibilità e integrabilità con l'esistente di sistemi tecnici e materiali attualmente in produzione – utilizzati in modi innovativi per consentire l'adeguamento ai requisiti di sicurezza e performance termica dell'involucro (Fig. 2) – con l'eliminazione dei pannelli originali di facciata contenenti amianto, di qualità dell'ambiente interno, efficienza energetica in uso, flessibilità dell'assetto e adattabilità a diversi usi. Tale approccio è in grado di generare soluzioni circolari, facendo leva sulle attuali proposte del mercato e su prodotti e componenti di ampio uso.

Il progetto pilota ha testato e realizzato diversi scenari per il riuso e il recupero degli alloggi prefabbricati degli studenti nel VUB Campus, senza generare elevate quantità di rifiuti. Sono state esplorate strategie di trasformazione (indoor e outdoor) per la definizione di molteplici ri-configurazioni funzionali del modulo, attraverso l'adozione di prodotti disponibili sul mercato, testando soluzioni smontabili, adattabili e riutilizzabili. In base al livello di flessibilità funzionale previsto, sono stati selezionati, analizzati, montati e trasformati tre diversi sistemi di separazione interna (Dynamic Walls), caratterizzati da elevata variabilità, elevato grado di flessibilità per l'integrazione degli impianti e ridotta complessità tecnologica.

Il prototipo ha testato componenti modulari, prefabbricati e sistemi a kit, smontabili e riutilizzabili, adattandoli a diverse configurazioni possibili utilizzando connessioni reversibili, in base a un layout funzionale definito, in conformità con l'approccio del 'reversible design' (Durmisevic, 2018), integrando materiali naturali, riciclati e riciclabili, secondo modalità differenziate. Il progetto pilota ha sviluppato un processo co-creativo lungo tutte le fasi di (ri)progettazione, (ri)costruzione, (ri)uso o smontaggio, attraverso la consultazione con gli stakeholder, per verificare le possibili soluzioni compatibili ed efficienti.

In particolare sono stati posti a confronto (Fig. 3): sistemi a telaio metallico, a sezione complessa (adattati dai Kit del Sistema Geberit) con partizioni interne in pannelli lignei e elemento battiscopa per il passaggio degli impianti (Fig. 4); sistemi a telaio in legno, a sezione rettangolare, completato da pannelli in cartongesso a elementi modulari avvitati, con intercapedine a livello battiscopa per il passaggio degli impianti (Sistema Gyproc, certificato Cradle to Cradle; Fig. 5). In legno, il Sistema Systember utilizza montanti in massello maschiati, con possibile integrazione dei montanti degli im-

pianti, con connettori metallici di giunzione (Fig. 6). Inoltre, sono state montate partizioni in cartongesso con giunti a secco e intercapedine a livello battiscopa per il passaggio degli impianti (Sistema Saint Gobain; Fig. 7). La capacità di connessione tra sistemi diversi è elemento cruciale per il progetto che attraverso la facilità e la velocità di utilizzo rende user-friendly soluzioni diverse, complesse e variabili.

In Italia, sul requisito di disassemblabilità, dal 2015 è intervenuto uno specifico obbligo legato al relativo criterio contenuto nei CAM Edilizia, per la cui implementazione si pongono, nell'immediato, alcuni limiti legati alle modalità e prassi consolidate dagli operatori delle costruzioni, orientate tradizionalmente verso soluzioni costruttive a umido. Ulteriore ostacolo, in termini di potenzialità di attuazione dei CAM Edilizia, si pone per l'obbligo di adottare una quota di prodotti da costruzione bio ed eco-compatibili, con contenuto di riciclato e certificati che, per il loro carattere non convenzionale, risultano frequentemente non presenti nei prezzari regionali. Ciò comporta, nella specifica dei prodotti all'interno di computo metrico estimativo e capitolato, il maggior onere dell'elaborazione di nuovi prezzi da parte del professionista: problema del tutto superabile, mediante un regolare aggiornamento dei prezzari regionali peraltro cogente, che andrebbe certamente sollecitato. Consapevole di tali criticità, attraverso la partecipazione ai tavoli tecnici del MATTM per lo sviluppo e progressivo aggiornamento dei CAM Edilizia, il GdL contribuisce alla definizione delle modalità di implementazione dell'approccio circolare nella filiera edilizia nazionale, in dialogo con i diversi stakeholder (Ficco, 2018).

Il GdL ha, inoltre, testato l'applicazione dei CAM Edilizia attraverso una delle prime sperimentazioni progettuali a livello nazionale condotta fino alla fase di costruzione<sup>4</sup>. L'edificio scolastico, un asilo nido di 400 mq progettato e realizzato nel 2017 nell'area civile dell'Aeroporto Militare di Grosseto, per il Ministero della Difesa<sup>5</sup> (Fig. 8), è attualmente in fase di ri-progettazione per una seconda edificazione, in un'area analoga, a Viterbo. La nuova esperienza, a due anni dalla precedente, rappresenta un'utile occasione per affinare le soluzioni progettuali, soprattutto quelle finalizzate a un'elevata produttività delle risorse, e sondare il progressivo adeguamento del mercato rispetto all'offerta di materiali conformi ai CAM.

L'iter progettuale che, da un progetto di fattibilità tecnico-economica sviluppato dalla Stazione Appaltante ha condotto al progetto definitivo e poi esecutivo e alla realizzazione dell'opera, ha richiesto il confronto tra più soluzioni costruttive e materiali alternativi per la struttura in elevazione, la copertura, i rivestimenti di facciata e le finiture dell'edificio scolastico, in rispondenza ai criteri 2.4.1 e 2.4.2 del DM 11/10/17 – Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici (in particolare, 2.4.1.1 – Disassemblabilità; 2.4.1.2 – Contenuto di materia recuperata o riciclata). La sperimentazione progettuale ha posto nello studio e nella verifica esecutiva di soluzioni di copertura e facciata a secco, combinate con varie tipologie di struttura verticale (continua e discontinua) un approccio originale; la definizione di specifiche tecniche e modalità di selezione e approvvigiona-

mento dei materiali, per l'individuazione di prodotti certificati con contenuto di riciclato, con particolare riferimento alla filiera produttiva locale del CLS conforme ai CAM, ha, inoltre, costituito elemento di innovazione.

Il progetto posto a base di gara prevedeva un edificio monopiano con struttura a telaio in cemento armato e tamponatura in laterizio, copertura laterocementizia a falde, facciate rivestite in lastre di gres incollato, con bucatore di dimensione minima: un fabbricato convenzionale, di limitata qualità architettonica e ambientale. L'edificio riprogettato in conformità ai CAM è, invece, un sistema edificato mono piano, in muratura portante realizzata in blocchi multistrato per muratura armata, con copertura piana in legno lamellare (Figg. 9-11) su cui è posato un manto a tetto verde estensivo, con facciate ventilate in lastre di fibrocemento colorato, montate a secco su sottostruttura lignea (Figg. 12, 13). L'adeguamento ai CAM ha consentito un miglioramento sia della qualità architettonica spaziale e tecnologica, tangibile e funzionale a un potenziamento dell'efficacia ecologica dell'organismo edilizio, sia della qualità del comfort ambientale al suo interno, aspetto strategico data la destinazione ad asilo nido.

Ad esempio, ai fini del soddisfacimento del valore medio di luce diurna (2% in base al par. 2.3.5.1 del DM 11/10/17), in rispondenza agli esiti delle analisi illuminotecniche (Fig. 14), sono state ampliate le superfici finestrate e inserita una chiostrina interna, con funzione di patio scoperto per il gioco dei bambini e di presa d'aria e luce naturale per gli ambienti adiacenti, e in particolare per lo spazio-jolly in comune tra le due sezioni (Figg. 15-17). Al contempo si è verificata la necessità di coerenti sistemi di schermatura solare, in particolare

sulle facciate sud-est e sud-ovest, come prescritto dal par. 2.3.5.3 del Decreto, introducendo: una velletta in lamiera di acciaio stirata, con funzione di parapetto del tetto e di fascia di coronamento delle facciate; sistemi di protezione integrati negli infissi (veneziane a lamelle orientabili); due porticati, realizzati con due ampi sporti dalla copertura in legno lamellare.

Il cambiamento della struttura portante, rispetto al progetto di base, con l'impiego di muratura armata in blocchi in calcestruzzo di argilla espansa da 36 cm di spessore (Fig. 18), altamente isolanti e con ottimo comportamento termo-igrometrico, in stagione invernale ed estiva, con interposto isolante in polistirene espanso con grafite, ha permesso di realizzare un involucro massivo ad alte prestazioni energetiche e costi contenuti. Il prodotto impiegato, inoltre, risponde ai CAM per il contenuto di riciclato superiore al 5%, come prescritto per i prodotti in calcestruzzo (par. 2.4.2.1 del DM 11/10/17). Se nel 2017 l'azienda produttrice, tuttavia, non aveva potuto fornire idonea certificazione (come prevista dalle modalità di verifica del Decreto), nel 2019 il medesimo prodotto risulta certificato da ICMQ ai sensi della norma ISO 14021, che risponde pienamente ai requisiti previsti dai CAM. Il prodotto impiegato risulta, inoltre, con capacità termica areica interna periodica (Cip) superiore a 40 kJ/m<sup>2</sup>K, che garantisce di evitare il surriscaldamento interno in regime estivo, come prescritto dal par. 2.3.2 - Prestazione energetica). Il carattere massivo dell'involucro è combinato con il ricorso a un impianto fotovoltaico da 9,50 kW (incrementato del 10% rispetto al progetto a base di gara ai sensi del par. 2.3.3) e 25 mq di pannelli solari termici; entrambi i sistemi ospitati in copertura e mascherati dal parapetto/frangisole in lamie-

ra stirata, associati all'utilizzo di pannelli radianti a pavimento a bassa temperatura e pompe di calore ad alta efficienza, hanno garantito il conseguimento della classe energetica A4 - costruzione a energia quasi zero (NZEB). I calcoli energetici hanno infatti dimostrato che la percentuale di copertura con fonti rinnovabili del fabbisogno annuo di energia elettrica per riscaldamento è pari al 62,03%, mentre quella relativa al fabbisogno annuo di ACS è pari addirittura al 91,59%.

La copertura, con struttura portante in travi in legno lamellare in sostituzione del tetto a falde in latero-cemento, completata da un doppio strato di isolante naturale in sughero e da un pacchetto di tetto verde estensivo al di sopra di un massetto alleggerito gettato in opera per realizzare le pendenze, ha risposto da un lato al criterio della disassemblabilità e del contenuto di riciclato, dall'altro a quanto richiesto dal par. 2.4.2.3 del DM 11/10/17 sulla sostenibilità e legalità del legno. Il sistema costruttivo è realizzato infatti in legname certificato (PEFC), trattato con olii e resine naturali, privi di emissione di sostanze tossiche. Nella ri-progettazione dell'edificio, attualmente in corso, si sta lavorando per aumentare il livello di disassemblabilità del sistema di copertura: nel nuovo fabbricato, il manto sarà realizzato totalmente a secco, per la massima reversibilità del sistema, con una riduzione dei materiali impiegati in termini di numero e di peso. La soluzione prevede, infatti, in luogo del massetto delle pendenze gettato in opera, una doppia orditura di listelli di legno, capace di garantire la creazione della corretta pendenza, e uno strato di finitura in elementi metallici continui a giunti occulti, installati a incastro, senza forature negli strati sottostanti, incombustibili e idonei all'installazione di impianti solari termici e fotovoltaici, nel ri-

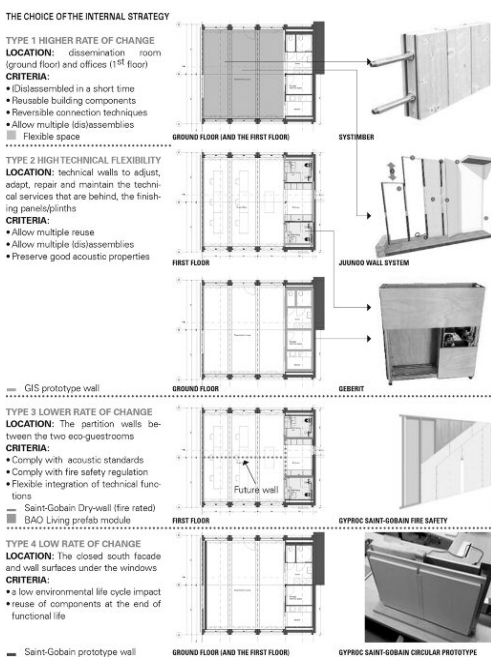
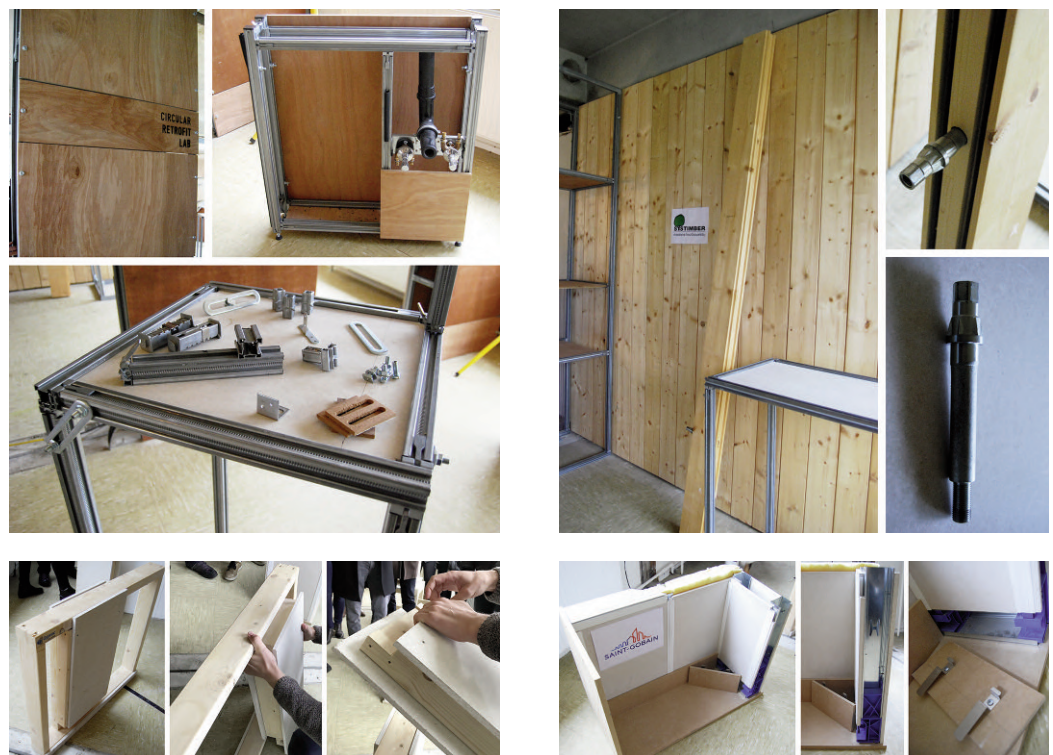


Fig. 3 - Strategies and Systems tested inside the Circular Retrofit Lab (BAMB Project, Testing BAMB results through prototyping and pilot projects, 2019).



Figg. 4-7 - Geberit System for the assembly of removable toilet cisterns, adapted to create disassemblable internal partitions with metal frame and wooden panels; Gyproc System for disassemblable internal partitions in wood and plasterboard with modular interlocking elements; Systimber System for disassemblable walls in solid tongue and groove wood elements joined with metal connectors; Saint Gobain System for disassemblable internal partitions in plasterboard with dry joints with a cavity behind the baseboard for the passage of the systems. All the Systems have been tested in the Circular Retrofit Lab at the VUB Campus in Brussels (credits: P. Altamura, 2019).



Fig. 8 - Overall view of the kindergarten building built in compliance with the GPP CAM for Buildings at the Grosseto Military Airport (credit: P. Altamura, 2019).

Next page. Figg. 9-11 - The building site with reinforced load-bearing masonry in multi-layer expanded clay concrete blocks and a glulam roof; Plan of the kindergarten building as in the executive project; Transversal architectural section of the kindergarten building, through the main hall and the two porticos (credits: P. Altamura, 2017).

spetto delle nuove norme in materia di comportamento al fuoco (Euroclasse A1 EN 13501-1). Si rinuncerà dunque al tetto verde estensivo, a favore di un pacchetto estremamente leggero e completamente smontabile, privo persino di guaine impermeabilizzanti grazie alla continuità del manto.

Al fine di elevare il livello di reversibilità dei componenti edilizi, inoltre, la riprogettazione dell'edificio scolastico, attualmente in corso, è orientata alla scelta di pareti e fodere tecniche poste lungo i muri portanti e negli arredi fissi (Fig. 19), per garantire la rimovibilità di parti degli impianti installate in modo tradizionale. La rispondenza al criterio del comfort termo-igrometrico (par. 2.3.5.7, DM 11/10/17) è stata garantita dall'uso di pareti massive e di coerenti soluzioni per l'involucro in grado di evitare la formazione di ponti termici. In particolare, il rivestimento delle facciate (nel rispetto del par. 2.4.1.1 - Disassemblabilità del Decreto) è realizzato con l'impiego di lastre di grandi dimensioni in fibrocemento ecologico con sottostruttura di supporto in listelli di legno (facciata ventilata altamente traspirante e collaborante alla qualità termo-igrometrica dell'involucro dell'edificio), in sostituzione del sistema di finitura in gres incollato. Il fibrocemento - materiale leggero, sottile, resistente, durevole e ad alta efficienza energetica, con basse emissioni di anidride carbonica in fase di produzione e prodotto da materie prime estratte localmente - si posa a secco con lastre già tagliate in fabbrica su disegno, riducendo i tempi di realizzazione, abbattendo il volume degli scarti prodotti, ottimizzando le operazioni di manutenzione ed eventuale sostituzione di compo-

nenti. La composizione chimico-fisica delle lastre, caratterizzata da materiale atossico e altamente riciclabile, garantisce l'ecologicità del sistema nella fase di vita utile e nell'eventuale dismissione.

La scelta dei materiali da costruzione (par. 2.4.1 - Criteri comuni a tutti i componenti edilizi, DM 11/10/17) si è orientata, coerentemente, verso calcestruzzi che contenessero la percentuale minima di riciclato. Tale condizione non è stata, però, garantita per la indisponibilità, presso i produttori locali, di calcestruzzo conforme ai CAM: l'ipotesi avanzata, quindi, ha verificato la possibilità di ricorrere alla fornitura di aggregati riciclati nella Regione Lazio. La valutazione dei costi in riferimento alle quantità necessarie, ha reso tale ipotesi non praticabile per la Stazione Appaltante. Per realizzare la platea di fondazione (200 mc di calcestruzzo) sarebbero serviti circa 0,5 ton/mc di aggregati riciclati, ovvero 100 tonnellate di inerti, con costi di circa 400 euro/ton, a cui aggiungere le spese di trasporto (oltre 3.000 euro). A due anni di distanza, nell'ambito del processo di 'procurement' legato alla nuova struttura scolastica da realizzare a Viterbo, si è riscontrata invece la presenza sul territorio, a una distanza ammissibile dall'area di intervento, di due impianti di produzione di CLS che si sono organizzati per poter garantire forniture conformi ai CAM.

Per le finiture delle superfici orizzontali, le scelte sono, invece, state orientate verso prodotti ecologici, certificati e di seconda vita. Le pavimentazioni interne sono state realizzate in linoleum (Fig. 20) di alta qualità ed ecologico, prodotto con un 40% minimo di riciclato e privo di emissioni

nocive (par. 2.4.2.9 - Pavimenti e rivestimenti, DM 11/10/17). Il prodotto adottato è un materiale naturale, certificato Cradle to Cradle, il cui limite è stato riscontrato soltanto nell'assenza di certificazioni di idoneità all'uso nelle vie di fuga, ai sensi delle normative antincendio, che ha comportato la necessità di effettuare test in opera per la certificazione ex post del materiale. A due anni di distanza, nella riprogettazione in corso, il fornitore si è dotato, anche in questo caso, di idonea certificazione. Le pavimentazioni delle aree gioco esterne sono composte da granulo di gomma riciclata, derivante da pneumatici dismessi, prodotta con materiale riciclato post-consumo (PFU) per il 90% (par. 2.4.1.2 - Materia riciclata, DM 11/10/17). Sono stati inoltre installati igloo in materiale plastico riciclato in funzione di vespaio di aereazione e di allontanamento del gas radon (par. 2.3.5.8). Relativamente ai materiali utilizzati, annoverando anche il legno FSC alla stregua del materiale riciclato, come previsto dalle ultime indicazioni del MATTM sulle modalità di applicazione dei CAM (che chiariscono come il legno certificato sia da considerarsi al pari del materiale riciclato), si è riusciti a raggiungere la soglia minima del 15% in peso di contenuto di riciclato complessivo.

*Conclusioni* - La valutazione a confronto delle due fasi della sperimentazione progettuale, realizzate in un intervallo temporale ridotto, permette di evidenziare che l'obbligatorietà dei CAM rappresenta un driver per il miglioramento dell'efficacia ecologica complessiva del progetto, nonché una potente leva nell'integrazione dell'approccio circolare nel-

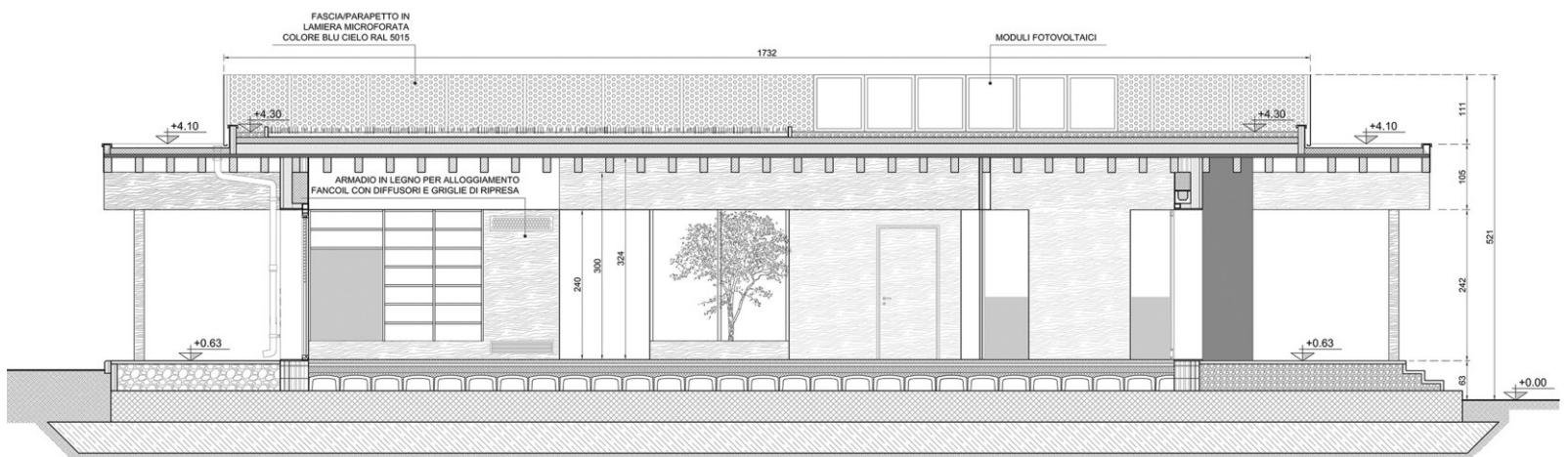
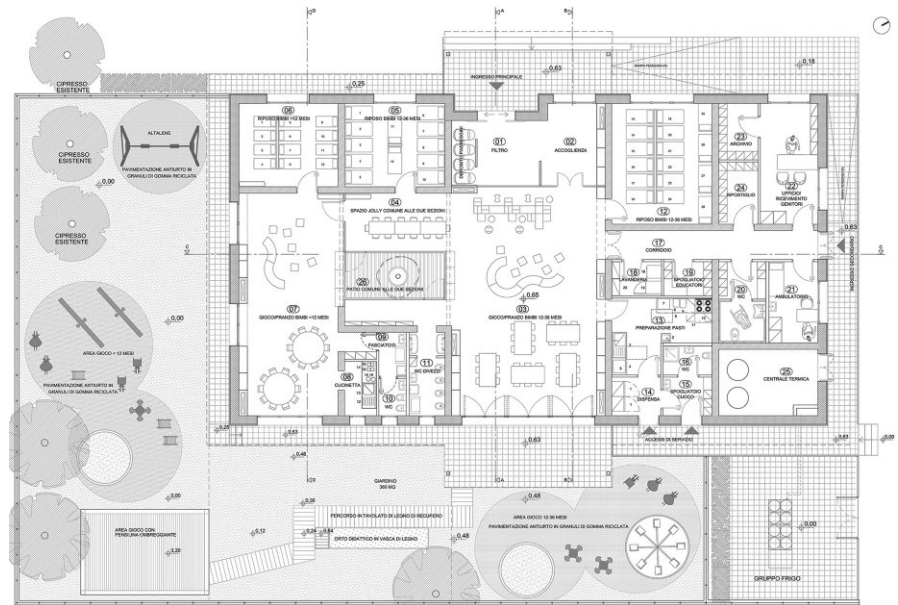
la filiera delle costruzioni. In tal senso, si è inteso evidenziare le innovazioni di processo e prodotto necessarie per una compiuta implementazione dell'approccio circolare nella progettazione e nell'esecuzione dell'architettura. Sono evidenti, infatti, i limiti delle esperienze nazionali, se poste a confronto con le best practices europee, nella circoscritta adozione di soluzioni costruttive reversibili e nelle complessità determinate dall'obiettivo di garantire il rispetto della soglia del 50% di componenti disassemblabili, in peso, compatibili con le tecniche costruttive appropriate al clima locale.

La costruzione reversibile, leggera e disassemblabile, costituisce, in ambito mediterraneo, un sistema non del tutto adeguato in termini di efficienza energetica, in riferimento ai sistemi costruttivi locali, in cui la consistenza massiva genera un comportamento passivo, adeguato alle variazioni microclimatiche stagionali. L'obiettivo, che la ricerca attuale si pone, è orientato al trasferimento del Reversible Building Design sulle modalità costruttive 'tradizionali' in contesto mediterraneo, attraverso la valutazione tecnica delle strategie e dei sistemi de-costruibili appropriati. In tal senso, il caso studio riportato evidenzia un possibile bilanciamento tra le esigenze di massa e di reversibilità delle costruzioni, nella combinazione della muratura portante con la struttura a secco in legno lamellare di copertura.

Relativamente ai materiali, invece, la soglia di contenuto minimo di materia riciclata o recuperata pari al 15% in peso del totale dei materiali impiegati nell'intervento edilizio, la sperimentazione permette di garantire il superamento di tale percentuale, quasi in ogni scelta effettuata, dimostrandone il livello limitato della richiesta. È, inoltre, emersa chiaramente, la capacità di adeguamento del mercato nell'offerta di prodotti conformi alle normative, che si è dimostrata rapida e piuttosto mirata a specifici prodotti, quali i blocchi per le murature (certificazione del contenuto di riciclato), i materiali per le pavimentazioni e gli arredi scolastici.

**ENGLISH**

*The transition to a circular economy has been progressively recognized as a promising approach to maximizing value, increasing resource productivity, minimizing consumption and related waste production. In fact, in the last decade, the EU has significantly increased the attention on the efficient use of material resources, with the issuing of*





a Roadmap (European Commission, 2011) and of an Action Plan (European Commission, 2015). These have been followed in 2018 by the package of new directives on waste and the circular economy, aimed at favouring the transposition of the circular approach to the built environment. In relation to the state of implementation of the Action Plan, in March 2019 the EU published<sup>1</sup> a Report on the 54 actions launched in the last 3 years, of which 3 specifically dedicated to construction and demolition waste. The Report (European Commission, 2019) evidently shows the clear direction taken by the EU towards the transition to a circular economy: in 2016, in fact, circular activities (repair, reuse, recycling) generated almost 147 billion euros added value and the contribution of recycled materials to the global demand for materials recorded a continuous increase (European Commission, 2019). However, there is a large margin of potential growth, seeing as in 2016 recycled materials managed to meet on average less than 12% of the total demand for materials of the EU<sup>2</sup>. In the growth trend of this important indicator (Circular Material Use Rate), Italy stands out for an increase of almost 6%, between 2010 and 2016, and a rate of 17.1% which in 2016 places it significantly above the EU average, at a comparable level with France, the United Kingdom and Belgium, only lower than the Netherlands (3XN, 2015; Icibaci, 2019).

In Italy, on the other hand, the rules on Green Public Procurement (GPP) had very early introduced regulations (Ministerial Decree no. 203/2003) aimed at the circularity of production processes, with a pioneering approach which already called for a minimum of 30% recycled content in all products purchased by Public Administrations (Gargari, Hamans and Torricelli, 2013; Cianciullo, 2016). This target, disregarded at the time, has been relaunched with the most recent update of the Italian National Action Plan for GPP (Italian Ministerial Decree 10/04/13). Moreover, the new Public Procurement Code (Legislative Decree 50/2016) has sanctioned the mandatory application of the GPP Minimum Environmental Criteria (CAM) for individual categories of products, which in the building sector (Ministerial Decree 24/12/15 and Ministerial Decree 11/10/17) applies to the totality of the contracts. In total compliance with the European guidelines, the CAM for Buildings introduce, with regard to the theme of resource efficiency of materials, different criteria related to the project and the construction phases. It introduces the obligation to adopt pre-demolition audits, selective demolition processes and a recovery rate of construction and demolition waste equal to 70% (Ministerial Decree 11/10/17, paragraph 2.4.2), in compliance with the objectives of Directive 98/2008 on waste. At the same time, it requires a minimum content of recycled or recovered material equal to 15% by weight of the total materials used in any type of building intervention (par. 2.4.1.2), establishing specific thresholds with reference to some of the main building materials. However, the most innovative requirement set by CAM, in relation to the national construction practices, is the one relating to the disassembling of the building components (par. 2.4.1.1), which must be guaranteed for 50% of the components by weight.

Therefore, the need to orient architectural design in terms of systemic reversibility emerges, al-



Figgs. 12, 13 - Details: The substructure of the ventilated façade in fiber-cement slabs, made with wood slats; The façade covered in dry-mounted fiber-cement slabs, with the effect of solar shading given by the metal mesh panels (credits: P. Altamura, 2017).

lowing to highlight the connections between the components as an overriding element of architecture, with a view to dematerialisation and with a Zero Waste Design approach (as developed at Eindhoven University, 2000).

Research experiences and design experimentation – This contribution reports some methodological reflections elaborated by the Working Group (WG), based on research experiences and design experimentation focusing on the interrelations between the objective of a high Resource Productivity of buildings materials and the innovation of the design process from a Life Cycle perspective, with the aim of transferring Reversible Building Design into the Mediterranean technological culture (Mulhall and Braungart, 2010). Design for deconstruction, which entails the disassembly of the components (Fig. 1), allows to fulfil the principle of flexibility in use and of the variation over time of the building, as well as the restoration, reuse and recovery of materials, products and components, their updating or replacement, with simpli-

fied accessibility to the various layers, thanks to the reversibility of connections (Carvalho Machado et alii, 2018; Co.Project, 2016).

From this design approach, an important potential for innovation at the product level derives, which can also be obtained with the technological transfer of reversible construction solutions between multiple sectors and different building components (Densley Tingley and Allwood, 2015). From a methodological point of view, the pilot case of the Circular Retrofit Lab, carried out at the Brussels VUB within the European H2020 project Buildings as Materials Banks (BAMB), represents an important reference for a 'research by design' approach and a 'process approach' vision<sup>3</sup>. In fact, the Circular Retrofit Lab project highlights the need for synergies between the activities of the construction industry, combining the design process, the collaboration and cooperation process, and the learning process.

The prefabricated concrete modules (Variel System, arch. Fritz Stucky), initially used as a temporary solution, were installed in the VUB Campus in the 1970s to meet the growing demand for student housing. The flexibility of the modular system, developed in Switzerland, made it possible to create a variable layout that generated an articulated sequence of green and built spaces. The analysis of the reversibility capacity of an existing building – a prerequisite for the experimentation developed within the BAMB project – has demonstrated the need to reuse reinforced concrete structures with a high environmental impact (assessed on the basis of LCA), through the verification of compatibility and integration of technical systems and materials currently in production, used in innovative ways. This approach is able to generate circular solutions, by leveraging current market proposals and widely used products and components, able to allow the adaptation of the building envelope to the safety and thermal performance requirements (with the elimination of the original façade panels containing asbestos), as well as to ensure the quality of indoor environment, energy efficiency in use, flexibility of the structure and adaptability to different uses (Fig. 2).

The pilot project tested and implemented different scenarios for the reuse and recovery of students' prefabricated housing in the VUB Campus, without generating large quantities of waste. Transformation strategies (indoor and outdoor) were explored for the definition of multiple functional re-configurations of the module, through the adoption of products available on the market, testing removable, adaptable and reusable solutions. Based on the expected level of functional flexibility, three different systems of internal separation (Dynamic Walls), were selected, analysed, assembled and transformed, characterized by high variability, high degree of flexibility for plant integration and reduced technological complexity.

The prototype tested modular, prefabricated components and kit systems, which can be dismantled and reused, adapting them to different possible configurations using reversible connections, based on a defined functional layout, in accordance with the 'reversible design' approach (Durmisevic, 2018), integrating natural, recycled and recyclable materials, in different ways. The pilot project thus developed a co-creative process throughout all phases of (re) designing, (re) construction, (re) use

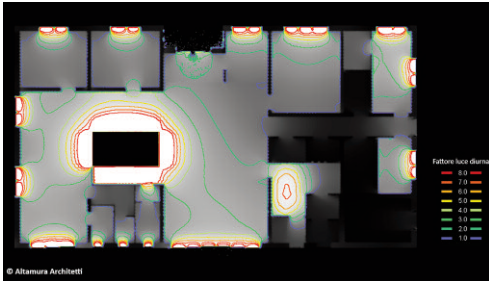


Fig. 14-17 - Diagram showing the assessment of the daylight factor in the kindergarten building; The main room of the kindergarten buildings, illuminated by the internal patio; The second kindergarten hall, used as a refectory and visually connected to the main hall by the internal patio; The internal patio created to reach the average daylight factor prescribed by the GPP CAM for Buildings (credits: P. Altamura, 2017, 2019).

or deconstruction, through the consultation with stakeholders, in order to identify and verify compatible and efficient solutions.

In particular, a comparison was made (Fig. 3) between: metal frame systems with complex sections (adapted by the Geberit System Kits) with internal partitions in wooden panels and a baseboard element for the passage of plumbing and electric systems (Fig. 4); wooden frame systems, with rectangular section, completed by modular elements with screwed plasterboard panels, with a baseboard cavity for the passage of systems (Gyproc System, with Cradle to Cradle certification; Fig. 5). The Systember System uses solid tongue and groove wood elements, joined with metal connectors, with potential integration of the systems in the vertical modules (Fig. 6). Furthermore, plasterboard partitions were installed with dry joints and a baseboard cavity for the passage of the systems (Saint Gobain System; Fig. 7). The

ability to connect different systems is a crucial element for the project which, through the ease and speed of use, makes different, complex and variable solutions user-friendly.

In Italy, since 2015 a specific obligation on the requirement of disassembling has been introduced through to the relative criterion contained in the GPP CAM for Buildings. However, for its implementation, at present there are some limits due to the methods and practices normally adopted by construction operators, traditionally oriented towards wet construction methods. A further obstacle, in relation to the potential implementation of GPP CAM for Buildings, can be found in the obligation to adopt natural and eco-compatible construction products, with recycled content, provided with environmental certifications. These products, due to their unconventional nature, are frequently not included in the Italian Regional price lists. This implies, in the specification of the

products within the bill of quantities, the heavier burden of the elaboration of new prices by the designer. A problem that could be completely overcome, through a regular update of the Regional price lists, which is also mandatory and should certainly be solicited. With the awareness of these critical issues, the WG contributes to the definition of the implementation of the circular approach in the national construction chain, in dialogue with the various stakeholders (Ficco, 2018).

The WG also tested the application of GPP CAM for Buildings through one of the first design experiments at national level conducted up to the construction phase<sup>4</sup>. The school building, a 400 square meters kindergarten designed and built in 2017 in the civil area of the Grosseto Military Airport, for the Ministry of Defense<sup>5</sup> (Fig. 8), is currently being re-designed for a second building, in a similar area, in Viterbo. This new experience, two years later, represents a useful opportunity to refine

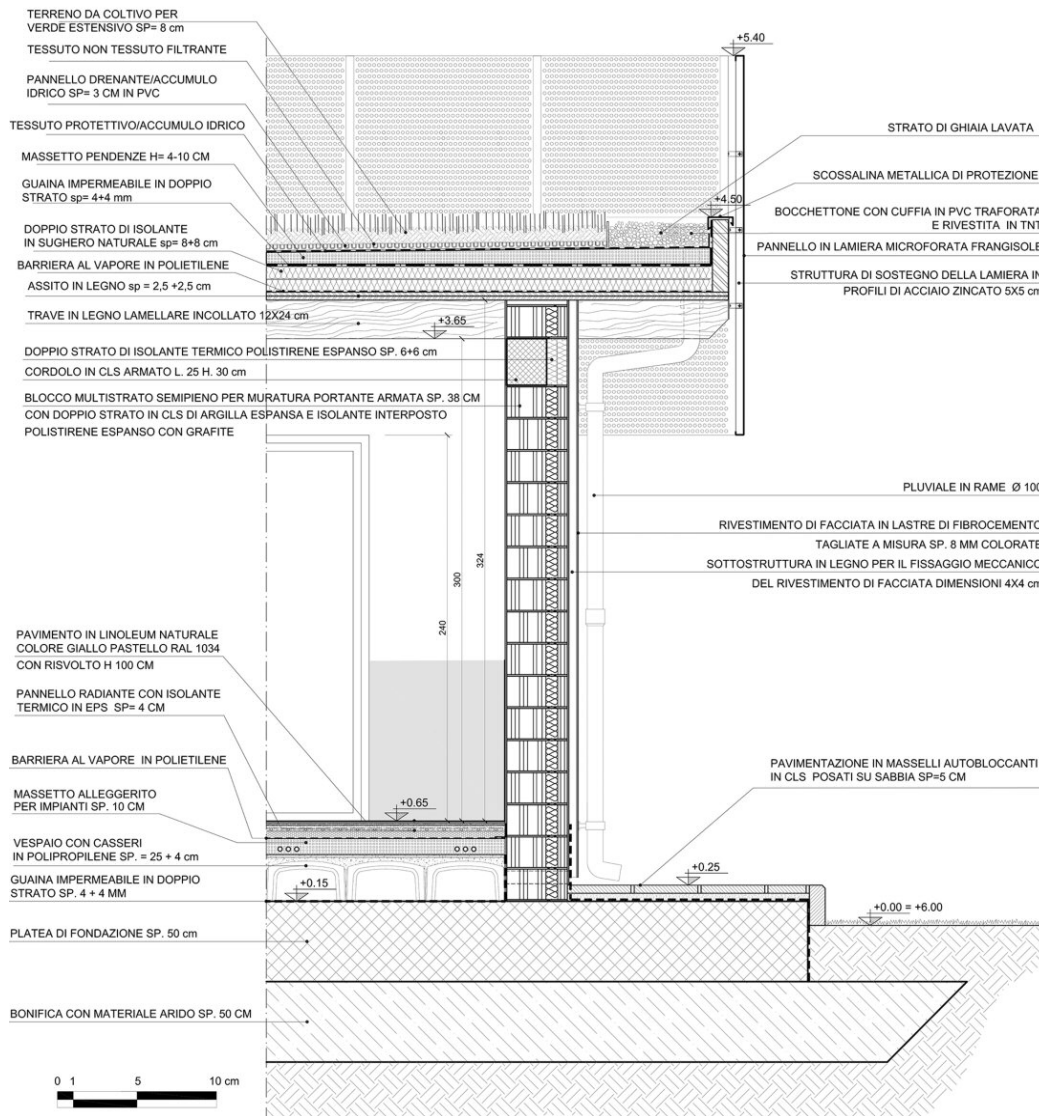


Fig. 18 - Technological section of the kindergarten building with load-bearing masonry and disassemblable glulam roof, showing the ventilated façade solution (credit: P. Altamura, 2017).

the design solutions, especially those aimed at a high productivity of resources, and to prove the progressive adaptation of the market with respect to the offer of GPP CAM compliant building materials.

The design process that, from a technical-economic feasibility project developed by the contracting authority, led to the executive project and finally to the construction of the building, required the comparison between several construction solutions and alternative materials for the structure, the roofing, the façade cladding and the finishing of the kindergarten, in compliance with the criteria 2.4.1 and 2.4.2 of the Ministerial Decree 11/10/17 – Minimum environmental criteria for the assignment of design services and works for the new construction, renovation and maintenance of public buildings’ (in particular, 2.4.1.1 – Disassembling; 2.4.1.2 – Content of recovered or recycled material). The design experimentation used an original approach in the study and in the executive verification of solutions for the roofing and the dry façade, combined with various types of vertical structure (continuous and discontinuous); the definition of technical specifications and methods of selection and procurement of materials, for the identification of certified products with recycled content, with particular reference to the local production

chain of concrete compliant with CAM, also constituted an element of innovation.

The project was based on a single-storey building with a reinforced concrete frame structure and brick outer walls, pitched cement roofing, facades covered with glued ceramic slabs, with minimum size openings: a conventional building of limited architectural and environmental quality. The building, redesigned in accordance with GPP CAM, is, instead, a single-storey building in load-bearing masonry made of multilayer blocks for reinforced masonry, with a flat glulam roof (Fig. 9-11) on which an extensive green roof is laid, with ventilated facades in coloured fibre cement slabs, screwed on a wooden substructure (Fig. 12, 13). The adaptation of the project to GPP CAM, allowed a tangible improvement of the architectural, spatial and technological quality of the building. This improvement was functional both to an enhancement of the ecological effectiveness of the building, and to the quality of the environmental comfort inside it, a strategic aspect given the destination to kindergarten.

For example, in order to satisfy the average daylight value (2% based on par. 2.3.5.1 of the Ministerial Decree 11/10/17), in accordance with the results of the natural lighting analysis (Fig. 14), the

window surfaces were enlarged and an internal small patio was inserted, with the function of outdoor space for children to play and of air and natural light intake for the adjacent rooms, and in particular for the common space between the two sections (Fig. 15-17). At the same time, the need for coherent solar shading systems, in particular on south-east and south-west facades, as required by par. 2.3.5.3 of the Decree, led to introducing: a strip of metal mesh panels, with the function of parapet of the roof and of crowning element of the facades; protection systems integrated in the windows (venetian blinds with adjustable slats); two porticos, made with two large projections of the glulam roof.

The change of the load-bearing structure, compared to the original project, with the use of reinforced masonry blocks of expanded clay, with a 36 cm thickness and interposed insulation in expanded polystyrene with graphite (Fig. 18), highly insulating and with excellent thermo-hygrometric behaviour in winter and summer, made it possible to create a massive envelope with high energy performance and low costs. The chosen product also responds to GPP CAM, with a recycled content of more than 5%, as prescribed for concrete products (par. 2.4.2.1 of Ministerial Decree 11/10/17). However, while in 2017 the manufacturing company was not able to provide suitable certification (as required by the verification methods of the Decree), in 2019 the same product is certified by ICMQ as pursuant to the ISO 14021 standard, which fully complies with the requirements of GPP CAM. The product used for the masonry also has a periodic internal heat capacity of more than 40 kJ/m<sup>2</sup>K, which guarantees to avoid internal overheating in summer, as prescribed by par. 2.3.2 – Energy performance. The massive nature of the envelope is combined with the use of a 9.50 kW photovoltaic system (increased by 10% compared to the tender-based project, in compliance with par. 2.3.3) and 25 square meters of solar thermal panels. Both systems were placed on the roof and masked through the parapet/sunshade in metal mesh panels. These systems, combined with the use of low temperature radiant floor panels and high efficiency heat pumps, ensured the achievement of the energy class A4 – almost zero energy construction (NZEB). Energy calculations clearly showed that the percentage of coverage with renewable sources of the annual electricity demand for heating is equal to 62.03%, while that related to the annual requirement of hot water is 91.59%.

The roof, with a load-bearing structure in glulam beams substituting the traditional concrete pitched roof, completed by a double layer of natural cork insulation, a lightened traditional screed to ensure the necessary slopes, and an extensive green roof package. This responded on the one hand to the criterion of disassembly and of recycled content, on the other to what is required by par. 2.4.2.3 of Ministerial Decree 11/10/17 on the sustainability and legality of wood. The construction system is in fact made of certified timber (PEFC), treated with natural oils and resins, free of toxic substances. In the redesign of the building, currently underway, a detailed study is being conducted in order to increase the level of disassembly of the roofing. In the new building, the roof will be completely a dry system, in order to achieve the maximum reversibility with a reduction in materials employed in terms of number and weight. In

fact, the chosen solution, instead of the traditional wet screed, presents a double frame of wooden slats, able to guarantee the creation of the correct slope, and a finishing layer in continuous metal elements with hidden joints, installed by interlocking, without drillings in the underlying layers. These metal elements are incombustible and suitable for the installation of solar thermal and photovoltaic systems, in compliance with the new fire regulations (Euroclass A1 EN 13501-1). Therefore, the extensive green roof will probably be abandoned, in favour of an extremely light and completely removable package, without even waterproofing sheaths thanks to the continuity of the metal roofing elements.

Moreover, in order to raise the level of reversibility of the building components, the redesign of the school building, currently in progress, is oriented to the choice of walls and technical dry counter-walls placed along the bearing walls and in the fixed furnishings (Fig. 19), in order to guarantee the removability of parts of the systems, installed in a traditional way. The compliance with the thermo-hygrometric comfort criterion (par. 2.3.5.7, Ministerial Decree 11/10/17) was guaranteed through the use of massive walls and coherent solutions for the building envelope, able to avoid the formation of thermal bridges. In particular, the cladding of the facades (in compliance with par. 2.4.1.1 – Disassembly) was made with the use of large slabs of ecological fibre cement with a supporting structure in wood slats (highly breathable ventilated facade collaborating to the thermo-hygrometric quality of the building envelope), replacing the glued ceramic slabs solution of the original project. The fibre cement – a light, thin, resistant, durable and highly energy efficient material, with low carbon dioxide emissions in the production phase and produced from locally extracted raw materials – is screwed to the wooden structure, with slabs cut at the factory according to the design project of the facade, thus reducing installation times and the volume of waste produced, optimizing maintenance operations and allowing the eventual replacement of components. The chemical-physical composition of the slabs, characterized by non-toxic and highly recyclable material, guarantees the ecological nature of the system in the useful life phase and in the eventual disposal.

The choice of construction materials (par. 2.4.1 – Criteria common to all building components, Ministerial Decree 11/10/17) was oriented, coherently, towards concrete containing the necessary percentage of recycled material. Nevertheless, this requirement was not guaranteed due to the unavailability of CAM-compliant concrete by local producers. Therefore, a hypothesis was put forward, of resorting to the supply of recycled aggregates in the Lazio Region. The evaluation of the costs, with reference to the necessary quantities, made this hypothesis not feasible for the contracting authority. To make the foundation slab (200 cubic meters of concrete) about 0.5 ton/mc of recycled aggregates, or 100 tons of aggregates, would have been needed, with costs of around 400 euros/ton, to which transport costs had to be added (over 3,000 euros). Two years later, within the procurement process of the new school building to be set up in Viterbo, two concrete production plants have recently been found on the territory at an admissible distance from the intervention area, who

have organized themselves to be able to guarantee CAM-compliant concrete supplies.

For the finishes of horizontal surfaces, the choices were oriented towards ecological, certified and second-life products. The interior floors were made of high quality and ecological linoleum (Fig. 20), produced with a minimum of 40% recycled content and free of harmful emissions (par. 2.4.2.9 – Floors and walls, Ministerial Decree 11/10/17). The product adopted is a natural material, with a Cradle to Cradle certification, whose only limit was found in the absence of certifications of suitability for use in escape routes, pursuant to fire regulations. This entailed the need to carry out tests for the ex post certification of the material. Also in this case, two years later, in the redesigning process of the building, it has been found that the supplier has equipped himself with suitable certifications. The flooring of the outdoor play areas is composed of recycled rubber granules, derived from discarded tires, produced with post-consumer recycled material for 90% by weight (par. 2.4.1.2 – Recycled material, Ministerial Decree 11/10/17). Furthermore, recycled plastic igloos were installed with a function of aeration and removal of radon gas (par. 2.3.5.8). In relation to the materials used, by considering FSC certified wood in the same way as recycled material, as required by the latest indications of the Italian Ministry of Environment on the implementation of GPP CAM for Buildings, clarifying how certified wood is to be considered equivalent to recycled material, it was possible to reach the minimum threshold of 15% by weight of overall recycled content.

**Conclusions** – The evaluation in comparison of the two phases of the design experimentation, carried out in a short time interval, allows to highlight how the mandatory nature of GPP CAM for Buildings represents a driver for the improvement of the overall ecological effectiveness of the project, as well as a powerful lever in the integration of the circular approach in the construction supply chain. In this sense, the present contribution intended to highlight the process and product innovations necessary for a complete implementation of the circular approach in the design and construction of architecture. In fact, the limits of national experiences are evident, if compared with European best practices, in the circumscribed adoption of reversible constructive solutions and in the complexities determined by the objective of guaranteeing compliance with the 50% threshold of disassemblable components by weight, compatible with building techniques appropriate to the local climate.

The reversible, light and disassemblable construction constitutes, in the Mediterranean area, a system which is not totally adequate in terms of energy efficiency, with reference to local construction systems, in which the massive consistency generates a passive behaviour, adequate to the seasonal microclimatic variations. The objective, which the current research sets itself, is oriented to the transfer of the Reversible Building Design on the 'traditional' constructive modalities in the Mediterranean context, through the technical evaluation of the appropriate strategies and de-constructible systems. In this sense, the case study reported highlights a possible balance between the mass and reversibility requirements of the buildings, in the com-

bination of the load-bearing masonry with the dry structure made of glulam beams and wooden roof.

On the other hand, with regard to materials, and specifically to the threshold of minimum content of recycled or recovered material equal to 15% by weight of the total materials used in the building intervention, this experimentation allowed to guarantee the overcoming of this percentage, for almost every material, proving the limited ambition of the requirement. Moreover, the ability of the market to adapt to the offer of products compliant with regulations emerged clearly, proving to be rapid and rather focused on specific products, such as masonry blocks (certification of recycled content), materials for flooring and school furniture.

## NOTES

- 1) For more details see the Report available at: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/> [Accessed 23 March 2019].
- 2) The data, by Eurostat, can be consulted on the website: [https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=cei\\_srm030&plugin=1](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=cei_srm030&plugin=1) [Accessed 12 February 2019].
- 3) Pilot case documentation is available on the website: <https://www.bamb2020.eu/topics/pilot-cases-in-bamb/retrofit-lab/> [Accessed 2nd April 2019].
- 4) The experience was presented during some conferences, also in the presence of MATTM and described in the article: Altamura, P. (2018), "Criteri Ambientali Minimi per l'edilizia", in *Recycling*, n. 4/2018, pp. 13-17.
- 5) The Client is the II Military Aeronautical Engineering Department; amount of works 1,200,000 euros; the holders of the assignment are Architects C. I. and P. Altamura.

## REFERENCES

- 3XN Architects and Danish Environmental Protection Agency (2015), *Building a circular future*, KLS Grafisk Hus, Denmark. [Online] Available at: <http://www.byggerietsssamfundsansvar.dk/bibliotek/generel/19-cirkulaert-byggeri-3xn-og-mt-hojgaard/file> [Accessed 3rd January 2019].
- Carvalho Machado, R., Artur de Souza, H. and de Souza Veríssimo, G. (2018), "Analysis of Guidelines and Identification of Characteristics Influencing the Deconstruction Potential of Buildings", in *Sustainability*, vol. 10, issue 8, 2604, pp. 1-20. [Online] Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2604> [Accessed 22 January 2019].
- Cianciullo, A. (2016), "Materia rinnovata. Quant'è circolare l'economia: l'Italia alla sfida dei dati", in *Materia rinnovabile, Short Report*, giugno 2016. [Online] Available at: [http://www.conoe.it/wp-content/uploads/2016/06/MateriaRinnovata\\_2016.pdf](http://www.conoe.it/wp-content/uploads/2016/06/MateriaRinnovata_2016.pdf) [Accessed 18 March 2019].
- Co.Project (2016), *Circularity in the built environment: Case studies. A compilation of case studies from the CE100*. [Online] Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Built-Env-Co.Project.pdf> [Accessed 6 February 2019].
- Commissione Europea (2019), *Relazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni sull'attuazione del Piano d'azione per l'economia circolare*, 190 definitivo. [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0190&from=EN> [Accessed 1st April 2019].
- Commissione Europea (2015), *L'anello mancante – Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare*, 614 definitivo. [Online] Available at: [https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/varia/nello\\_mancante\\_piano\\_azione\\_economia\\_circolare.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/varia/nello_mancante_piano_azione_economia_circolare.pdf) [Accessed 1st April 2019].



Commissione Europea (2011), *Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, 571 definitivo. [Online] Available at: [https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/certificazione\\_ambientale/com571\\_tabella\\_di\\_marcia.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/certificazione_ambientale/com571_tabella_di_marcia.pdf) [Accessed 1st April 2019].

Densley Tingley, D. and Allwood, J. M. (2015), "The rise of design for deconstruction. A cradle to cradle approach for the built environment", in Narayanan, Y., Bräu, L. and Deutz, P. (eds), *Proceedings of the 21st International Sustainable Development Research Society, 10-12 July 2015 in Geelong*, Deakin University and Alfred Deakin Research Institute, Geelong, pp. 244-252. [Online] Available at: [http://media.isdrs.org/2015/12/ISDRS15-Proceedings\\_2015.pdf](http://media.isdrs.org/2015/12/ISDRS15-Proceedings_2015.pdf) [Accessed 8 March 2019].

Durmisevic, E. (2018), *Reversible Building Design Guidelines*, BAMB WP3 Reversible Building Design final output, University of Twente, NL. [Online] Available at: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf> [Accessed 12 March 2019].

Ficco, P. (ed.) (2018), *Manuale operativo per gli Appalti Verdi – GPP nell'Edilizia*, Quaderni GPP della Rivista Rifiuti, n. 3, Edizioni Ambiente, Milano.

Gargari, C., Hamans, C. and Torricelli, M. C. (2013), "L'impegno dell'industria delle costruzioni per promuovere la sostenibilità dei prodotti: un approccio comune europeo per le prestazioni ambientali di prodotto | The building sector commitment to promote the sustainability of construction products: a common European approach for the Environmental Product Performances", in *Techne*, vol. 5, pp. 101-109.

Icibaci, L. (2019), *Re-use of Building Products in the Netherlands. The development of a metabolism based assessment approach, A+BE | Architecture and Built Environment*, S. 1, vol. 2. [Online] Available at: <https://journals.open.tudelft.nl/index.php/abe/article/view/3248> [Accessed 31 March 2019].

Mulhall, D. and Braungart, M. (2010), *Cradle to Cradle Criteria for the built environment*, Duurzaam Gebouwd/CEO Media BV, Nunspeet (NL).



<sup>a</sup> SERENA BAIANI, Architect and PhD, is Associate Professor of Architectural Technology at the PDTA Department, Sapienza University of Rome (Italy). Specialized in Industrial Design, she carries out research activities on the relationship between technological innovation and project of existing buildings, based on the themes of ecological and energy efficiency in the recovery of the built environment. Mob. +39 339/30.44.575. E-mail: [serena.baiani@uniroma1.it](mailto:serena.baiani@uniroma1.it)

<sup>b</sup> PAOLA ALTAMURA, Architect and PhD, is Honorary Fellow in Architectural Technology at the PDTA Department and Lecturer in the Master Degree in Design of the Faculty of Architecture, Sapienza University of Rome (Italy). She carries out research and experimentation on the upcycling of waste materials in architecture. Co-founder of Atlante Inerti Project, she is responsible for the Working Group on GPP CAM within ANPAR. Mob. +39 340/51.34.638. E-mail: [paola.altamura@uniroma1.it](mailto:paola.altamura@uniroma1.it)

Fig. 19, 20 - The fixed kindergarten furniture, in wood and removable, containing different dismantlable systems; View of one of the three sleeping rooms of the kindergarten, with Cradle to Cradle certified linoleum floor and wall covering (credits: P. Altamura, 2019).



# INDUSTRIALIZZAZIONE EDILIZIA E PREFABBRICAZIONE TRA MATERIALITÀ E IMMATERIALITÀ

## BUILDING INDUSTRIALIZATION AND PREFABRICATION BETWEEN MATERIALITY AND IMMATERIALITY

Sergio Russo Ermolli<sup>a</sup>, Giuliano Galluccio<sup>b</sup>

### ABSTRACT

Il presente contributo intende investigare le possibilità offerte dai paradigmi di progettazione e produzione dell'Industria 4.0 nell'ambito del settore Architecture, Engineering & Construction, attraverso il coordinamento tra sistemi per la gestione integrata del processo progettuale (Building Information Modeling) e strumenti per la prototipazione rapida (Computer Aided Manufacturing). Si propone un'interpretazione del significato che una trasformazione industriale del settore AEC ha per il progetto di Architettura, simulando una metodologia in ambiente BIM per la progettazione di edifici ad uso residenziale in Cold-Formed Steel con involucri a secco, sfruttando le potenzialità della fabbricazione digitale e degli strumenti avanzati per il design computazionale.

This paper aims to investigate the possibilities offered by the design and production paradigms of Industry 4.0 in the Architecture, Engineering & Construction industry, through the coordination between systems for the integrated management of the design process (Building Information Modeling) and rapid prototyping tools (Computer Aided Manufacturing). It hereby proposed an interpretation of the meaning that an industrial transformation of the AEC industry takes over for the Architectural design, simulating a methodology in a BIM environment for the design of residential buildings in Cold-Formed Steel with drywall envelopes, exploiting the potential of digital manufacturing and computational design advanced tools.

### KEYWORDS

BIM, fabbricazione digitale, file to factory, lean production, off-site manufacturing

BIM, digital fabrication, file to factory, lean production, off-site manufacturing

L'idea di ottimizzare l'efficienza dei processi costruttivi attraverso la prefabbricazione degli elementi non è recente. Fin dagli inizi degli anni Venti del Novecento il dibattito sorto intorno a standard tipologici e tecnici, prototipi di produzione, caratteristiche degli elementi ripetibili e intercambiabili, dimostra la volontà di misurarsi con i problemi dell'industrializzazione edilizia, di cui si iniziarono a comprendere potenzialità e limiti (Campioli, 1992). Già a partire dagli anni Settanta comincia a delinearsi una via inedita per l'industrializzazione edilizia, finalizzata, soprattutto, a un maggior controllo delle prestazioni formali e tecnologiche di sistemi e componenti (Bacigalupi, 1978; Nardi, 1981). La produzione off-site si trova infatti per la prima volta nella possibilità di utilizzare procedure versatili e adattabili basate su sistemi integrati di lavorazione, frutto di una combinazione efficiente di flessibilità e automazione. Anche se contraddistinta da costi elevati, la comparsa di frammenti di Intelligenza Artificiale all'interno del processo produttivo apre alla prefabbricazione nuove opportunità, capaci di ridurre molte delle criticità che la avevano caratterizzata nei decenni precedenti. Dalla metà degli anni Ottanta, l'emergere del Digitale, del Parametrico e dell'Informativo trasforma in profondità il modo di progettare e produrre architettura. I cambiamenti epistemologici che affrontano i domini del sapere progettuale, derivanti dalle potenzialità computazionali degli strumenti digitali in tutte le fasi del processo, dischiudono indubbiamente grandi opportunità di sviluppo soprattutto per il settore della produzione industriale. Nuovi processi, soluzioni, strumenti e tecniche trasformano la stessa natura della produzione in fabbrica, a cui si richiede di riformulare i concetti fondamentali del manufacturing allo scopo di verificarne la appropriatezza rispetto al 'rivoluzionario' campo di ricerca emergente (Landolfo, 2012; Barucco, 2015).

Le tecnologie digitali applicate all'industria permettono di organizzare non solo i progetti in sistemi parametrici basati su logiche di relazione tra parti, offrendo la possibilità di alterare la configurazione complessiva del sistema agendo sulle variabili poste alla base del processo progettuale, ma soprattutto di introdurre nelle modalità produttive di sistemi e componenti radicali innovazioni di processo e di prodotto. In tale ambito è chiaramente individuabile l'emergere di strumenti di digital fabrication per la realizzazione di prodotti non

standardizzati a elevata customizzazione, svincolati oramai dai limiti produttivi degli scorsi decenni (Anderson, 2013). La diretta corrispondenza che si crea tra modellazione virtuale e produzione reale, si avvale infatti di tecnologie a controllo numerico (CNC – Computer Numerical Control) capaci di 'aprire' a illimitate modificazioni formali e prestazionali, guidando la trasposizione da virtuale a reale attraverso un percorso protetto che tende a limitare i rischi di perdita di informazioni secondo un flusso di lavoro file to factory (dal file alla fabbrica), cioè traducendo con macchine di derivazione industriale dei modelli digitali direttamente in produzione.

Alla luce di ciò, in riferimento a un contesto economico globale caratterizzato dalla persistente eredità di una profonda crisi finanziaria che ha impattato soprattutto il settore Architecture, Engineering & Construction, affiora la necessità di allineare il comparto delle costruzioni, tradizionalmente riluttante nei confronti delle innovazioni, agli altri settori produttivi, attraverso una trasformazione in senso realmente industriale. L'elevato grado di complessità delle opere di architettura e ingegneria, oltre alla quantità e disomogeneità degli attori che partecipano alla filiera, richiederebbe infatti una organizzazione del lavoro che faciliti innanzitutto il controllo della qualità del prodotto nel rispetto dei requisiti prestazionali forniti dalla committenza e dalle normative. Le trasformazioni in atto nel settore AEC derivanti dalla digitalizzazione di processi, prodotti e strumenti stanno determinando infine profondi ripensamenti su ruoli e competenze dei differenti protagonisti del processo edilizio, ma soprattutto una rivisitazione del concetto stesso dei luoghi all'interno dei quali vengono 'prodotte' le architetture: lo studio di progettazione, l'industria, il cantiere, stanno infatti assumendo definitivamente paradigmi industriali di natura digitale che li rendono radicalmente differenti rispetto solo al decennio trascorso (Russo Ermolli, 2018).

*Lo stato della filiera edilizia* – Il comparto dell'industria AEC si presenta come quello caratterizzato da uno dei più bassi indici di digitalizzazione tra tutti i settori produttivi, secondo la comparazione di tre parametri, ossia: livello generale di digitalizzazione dell'impresa (assets); transazioni, interazioni, processi relativi al business o relativi alle campagne e le strategie di marketing (usage); im-

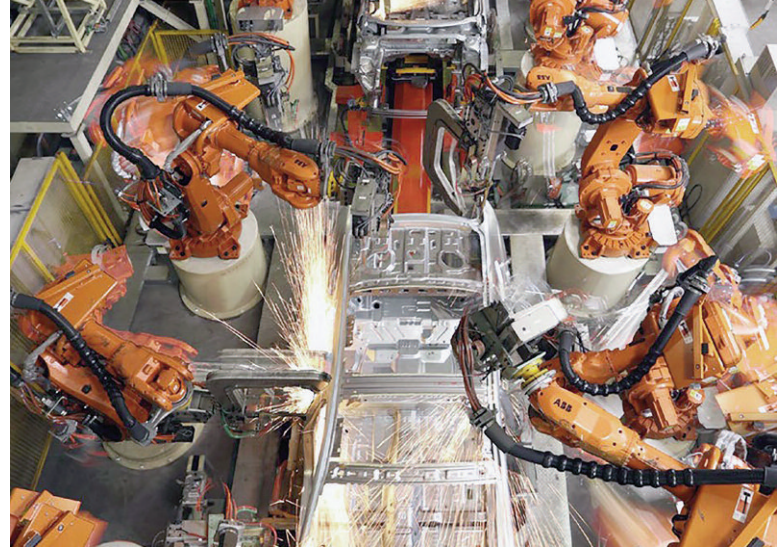


Fig. 1, 2 - Typical criticalities of inefficient productive sectors; Automated assembly plant of Chrysler car parts.

patto delle nuove tecnologie sulla digitalizzazione del lavoro (labor; McKinsey, 2016). Tale disavanzo incide in relazione alla maggiore probabilità di presenza di difetti nei prodotti, causati da errori dovuti a correzioni, conflitti e informazioni errate o incomplete; ostacola un'efficiente pianificazione, altrimenti guidata da analisi della domanda secondo metodi non aggiornati, generando un problema di sotto/sovraproduzione; contribuisce alla perpetuazione di processi obsoleti che generano attese, le quali spesso dipendono da una insufficiente programmazione delle fasi del processo produttivo (Fig. 1).

Tali problematiche sono imputabili al mancato aggiornamento degli operatori del settore, la cui sopravvivenza è conaturata all'avvio di processi di rinnovamento, attraverso l'introduzione di innovazioni di prodotto, processo, organizzative o di marketing (ANCE, 2016). Ciò non può dipendere dall'impegno del singolo soggetto, ma fa riferimento necessariamente al ridisegno dell'intero sistema e delle relazioni che intercorrono tra tutte le sue parti, partendo proprio dall'osservazione della generalizzata ed elevata frammentazione del sistema produttivo italiano. Al confronto di altri comparti produttivi, quello delle costruzioni si distingue per la peculiarità del luogo finalizzato alla realizzazione dei suoi prodotti, ovvero il cantiere, che non consente l'attuazione di modelli di produzione basati su flussi 'snelli' (Lean Manufacturing), tipici invece dell'industria automobilistica o aerospaziale, nelle quali la produzione e l'assemblaggio dei prodotti finiti avviene tutta all'interno dell'officina/stabilimento, permettendo un maggiore grado di controllo qualitativo, automazione, riduzione dell'errore e di produzione di scarti di lavorazione (Kieran, 2004; Fig. 2). In aggiunta, la filiera edile è ancorata a processi a cascata, di fasi linearmente sequenziali che però non sono più in grado di soddisfare la complessità delle attuali esigenze del mercato. Questa condizione di inefficienza aggrava i tempi di realizzazione, i costi di produzione e gestione e le prestazioni dei prodotti in termini di impatto sull'ambiente e di consumi energetici<sup>1</sup>, particolarmente elevati proprio nel settore delle costruzioni.<sup>2</sup>

Lo sforzo normativo dell'ultimo decennio<sup>3</sup> sull'impiego di strumenti di modellazione integrata

avanzata nelle attività di progettazione per le opere pubbliche ha perseguito il fine di incoraggiare l'utilizzo del Building Information Modeling per i progetti edili e infrastrutturali finanziati con fondi pubblici nell'Unione Europea, già a partire dal 2016. Con il Nuovo Codice degli Appalti<sup>4</sup> anche nel nostro Paese vengono recepite, su indicazione delle direttive europee, le nuove linee guida e i nuovi indirizzi strategici per il conseguimento degli obiettivi di ottimizzazione e produttività nel settore delle costruzioni. Ciò evidenzia ancora maggiormente quanto il BIM, a prescindere dalla sua definizione, rappresenti una delle chiavi per l'evoluzione dell'intera filiera nello scenario più ampio della digitalizzazione, del data-driven design, della progettazione performance-oriented (Ciribini, 2016).

*Processi avanzati per la progettazione integrata* – L'avvento della Quarta Rivoluzione Industriale è descritto come connesso all'adozione contestuale di diverse tecnologie abilitanti, in grado di incidere in maniera radicale nel modo di concepire la produzione industriale e il consumo di risorse (Marsh, 2013). A caratterizzare in maniera peculiare la nuova industria è la fusione di realtà virtuale e produzione industriale in un unico sistema, ovvero cyber-fisico, il quale presuppone la creazione di un network di comunicazione autonoma tra macchine intelligenti e sistemi di stoccaggio, in grado di replicare il mondo fisico e assumere decisioni decentralizzate, anche attraverso la capacità predittiva di queste macchine, ovvero la possibilità di eseguire simulazioni delle decisioni che, grazie ai feedback forniti nel sistema virtuale, consentono di modificare le strategie operative (National Building Standard, 2018; Fig. 3). In edilizia, l'influenza di tali cambiamenti interesserà la concezione stessa del cantiere (Gramazio, 2014), come luogo di produzione e assemblaggio di elementi non standard, sia prefabbricati in officina che realizzati in opera da macchinari avanzati a controllo numerico (CNC), nella direzione di una ricucitura tra la qualità artigianale e la rapidità di esecuzione, ripensando al ruolo della standardizzazione (Iwamoto, 2009; Fig. 4).

Dal punto di vista del progetto, tali strumenti di fabbricazione e simulazione digitale consentono la

realizzazione, a costi contenuti, di morfologie complesse, ad altissime performance sia ambientali che strutturali, derivate da processi di form-finding, ovvero di ottimizzazione morfologica e topologica (Frazer, 1995). Tali processi offrono inoltre la possibilità, già in fase di progettazione, di stabilire un principio di uso razionale delle risorse e controllare le prestazioni secondo i parametri di progetto, anche sulla base di specifiche esigenze del mercato attuale, caratterizzato da fenomeni di customization, servitization e in generale diffusa frammentazione della domanda (Russo Ermolli, 2018; Fig. 5). Secondo Reiser e Umemoto (2006), le nuove tecnologie di produzione non-standard aprono le porte al superamento dei paradigmi fordisti, mutando profondamente le logiche industriali, nell'introduzione del concetto di unicità: ogni nodo – ogni asta – è unico, o meglio è al tempo stesso simile e diverso da ogni nodo – asta – che vi si trovi accanto. Ma l'assemblaggio di tali componenti richiede una concezione radicalmente diversa della produzione stessa, oltre che della consegna e della catalogazione, differente dal modello modernista della produzione di massa.

Per Negro Ponte (2010), il rapporto uomo-macchina non si limita alla creazione di un sistema correttivo dell'errore umano, quanto a un mutuo supporto nell'elaborazione di modelli comportamentali, basati sull'analisi dell'esperienza, che ricadano in strutture-dati estrapolabili, modificabili, interrogabili, simulabili, ovvero sia che costituiscano una base affidabile per assecondare decisioni logiche.

In questo scenario, il BIM si propone come il processo di gestione e generazione dei dati: le informazioni sono intrinsecamente legate agli oggetti e ogni oggetto porta con sé, al suo interno, una serie di informazioni strutturate (Garber, 2014). In questo senso, ancora Negro Ponte segnala la differenza che intercorre tra l'adozione di processi computerizzati (computerised) ovvero digitalizzati e pertanto velocizzati, e processi assistiti dal computer (computer-aided) che, piuttosto, sfruttano l'intelligenza della macchina per individuare nuove soluzioni sulla base dei dati raccolti e della capacità di farli interagire. Il BIM consente, come tecnologia di terzo ordine, un elevato livello di integrazione tra le diverse professionalità e sistemi ar-

tificiali, poiché si basa su un modello condiviso, in maniera collaborativa, tra tutte le figure coinvolte (Fig. 6). L'adozione del BIM, in rapporto a processi file to factory, si lega con le possibilità produttive garantite dagli attuali sistemi CAD/CAM, ovvero grazie alla diffusione di macchine a controllo numerico, come stampanti 3D o laser cutter che stanno radicalmente modificando il concetto stesso di standardizzazione, consentendo di fondare una sorta di nuova fabbrica artigianale in bilico tra tradizione e Industria 4.0 (Fig. 7).

**Sistemi innovativi di prefabbricazione** – In virtù della logica prestazionale che il processo BIM impone nella progettazione, non è possibile prescindere da una ricerca di tipo scientifico, indirizzata ai fattori che riguardano l'ottimizzazione dei processi produttivi che stanno alla base del settore delle costruzioni (Davies, 2005). La svolta digitale nel processo edilizio passa pertanto non solo attraverso l'adozione di un diverso paradigma progettuale, ma anche tramite nuovi paradigmi industriali, che distribuiscano sul mercato sistemi costruttivi e prodotti a elevata eco-efficienza e, in generale, con elevati standard prestazionali. Disporre di sistemi di progettazione avanzati non assicura che ciò che si sta progettando abbia effettivamente le qualità desiderate: occorre innanzitutto orientare diversamente le strategie di progettazione, su sistemi costruttivi industrializzati, in modo da offrire soluzioni che assicurino un elevato grado di personalizzazione. Allo stesso modo, adottare strategie digitali implica inesorabilmente anche un profondo cambiamento all'interno delle dinamiche degli studi di progettazione e del loro rapporto con le aziende e le imprese (Smith, 2017).

Nel settore dell'edilizia prefabbricata, in particolare, le processualità assumono i lineamenti della produzione industrializzata, dove le principali attività vengono svolte fuori dal cantiere, ovvero in fabbrica. Nell'ottica della filosofia Lean, il concetto di prefabbricazione (Off-Site Manufacturing – OSM) ha assunto un significato differente da quello che, nella memoria collettiva, ad esso è stato sempre attribuito, soprattutto nel nostro Paese (Albus, 2017). Nell'obiettivo di superare le criticità relative al carattere di serialità, ripetitività e impersonalità della produzione edilizia standardizzata tipica della prefabbricazione dei decenni passati, l'applicazione di procedure DFMA – Design For Manufacturing And Assembly (progettazione per la produzione e l'assemblaggio) è finalizzata a re-

stituire un maggiore grado di personalizzazione, riducendo al contempo la complessità delle operazioni sia nella fase di progettazione che in quella di produzione e successivo assemblaggio, consentendo la riduzione di tempi e costi di fabbricazione. Tale metodologia si basa, da un lato (DFM – Design For Manufacturing) sull'implementazione di accorgimenti che consentono di includere informazioni sul processo di fabbricazione già nello sviluppo progettuale del prodotto, dall'altro (DFA – Design For Assembly) mira alla riduzione del numero delle parti, all'ottimizzazione delle loro proprietà fisico-geometriche che incidono sui tempi di assemblaggio, alla razionalizzazione dei tempi di giunzione, ecc. (Landolfo, 2012).

Nell'ambito dell'attività di ricerca svolta, grazie al contributo di numerose aziende produttrici, tra le quali Lamieredil e Irondom srl, entrambe eccellenze presenti nel Sud Italia, è stato possibile analizzare da vicino il processo produttivo di un particolare tipo di sistema costruttivo in acciaio, ovvero costituito da profili sottili formati a freddo (CFS) e caratterizzato, in generale, da elevata versatilità nei confronti della domanda e delle tipologie di applicazioni possibili. In ambito applicativo è possibile avvalersi di differenti soluzioni costruttive che si caratterizzano da gradi di prefabbricazione diversi, oltre che per specifiche metodologie di progettazione, verifica e assemblaggio. La metodologia di lavoro adottata ha inteso verificare la relazione che sussiste tra le soluzioni per la progettazione e gestione delle opere basate sulla digitalizzazione con le più avanzate tecnologie per la manifattura artigianale e industriale. L'applicazione del BIM a sistemi prefabbricati in CFS è coadiuvata dalle possibilità della fabbricazione digitale con macchine CNC, sia per la loro leggerezza, che consente di trasportare in cantiere gli elementi da formare con apparecchiature in situ, sia per l'alto grado di prefabbricazione che garantiscono, offrendo la possibilità di effettuare le operazioni di verifica e montaggio in officina, lasciando al cantiere il solo compito di assemblare anche moduli completi di significativa dimensione.

Nello specifico dei sistemi in CFS, l'interoperabilità dei sistemi BIM facilita la definizione e catalogazione degli elementi costruttivi, così come l'integrazione tra design e progettazione impiantistica per la modellazione degli elementi (clash detection – verifica delle interferenze). Come risultato, i profili, tagliati e forati dalle CNC, sono pronti per essere assemblati in cantiere con un ridotto nu-

mero di operazioni da eseguire in opera, riducendo tempi e costi (Fig. 8). Se nei processi tradizionali, la standardizzazione riguardava la geometria e le caratteristiche degli elementi fisici, nel sistema proposto avviene l'opposto, grazie all'introduzione di formati standard (tipo Industry Foundation Classes – IFC<sup>5</sup>), processati da precise tipologie di macchine additive o sottrattive, che realizzano tipi pressoché illimitati di oggetti personalizzabili.

**Caso studio** – L'introduzione di una nuova processualità, basata sull'utilizzo di strumenti digitali per la modellazione e gestione informativa dei dati e degli elementi di progetto, determina al tempo stesso la necessità di un ripensamento, o meglio di un aggiornamento, della prassi progettuale, in modo da meglio approfittare della disponibilità delle nuove tecnologie per il controllo tecnico-prestazionale del progetto (Dunn, 2012; Fig. 9). Oltre a definire, quindi, un vero e proprio workflow BIM-oriented, parte del lavoro qui presentato è stata dedicata alla sperimentazione pratica attraverso la modellazione di un edificio residenziale costituito da un modulo costruttivo volumetrico in CFS, di dimensioni 3x10x3,5 metri, realizzabile completamente off-site, che si configura come modello aperto, ovvero la cui caratteristica peculiare sta nell'essere personalizzabile ma al tempo stesso prefabbricabile, oltre che utilizzabile, nei suoi componenti, per interventi edilizi di scale differenti. Ciò che quindi si è inteso dimostrare è che l'implementazione delle tecnologie digitali può consentire di superare la dicotomia tra artigianale e industriale, permettendo, a parità di costi, di realizzare prodotti di manifattura avanzata, altamente performanti, attraverso processi snelli.

Il modulo si propone pertanto come 'genotipo', ovvero cellula elementare a partire dalla quale ne sono state esplorate le possibilità aggregative, in relazione a numero di utenti, disposizione in pianta, tipologia di chiusura verticale e orizzontale, nonché materiali di rivestimento (Fig. 10). Il principale beneficio che comporta tale processo, innanzitutto progettuale e poi produttivo, è che le aziende possono disporre di strumenti utili per indirizzare le scelte dei clienti rispetto alla propria linea di produzione. Le fasi progettuali individuate per la sperimentazione sono le seguenti: 1) definizione degli obiettivi e delle strategie progettuali; 2) elaborazione del processo progettuale e delle caratteristiche del sistema costruttivo; 3) analisi e ridisegno dei processi aziendali e produttivi; 4) modella-

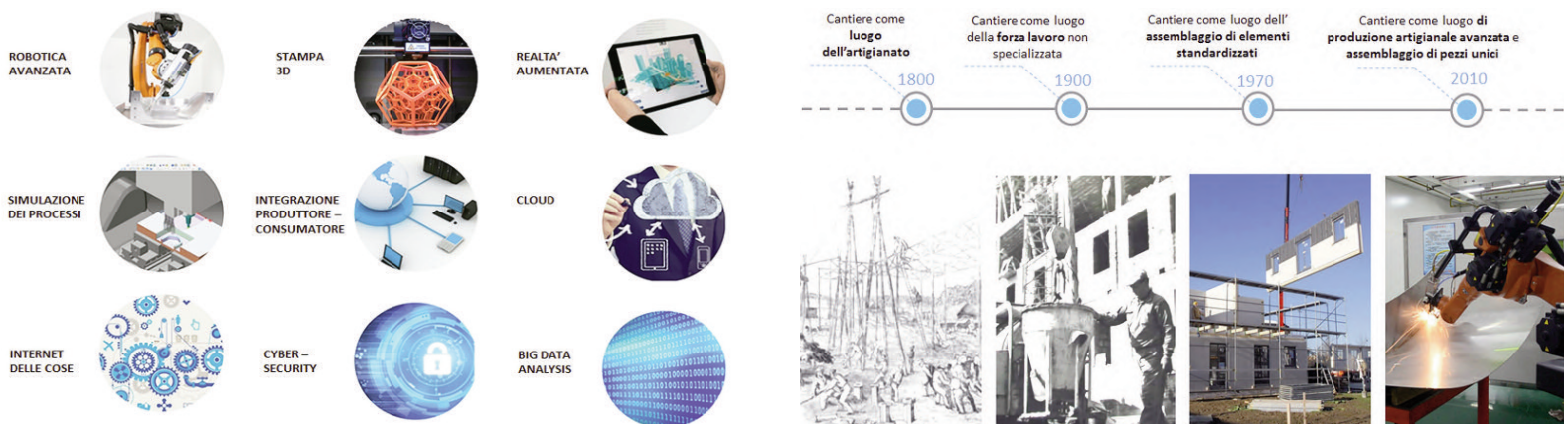
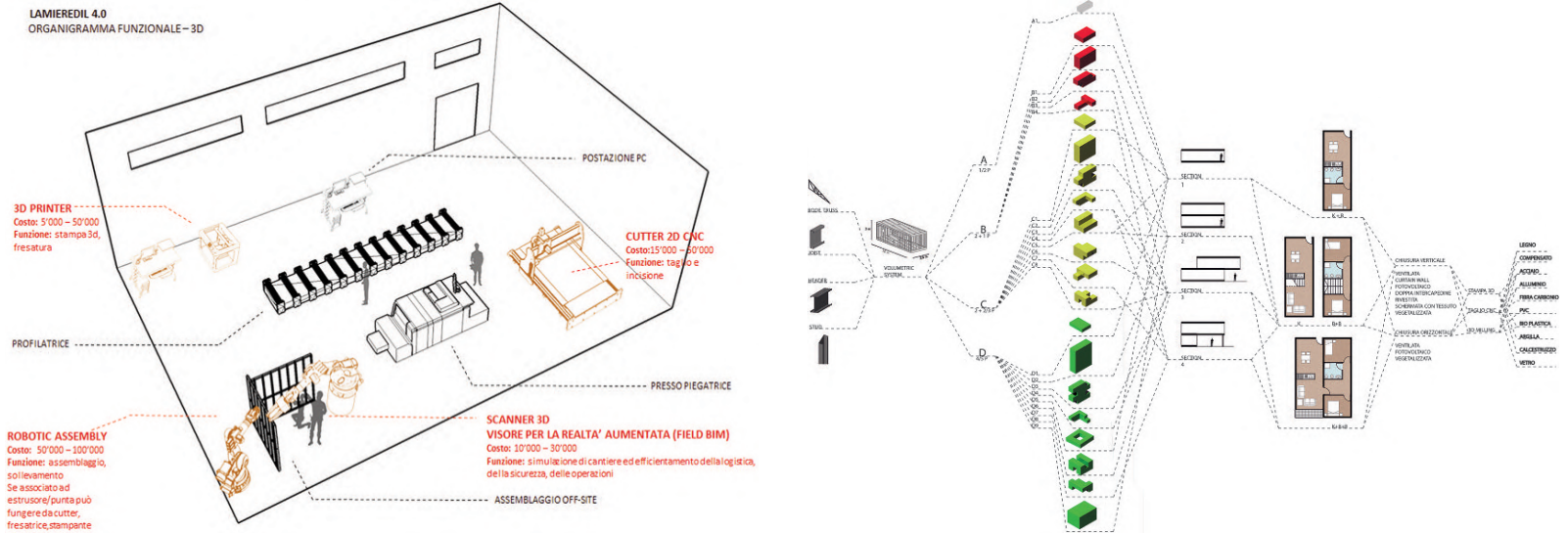


Fig. 3, 4 - Enabling technologies of Industry 4.0; Evolution of the construction site during the four industrial revolutions.





Figg. 9, 10 - Lamieredil plant: reconversion hypothesis in an Industry 4.0 key; Diagram of the customization of standard accommodation in CFS.

zione degli elementi costruttivi strutturali e dei pacchetti di chiusura; 5) simulazione delle prestazioni e analisi dei feedback; 6) redazione dei disegni costruttivi (kit di assemblaggio) e preparazione dei file per la linea di produzione CAD/CAM.

Sulla base di costanti confronti con le aziende partner, gli obiettivi hanno inteso incidere su differenti aspetti. Innanzitutto, si è tentato di efficientare la produzione, in quanto la capacità di simulazione dei processi implicita nel BIM, specialmente nell'ambito del "quantity take off" (BIM 5D), ha consentito una più efficace gestione degli acquisti di materiale: l'azienda acquista il materiale strettamente necessario a soddisfare la commessa, evitando sprechi di denaro e soprattutto limitando l'accumulo di prodotto inutilizzato in deposito (just in time). È stata studiata la possibilità di formatura degli elementi, grazie all'automazione CAD/CAM delle operazioni: l'integrazione delle operazioni con strumenti CNC ha contribuito ad aumentare la precisione delle lavorazioni, riduce gli scarti di lavorazione e velocizza la lavorazione. Sono state sviluppate strategie in merito alla tipologia e la modalità di offerta dei prodotti sul mercato, personalizzabili a seconda delle contingenze e fruibili sotto forma di BIM Library interoperabile, inseribili dagli stessi progettisti direttamente nei modelli che creano; inoltre, ne è stato migliorato l'assemblaggio, in relazione alla possibilità di estrapolare i disegni dal modello BIM (Fig. 11).

In fase di produzione, la capacità di simulazione dei processi implicita nel BIM ha consentito una più efficace gestione dell'approvvigionamento del materiale (produzione just in time), incidendo sugli oneri derivanti dall'accumulo di prodotto inutilizzato in magazzino; in fase di formatura, l'automazione CAD/CAM ha aumentato la precisione, riducendo gli scarti e velocizzando le operazioni. Sono emerse al contempo criticità rispetto all'adozione di soluzioni BIM, in particolare per aziende e studi professionali di dimensione medio-piccola. Le principali difficoltà hanno riguardato il costo di investimento iniziale per software e hardware, la necessità aggiornamento delle risorse umane e di adozione degli standard da parte di tutti gli operatori coinvolti nella filiera.

Una volta definiti gli obiettivi e gli strumenti

all'interno di un ecosistema di operatori coinvolti nel processo di progettazione, è stata svolta la modellazione, tramite il software di BIM Authoring Autodesk Revit, di una serie di prototipi di edifici residenziali costituiti da struttura in acciaio sottile formato a freddo. Nel caso degli elementi maggiormente complessi, come le travi reticolari, la modellazione ha riguardato prima i loro componenti, ovvero i profili a U o a Omega, che poi sono stati introdotti nell'ambiente di modellazione delle travi stesse, costituendo perciò quella che si definisce una famiglia "nidificata". Lo stesso principio che vale per gli elementi strutturali ha senso anche per quelli di chiusura: grazie alla modellazione parametrica è stato infatti possibile controllare in maniera istantanea le conseguenze che determinate scelte tecniche e progettuali hanno sulle prestazioni termo-igrometriche degli involucri, consentendo quindi di poter monitorare costantemente le performance dell'edificio. Tale processo ha inoltre facilitato l'operazione di optioneering, ovvero di valutazione tra più ipotesi progettuali, sulla base della miglior scelta possibile tra un ventaglio di variabili (Figg. 12-15).

**Conclusioni** – I temi che hanno stimolato il presente lavoro appaiono particolarmente attuali, sebbene discendano da riflessioni che hanno attraversato tutto il secolo scorso. Le trasformazioni verificatesi tra gli anni intercorsi tra la prima grande stagione di industrializzazione edilizia, avvenuta durante il periodo denominato dei Gloriosi Trenta (1945-1973) e l'epoca attuale, impediscono di riproporre il tema della prefabbricazione negli stessi termini (Poretti, 2013). Il dibattito contemporaneo non può infatti esimersi dal concentrarsi sul rapporto legato alla materialità e all'immaterialità della relazione tra componenti e utenti, che rappresenta una novità di estremo interesse e dalle implicazioni ancora inesplorate. D'altro canto, è diverso anche l'obiettivo, che se prima era rivolto alla ripetibilità delle soluzioni, oggi pare invece andare nella direzione della versatilità e della personalizzazione (customization), secondo una logica che lascia la standardizzazione solo ai formati file (immateriali), consentendo invece grande varietà alla produzione e alla prototipazione

(materialità). In altri termini, lo scenario più plausibile per l'industrializzazione pare essere non più nella prefabbricazione pesante, quanto nei sistemi di Lean Management and Manufacturing, guidati dai principi di una disciplina, il cosiddetto Knowledge Management, attraverso i nuovi strumenti per la gestione delle informazioni e della computazionalità dei processi (Ciribini, 2016).

#### ENGLISH

*The idea of optimizing the efficiency of construction processes through the prefabrication of the elements is not recent. Since the early twenties of the twentieth century, the debate around typological and technical standards, production prototypes, characteristics of repeatable and interchangeable elements, demonstrates the desire to compete with the problems of building industrialization, whose potentials and limits began to be understood (Campioli, 1992). At the beginning of the seventies, a new way of building industrialization began to emerge, aimed, above all, at a greater control of the formal and technological performance of systems and components (Bacigalupi, 1978; Nardi, 1981). Off-site production is in fact for the first time in the possibility of using versatile and adaptable procedures based on integrated processing systems, as the result of an efficient combination of flexibility and automation. Although characterized by high costs, the appearance of fragments of Artificial Intelligence within the production process opens up new opportunities for prefabrication, capable of reducing many of the criticalities that had characterized it in previous decades. From the mid-eighties, the emergence of the Digital, the Parametric and the Information transforms in depth the way of designing and producing architecture. The epistemological changes that face the domains of design knowledge, deriving from the computational potential of digital tools at all stages of the process, undoubtedly open up great opportunities for development especially for the industrial production sector. New processes, solutions, tools and techniques transform the very nature of factory production, which requires reformulating the fundamental concepts of manufacturing in order to verify its appropriateness, relating to*

the ‘revolutionary’ emerging field of research (Landolfo, 2012; Barucco, 2015).

The digital technologies applied to the industry allow not only to organize projects in parametric systems based on relations between parts, offering the possibility of altering the overall configuration of the system by acting on the variables at the base of the design process, but above all to introduce radical components of process and product innovations into systems and components production methods. In this context it is clearly identifiable the emergence of digital fabrication tools for the realization of non-standardized products with high customization, now free from the production limits of the past decades (Anderson, 2013). The direct correspondence that is created between virtual modeling and real production, in fact, makes the use of numerical control technologies (CNC – Computer Numerical Control) able to ‘open’ to unlimited formal and performance modifications, guiding the transposition from virtual to real through a protected path that tends to limit the risk of information loss according to a file to factory workflow, translating, through machines of digital derivation, digital models directly into production.

Considering this, with reference to a global economic context characterized by the persistent legacy of a profound financial crisis that impacted above all on the Architecture, Engineering & Construction sector, emerges the need to align the construction sector, traditionally reluctant towards innovations, to the other productive sectors, through a transformation in a truly industrial sense. The high degree of complexity of architectural and engineering works, in addition to the quantity and non-homogeneity of the actors who participate in the supply chain, would in fact require a work organization that first of all facilitates the control of product quality, in compliance with the performance requirements provided by the client and by the regulations. The transformations taking place in the AEC sector resulting from the digitalization of processes, products and tools are ultimately determining profound rethinking of the roles and skills of the different protagonists of the building process, but, above all, a review of the very concept of the places where the architectures are ‘produced’: the design study, the industry, the construction site, are in fact definitively taking on industrial digital paradigms that make them radically different compared just to the past decade (Russo Ermolli, 2018).

The state of the construction industry – The AEC industry is characterized by one of the lowest digitalization indexes among all the productive sectors, according to the comparison of three parameters, namely: general level of digitalisation of the company (assets); transactions, interactions, business-related processes or campaign-related processes and marketing strategies (usage); impact of new technologies on the digitalisation of workflows (labor; McKinsey, 2016). This deficit affects the greater probability of product defects being caused by errors due to corrections, conflicts and incorrect or incomplete information; hinders efficient planning, otherwise guided by demand analysis according to outdated methods, generating a under/overproduction problem; contributes to the perpetuation of obsolete processes that generate pauses, which often depend on an insufficient

programming of the phases of the production process (Fig. 1).

These problems are imputable to the failure of the sector’s operators update, whose survival is inherent in the start of renewal processes, through the introduction of product, process, organizational or marketing innovations (ANCE, 2016). This cannot depend on the commitment of the individual subject, but necessarily refers to the redesign of the entire system and the relationships that exist between all its parts, starting from the observation of the generalized and high fragmentation of the Italian production system. In comparison with other production sectors, the construction sector is distinguished by the peculiarity of the place aimed at the realization of its products, that is the construction site, which does not allow the implementation of production models based on ‘lean’ flows (Lean Manufacturing), typical instead of the automotive or aerospace industry, where the production and assembly of finished products takes place all within the workshop/plant, allowing a greater degree of quality control, automation, error and processing waste production reduction (Kieran, 2004; Fig. 2). In addition, the construction supply chain is anchored to cascade processes, based on linearly sequential phases which, however, are no longer able to satisfy the complexity of current market requirements. This condition of inefficiency aggravates production times, management costs and performance in terms of environmental impact and energy consumption<sup>1</sup>, which are particularly high precisely in the construction sector.<sup>2</sup>

The regulatory effort of the last decade<sup>3</sup> on the use of advanced integrated modeling tools in design activities for public works has pursued the

aim of encouraging the use of Building Information Modeling for construction and infrastructure projects financed with public funds in the European Union, already starting from 2016. With the new procurement code<sup>4</sup> also in our country are transposed the new guidelines and the new strategic indications for the achievement of the optimization and productivity objectives in the construction sector, according to the European directives. This further highlights how BIM, regardless of its definition, represents one of the keys to the evolution of the entire supply chain in the broader scenario of digitalization, data-driven design, performance-oriented design (Ciribini, 2016).

Advanced processes for integrated design – The advent of the Fourth Industrial Revolution is described as connected to the simultaneous adoption of different enabling technologies, capable of radically affecting the way of conceiving industrial production and resource consumption (Marsh, 2013). To characterize the new industry in a peculiar way is the fusion of virtual reality and industrial production in a single system, i.e. cyber-physical, which requires the creation of an autonomous communication network between intelligent machines and storage systems, able to replicate the physical world and take decentralized decisions, also through the predictive ability of these machines, or the possibility to perform simulations of decisions which, thanks to the feedback provided in the virtual system, allow for the modification of operational strategies (National Building Standard, 2018; Fig. 3). In Construction, the influence of these changes will affect the very conception of the construction site (Gramazio, 2014), as a place of production and assembly of non-standard elements, both prefabricated in the workshop and built on site by advanced numerical control machinery (CNC), in the direction of bridging the artisan quality and the speed of execution, rethinking the role of standardization (Iwamoto, 2009; Fig. 4).

From the design point of view, these digital manufacturing and simulation tools allow the realization, at low cost, of complex morphologies, with very high environmental and structural performances, derived from form-finding processes, i.e. morphological and topological optimization (Frazer, 1995). These processes also offer the possibility, already in the early design phase, to establish a principle of rational use of resources and performance control, according to design parameters, also based on specific needs of the current market, characterized by phenomena of customization, servitization and in general, widespread fragmentation of demand (Russo Ermolli, 2018; Fig. 5). According to Reiser and Umemoto (2006), new non-standard production technologies open the door to overcoming Fordist paradigms, profoundly changing industrial logics, in the introduction of the concept of uniqueness: each node – each strut – is unique, or rather it is at the same time similar and different from every node – strut – that is next to it. But the assembly of these components requires a radically different conception of production itself, as well as of delivery and cataloguing, unlike the modernist model of mass production.

For Negroponte (2010), the man-machine relationship is not limited to the creation of a corrective system of the human error, but to a mutual sup-

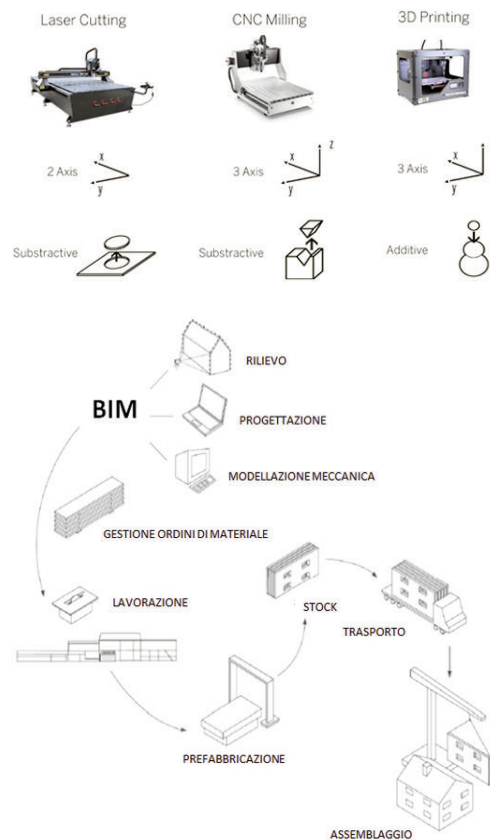


Fig. 7, 8 - Numerical control machines: main additive and subtractive technologies; Processes from BIM to production in off-site construction.



Fig. 9, 10 - Lamieredil plant: reconversion hypothesis in an Industry 4.0 key; Diagram of the customization of standard accommodation in CFS.

port in the development of behavioural models, based on the analysis of experience, which fall into data-structures that can be extrapolated, modified, interrogated, simulated, as they constitute a reliable basis for supporting logical decisions.

In this scenario, BIM is proposed as the process of data management and generation: information is intrinsically linked to objects and each object carries within it a series of structured information (Garber, 2014). In this sense, Negroponte still signals the difference between the adoption of computerized or therefore speeded up processes, and computer-aided processes that, rather, exploit the intelligence of the machine to identify new solutions based on the data collected and on the ability to make them interact. BIM allows, as a third-order technology, a high level of integration between the different professionalisms and artificial systems, since it is based on a shared model, in a collaborative way, among all the figures involved (Fig. 6). The adoption of BIM, in relation to file-to-factory processes, is linked to the production possibilities guaranteed by current CAD/CAM systems, or rather thanks to the spread of numerical control machines, such as 3D printers or laser cutters, that are radically changing the concept itself of standardization, allowing to found a sort of new artisan factory, between tradition and Industry 4.0 (Fig. 7).

**Innovative prefabrication systems** – By the performance logic that a BIM process imposes in design, it is not possible to leave aside a scientific research, addressed to the factors that concern the optimization of the productive processes that are at the base of the construction sector (Davies, 2005). The digital turning point in the building process therefore passes not only through the adoption of a different design paradigm, but also through new industrial paradigms, able to distribute on the market construction systems and products with high eco-efficiency and, in general, with high performance standards. Using advanced design systems does not ensure that what is being designed actually has the desired qualities: it is first of all necessary to orientate design strategies differently, on industrialized construction systems, so as to offer solutions that ensure a high degree of customization. Similarly, adopting digital strategies inexorably implies a profound change within the dynamics of design studies and their relationship with companies and businesses (Smith, 2017).

In the prefabricated building sector, the processes assume the features of industrialized pro-

duction, where the main activities are carried out outside the construction site, ie in the factory. In the perspective of the Lean philosophy, the concept of prefabrication (Off-Site Manufacturing – OSM) has taken on a different meaning from that which, in the collective memory, has always been attributed to it, especially in our country (Albus, 2017). In order to overcome the critical issues related to the character of seriality, repetitiveness and impersonality of standardized building production, typical of the prefabrication of past decades, the application of DFMA procedures – Design For Manufacturing And Assembly is aimed at returning a greater degree of customization, while reducing the complexity of operations both in the design, production and subsequent assembly phases, allowing the reduction of manufacturing times and costs. This methodology is based, on the one hand on the implementation of measures that allow information on the manufacturing process to be included already in the design development of the product (DFM – Design For Manufacturing), on the other, aims at reducing the number of parts, to the optimization of their physical-geometric properties that affect assembly times, to the rationalization of joining times, etc. (DFA – Design For Assembly; Landolfo, 2012).

As part of the research activity carried out, thanks to the contribution of numerous manufacturing companies, including Lamieredil and Irondom srl, both excellences present in Southern Italy, it was possible to closely analyze the production process of a particular type of construction system in Cold-Formed Steel (CFS) and characterized, in general, by high versatility towards the demand and the types of possible applications. In the application area, it is possible to use different construction solutions that are characterized by different degrees of prefabrication, as well as specific design, verification and assembly methods. The working methodology adopted was intended to verify the relationship existing between the design and management solutions based on digitization and the most advanced technologies for artisanal and industrial manufacturing. The application of BIM to CFS prefabricated systems is aided by the possibilities of digital fabrication with CNC machines, both for their lightness, which allows to move the elements to be formed on site with on-site equipment, and for the high degree of prefabrication, guaranteed by offering the possibility of carrying out verification and assembly operations in the workshop, leaving to the building site the sole task of assembling complete modules of significant size.

Specifically, in CFS systems, the interoperability of BIM systems facilitates the definition and cataloguing of construction elements, as well as the integration between architectural and systems design for element modeling (clash detection). As a result, the profiles, cut and drilled by the CNC, are ready to be assembled on site with a small number of operations to be performed on site, reducing time and costs (Fig. 8). If in traditional processes, the standardization concerned the geometry and the characteristics of the physical elements, in the proposed system the opposite occurs, thanks to the introduction of standard formats (such as Industry Foundation Classes – IFC<sup>5</sup>), processed by precise types of additive or subtractive machines, which produce almost unlimited types of customizable objects.

**Case study** – The introduction of a new process, based on the use of digital tools for data and project elements modeling and information management, determines at the same time the need for a rethinking, or rather an update, of the design practice, to better take advantage of the availability of new technologies for the technical-performance control of the project (Dunn, 2012; Fig. 9). In addition to defining, therefore, a real BIM-oriented workflow, part of the work presented here was dedicated to practical experimentation through the modeling of a residential building, consisting of a volumetric construction module in CFS, with dimensions 3x10x3.5 meters, to realize completely off-site, which is configured as an open model, whose peculiar characteristic lies in being customizable but at the same time prefabricated, as well as usable, in its components, for building interventions of different scales. What was therefore intended to prove is that the implementation of digital technologies might allow to overcome the dichotomy between artisanal and industrial practice, allowing, at the same costs, to create products of advanced manufacture, high performance, through lean processes.

The module is therefore proposed as a 'genotype', an elementary cell from which the aggregative possibilities have been explored, in relation to the number of users, layout, type of vertical and horizontal envelopes, as well as coating materials (Fig. 10). The main benefit of this, first and foremost design and then production, process, is that companies can adopt useful tools to guide customer choices, in line with their production line. The design phases identified for the experimentation are the following: 1) definition of the design goals and

strategies; 2) elaboration of the design process and of the characteristics of the construction system; 3) analysis and redesign of business and production processes; 4) structural construction elements and envelope packages modeling; 5) performance simulation and feedback analysis; 6) drafting of construction drawings (assembly kit) and files preparation for the CAD/CAM production line.

Based on constant comparisons with partner companies, the goals intended to affect different aspects. First of all, an attempt was made to make production more efficient, as the process simulation capability implicit in BIM, especially in the area of quantity take-off (BIM 5D), allowed a more effective management of material purchases: the company buys the strictly necessary material to satisfy the order, avoiding waste of money and above all limiting the accumulation of unused product in storage. The possibility of forming the elements has been studied, thanks to the CAD/CAM automation of tasks: the integration of operations with CNC tools has contributed to increase the precision of the machines, reducing processing waste and speeding up processing. Strategies have been developed regarding the type and method of offering products on the market, which can be customized according to contingencies and can be used in the form of interoperable BIM Libraries, which can be inserted by the designers themselves directly into the models they create; furthermore, the assembly has been improved, in relation to the possibility of extrapolating the drawings from the BIM model (Fig. 11).

In the production phase, the simulation capability of the processes implicit in BIM has allowed a more effective management of the supply of the material (just in time production), affecting the charges deriving from the accumulation of unused product in the warehouse; during forming, CAD/CAM automation has increased accuracy, reducing waste and speeding up operations. At the same time, critical issues emerged regarding the adoption of BIM solutions, for companies and professional firms of medium-small size. The main difficulties concerned the initial investment cost for software and hardware, the need to update human resources and the adoption of standards by all operators involved in the supply chain.

Once the goals and tools were defined within an ecosystem of operators involved in the design process, the modeling was carried out, through the Autodesk Revit BIM Authoring software, of a series of prototypes of residential buildings consisting of a Cold-Formed Steel structure. In case of the more complex elements, such as reticular beams, the modeling concerned first their components, i.e. the U or Omega profiles, which were then introduced into the modeling environment of the beams themselves, thus constituting what is defined as a 'nested' family. The same principle that applies to the structural elements also makes sense for the envelopes: thanks to parametric modeling it was in fact possible to instantly control the consequences that certain technical and design choices have on the thermo-hygrometric performance of walls, thus allowing to be able to constantly monitor building performance. This process also facilitated the optioneering operation, or rather the evaluation of several project hypotheses, based on the best possible choice between a range of variables (Fig. 12-15).

Conclusions – The themes that have stimulated the present work appear particularly topical, although they derive from reflections that have passed throughout the last century. The transformations that occurred between the years between the first great season of building industrialization, which took place during the period called Glorious Thirty (1945-1973) and the current era, prevent us from repeating the theme of prefabrication in the same terms (Poretti, 2013). The contemporary debate cannot in fact avoid concentrating on the relationship linked to the materiality and the immateriality of the relationship between components and users, which represents a novelty of extreme interest and with unexplored implications. On the other hand, the goal is also different, which, if before was aimed at the repeatability of solutions, today it seems instead to go in the direction of versatility and personalization (customization), according to a logic that leaves standardization only to file formats (immateriality), instead allowing great variety in production and prototyping (materiality). In other words, the most plausible scenario for industrialization seems to be no longer in heavy prefabrication, but in Lean Management and Manufacturing systems, guided by the principles of a discipline, the so-called Knowledge Management, through new processes information and computation management tools (Ciribini, 2016).

ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the paragraphs 'Introduction' and 'Conclusions' are to be attributed to S. Russo Ermolli, the paragraphs 'The state of the construction industry', 'Advanced processes for integrated design', 'Innovative prefabrication systems' and 'Case study' are to be attributed to G. Galluccio.

NOTES

1) The data published by ISPRA (Higher Institute for Environmental Protection and Research) regarding CO<sub>2</sub>

emissions into the atmosphere by production sector reveal how construction is one of the most responsible sectors, in similar terms to manufacturing and industry. [Online] Available at: [www.isprambiente.gov.it/files/2017/publicazioni/rapporto/R\\_257\\_17.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/files/2017/publicazioni/rapporto/R_257_17.pdf) [Accessed 10 April 2019].

2) Buildings, in particular residential buildings, entail very high annual costs for energy expenditure, being in first place for electricity consumption, more than the transport sector and industry, as denounced in 2018 by ENEA (National Agency for New Technologies, energy and sustainable economic development). [Online] Available at: [www.efficienservgetica.enea.it/allegati/Some%20dati%20sui%20consumi%20energetici%20in%20Italia.%20per%20insegnanti%20e%20studenti%20di%20scuole%20secondarie%20.pdf](http://www.efficienservgetica.enea.it/allegati/Some%20dati%20sui%20consumi%20energetici%20in%20Italia.%20per%20insegnanti%20e%20studenti%20di%20scuole%20secondarie%20.pdf) [Accessed 10 April 2019].

3) On January 15 2014, the European Parliament approved the procurement reform (European Union Public Procurement Directive, EUPPD). [Online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32014L0024> [Accessed 10 April 2019].

4) Cfr. Legislative Decree n. 50, April 18 2016, and Legislative Decree n. 560 of, December 1 2017.

5) IFC is an open data format, not controlled by a single operator, according to the ISO16739 standard, promoted by Building Smart.

REFERENCES

Albus, J. and Meuser, P. (2017), *Prefabricated Housing: Construction and Design Manual*, Dom. Pub., Berlin.  
 ANCE – Associazione Nazionale Costruttori Edili (2016), *Una politica industriale per il settore delle costruzioni – Le proposte dell'ANCE*. [Online] Available at: [www.ance.it/multimedia/file/160621%20Documento%20AN-CE%20per%20politica%20industriale.pdf](http://www.ance.it/multimedia/file/160621%20Documento%20AN-CE%20per%20politica%20industriale.pdf) [Accessed 10 April 2019].  
 Anderson, C. (2013), *Makers. The new industrial revolution*, Random House, New York.  
 Bacigalupi, V. et alii (1978), *Edilizia per progetti e componenti*, Officina Edizioni, Roma.  
 Barucco, M. (2015), *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*, Edicom, Monfalcone.  
 Campioli, A. (1992), *I presagi di un nuovo costruire. Il linguaggio delle tecniche esecutive nell'architettura della seconda età della macchina*, Franco Angeli, Milano.  
 Ciribini, A. (2016), *BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito*, Grafill, Palermo.  
 Davies, C. (2005), *The Prefabricated Home*, Reaktion

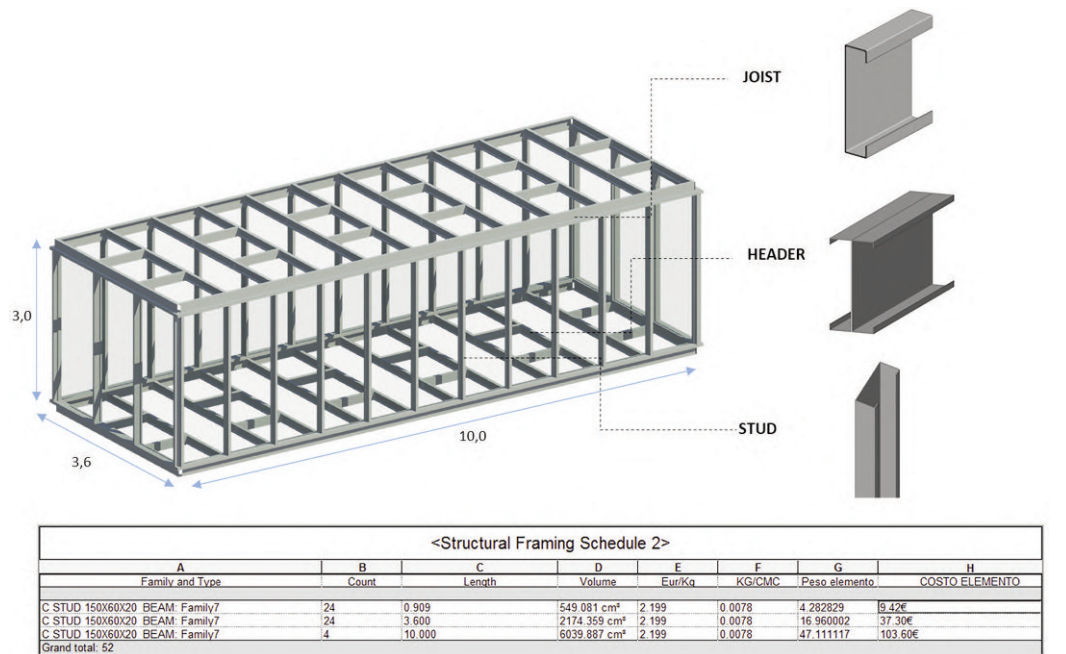


Fig. 11 - CFS volumetric pod realized in a BIM modeling environment.

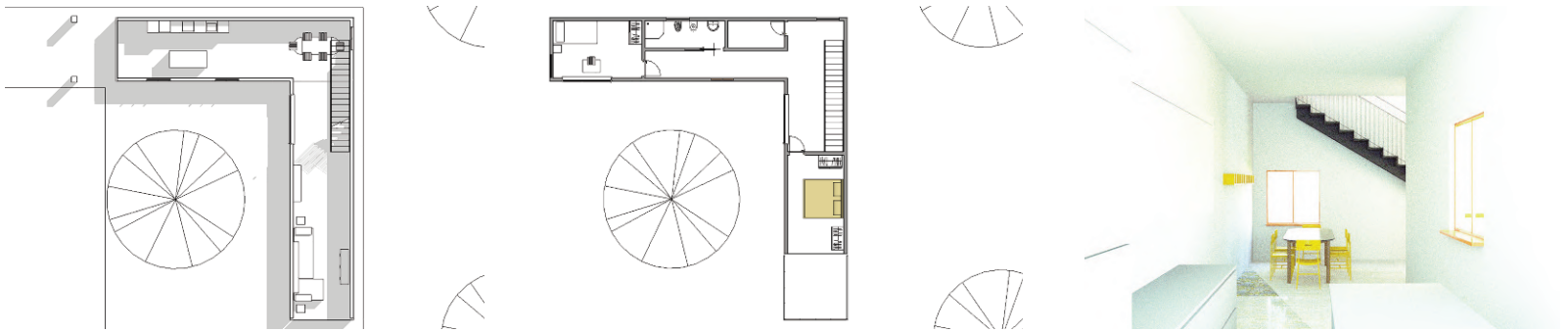


Fig. 12-15 - Case study: ground floor plan; first floor plan; view of the interior; external view.

Books, London.

Dunn, N. (2012), *Digital fabrication in Architecture*, Laurence King Publishing, London.

Frazer, J. (1995), *An Evolutionary Architecture*, AA Press, London.

Garber, R. (2014), *BIM Design. Realising the creative potential of Building Information Modelling*, John Wiley & Sons, New Jersey.

Gramazio, F., Kohler, M. and Willmann, J. (2014), *The Robotic Touch: How Robots Change Architecture*, Park Books, Zurich.

Iwamoto, L. (2009), *Digital Fabrications. Architectural and material techniques*, Princeton Architectural Press, New York.

Kieran, S. and Timberlake, J. (2004), *Refabricating architecture. How manufacturing methodologies are poised to transform building construction*, McGraw Hill, New York.

Landolfo, R. and Russo Ermolli, S. (2012), *Acciaio e sostenibilità. Progetto, ricerca e sperimentazione per l'housing in cold-formed steel*, Clean, Napoli.

Marsh, P. (2013) *The new industrial revolution. Consumers, globalization and the end of mass production*, Yale University Press, Padstow, Cornwall.

McKinsey Global Institute (2016), *Imagining construc-*

*tion's digital future*. [Online] Available at: [www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future](http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future) [Accessed 10 April 2019].

Nardi, G. (1981), *Tecnologia dell'architettura e industrializzazione nell'edilizia*, Franco Angeli, Milano.

National Building Standard (2018), *Four phases of industrial revolution: Phase Four*. [Online] Available at: <https://www.thenbs.com/knowledge/four-phases-of-industrial-revolution-phase-four> [Accessed 10 April 2019].

Negroponce, N. (2010), "Towards a new Humanism through machines", in Menges, A. and Alquist, S. (eds), *Computational Design Thinking*, AD Reader series, John Wiley & Sons, New Jersey.

Poretti, S. (2013), "Un'industrializzazione sfasata", in Basiricò, T. and Bertorotta, S. (eds), *L'industrializzazione nei quartieri di edilizia residenziale pubblica*, Aracne, Roma.

Reiser, J. and Umemoto, N. (2006), *Atlas of novel tectonics*, Princeton Press, New York.

Russo Ermolli, S. (ed.) (2018), *The Changing Architect. Innovazione tecnologica e modellazione informativa per l'efficienza dei processi*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.

Smith, R. E. and Quale, J. D. (2017), *Offsite Architecture:*

*Constructing the future*, Routledge, London/New York.

<sup>a</sup> SERGIO RUSSO ERMOLLI, Architect, is Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Architecture of the University of Naples 'Federico II' (Italy); he develops research on the relationship between project and digital innovation in industrial production processes within the transformation of the building heritage. Mob. +39 340/51.81.989. E-mail: [russermo@unina.it](mailto:russermo@unina.it)

<sup>b</sup> GIULIANO GALLUCCIO, Architect, is a PhD student in Architecture at the Department of Architecture of the University of Naples 'Federico II' (Italy); he carries out his research on the subject of design and production, in relation to the use of BIM-oriented methodologies and of digital manufacturing technologies applied to off-site construction. Mob. +39 333/50.12.048. E-mail: [giuliano.galluccio@unina.it](mailto:giuliano.galluccio@unina.it)



## PROCESSI DIGITALI PER LA RIQUALIFICAZIONE DELL'EDILIZIA SOCIALE IN PLATTENBAU

### DIGITAL PROCESSES FOR THE REDEVELOPMENT OF SOCIAL HOUSING IN PLATTENBAU

Marina Block<sup>a</sup>, Massimo Perriccioli<sup>b</sup>, Monica Rossi-Schwarzenbeck<sup>c</sup>

#### ABSTRACT

Il contributo illustra una ricerca sperimentale in corso per lo sviluppo di innovazioni di processo relative alla documentazione, riqualificazione e gestione dell'edilizia sociale in Germania. L'obiettivo è proporre, attraverso le tecnologie digitali e computazionali, soluzioni progettuali smart che rendano tale patrimonio responsivo rispetto a contesti sempre più mutevoli e indeterminati e favoriscano nuove interazioni tra gli stakeholders coinvolti nelle diverse fasi del processo.

The paper reports an experimental research is underway for developing process innovations related to documentation, redevelopment and management of social housing in Germany. The goal is to propose, through digital and computational technologies, smart design solutions that make this heritage responsive to increasingly changing and indeterminate contexts and encourage new interactions between stakeholders involved in the different stages of the process.

#### KEYWORDS

Plattenbau, edilizia sociale, prefabbricazione, innovazione di processo, digitalizzazione

Plattenbau, social housing, prefabrication, process innovation, digitalization

Il patrimonio edilizio residenziale pubblico, realizzato a cavallo degli anni '60 e '70 con procedimenti costruttivi industrializzati ed elementi prefabbricati in cemento armato, si presenta in molti contesti europei come una vera e propria emergenza sociale e ambientale a cui è necessario rispondere in tempi rapidi con strategie di intervento tese a restituire adeguate prestazioni sotto il profilo tecnologico-costruttivo, spazio-funzionale ed energetico-ambientale. Le attuali e diffuse condizioni di disagio abitativo rendono la gestione dei processi di riqualificazione dell'edilizia residenziale pubblica un ambito originale di studio, volto a favorire la transizione di sistemi edilizi sorti al tempo della II Rivoluzione Industriale, verso l'era della IV Rivoluzione Industriale. Se la prefabbricazione pesante ha dimostrato che una completa unificazione dell'edilizia conduce all'uniformità, questo è avvenuto a causa dell'impiego non sempre corretto dell'industrializzazione nel campo dell'edilizia che, in una prospettiva di massificazione ha spesso trascurato le esigenze degli individui sia nell'organizzazione degli spazi che nella scelta di tecniche e materiali, erodendo la riconoscibilità dei valori umani e sociali. Pur non essendo una modalità produttiva necessariamente connessa a metodi di produzione industriali, essa costituisce l'ambito privilegiato per l'affermazione dei paradigmi dell'industria nelle costruzioni (Campioli, 2017) e spinge oggi a considerare, per il recupero di un così vasto patrimonio, interventi di riqualificazione che lo rendano 'responsivo' rispetto a nuove condizioni di contesto (socio-culturali, tecnico-economiche) sempre più mutevoli e indeterminate.

Ciò significa ricercare metodi operativi per riallineare i processi produttivi con i processi realizzativi, la qualità del processo con la qualità del progetto, per consentire un rinnovato dialogo tra i vari portatori d'interesse, controllando simultaneamente costi, tecniche e finanziamenti e accorciando la distanza tra la produzione e la realizzazione degli interventi di riqualificazione<sup>1</sup>. Nel perseguire tale obiettivo, ci si può avvalere di modelli di informazioni e di tecnologie abilitanti<sup>2</sup> che, se correttamente introdotti nei processi progettuali, possono favorire la convergenza di elementi materiali (tecniche, prodotti e sistemi), ed elementi immateriali (i saperi, l'intelligenza collettiva, il lavoro e la loro organizzazione), incrementando la qualità complessiva degli interventi di riqualificazione del costruito.

L'accordo quadro tra l'UniNA e l'HTWK Leip-

zig, che ha condotto a un'attività di collaborazione con il Leipziger Wohnungs und Baugesellschaft (LWB) – Ente gestore di circa il 70% dell'edilizia residenziale pubblica in Plattenbau realizzata nel dopoguerra nella città di Lipsia – per innovare i modelli di processo finalizzati a interventi di riqualificazione di tale patrimonio, ha costituito l'occasione per avviare una ricerca sperimentale su questi temi che, partendo dallo studio delle principali e più recenti esperienze di riqualificazione dell'edilizia residenziale (in un panorama che ha visto la diffusione di interventi riconosciuti come best practices a livello internazionale) e indagando al contempo nuove possibilità di innovazione progettuale e processuale, sia potenzialmente replicabile anche in altri contesti (Figg. 1-3).

La richiesta del LWB – i cui progetti sono ancora legati a supporti CAD e bidimensionali – di un esempio di modellazione in ambiente BIM di alcuni edifici da riqualificare nel 2020 nel quartiere di Loßnig, costituisce il punto di partenza di una ricerca volta a esplorare le molteplici dimensioni del Building Information Modeling che, grazie al suo approccio parametrico (gestisce grandi moli di dati), computazionale (trae informazioni da questi dati) e ricorsivo (ritorna ciclicamente alle diverse fasi del processo), si rivela la metodologia adeguata per organizzare e gestire l'intero processo di riqualificazione. Nel guidare l'attuazione degli interventi in maniera 'intelligente' e precisa, infatti, il BIM consente una visione sull'intero layout dell'opera – dai materiali utilizzati ai costi, dalle tecniche impiegate ai tempi – e ha un carattere previsionale sull'intero ciclo di vita. Obiettivo del presente contributo è illustrare i primi risultati raggiunti dalla ricerca che mira a delineare una metodologia operativa in cui le Operational Technologies e le ICT, legate a Industria 4.0<sup>3</sup>, consentano un matching tra tecnologie materiali e immateriali, tra il dato tecnologico-ambientale e quello socio-economico e antropologico, ponendo l'abitante al centro di un sistema di organizzazione dello spazio e coinvolgendolo attivamente all'interno del processo.

*Il caso dell'edilizia residenziale pubblica in Plattenbau della Germania dell'Est* – Lo stock edilizio residenziale europeo rappresenta nel suo complesso il 75% di tutto il costruito esistente ed è stato realizzato in buona parte tra il 1946 e il 1981, negli anni della ricostruzione e del boom edilizio (Fig. 4). Di circa 41 milioni di appartamenti in Germania,

il 68% sono stati realizzati prima delle norme sull'isolamento termico degli edifici<sup>4</sup>; il mancato isolamento degli involucri antecedenti al 1978 causa il consumo di oltre il 90% dell'energia totale per il riscaldamento degli edifici residenziali, spingendo a riconoscere negli interventi di riqualificazione di tale patrimonio il più grande potenziale per ridurre il consumo energetico (Richarz and Schulz, 2011).

Il Governo Federale tedesco è stato tra i primi in Europa ad armonizzarsi con gli obiettivi strategici della UE sulla riduzione della dipendenza da fonti energetiche fossili e sul rispetto del pacchetto 'clima-energia 20-20-20'<sup>5</sup>. Parallelamente sono stati istituiti gruppi di lavoro governativi con lo scopo di promuovere e regolamentare la digitalizzazione dell'intero processo edilizio<sup>6</sup>, con una conseguente necessaria ridefinizione non solo delle competenze degli attori coinvolti, ma anche delle quantità e qualità delle prestazioni professionali relativa a ciascuna delle fasi e agli onorari ad esse corrispondenti. Nelle grandi città, soprattutto nella ex-DDR, sono tuttora disponibili immobili di grandi dimensioni collocati in insediamenti residenziali a carattere monofunzionale, realizzati durante il regime socialista dai Wohnungsbaukombinate – raggruppamenti di uffici tecnici locali che si occupa-

vano della progettazione, realizzazione e gestione degli edifici – e riconducibili a 4 tipologie costruttive: Streifenbauweisen, Grossblockbauweisen, Plattenbauweisen<sup>7</sup> e Skelettbauweisen, che permisero di limitare i costi degli interventi e ridurre i tempi di cantiere (Fig. 5).

Il caso delle aree appartenenti all'ex-DDR si offre come declinazione particolare del fenomeno della prefabbricazione pesante: i Plattenbau, grazie alla loro matrice industriale e alla concezione sistemica con cui furono pensati e costruiti – legata al concetto di assemblaggio delle parti di fabbrica che li rende altresì disaggregabili – sono portatori di un potenziale rigenerativo, appannaggio esclusivo di questo tipo edilizio (Perriccioli and Ruggiero, 2012). L'azione anticipatrice, tipica della prassi industriale, ricorre sia nella fase di progetto sia in quella esecutiva e la possibilità di discretizzazione del sistema rende particolarmente interessante indagare processi innovativi di riqualificazione supportati dagli attuali strumenti legati al BIM. La natura residenziale dei manufatti, se da un lato pone in contatto con la spasmodica produzione di pannelli di volta in volta diversi per tipologie edilizie<sup>8</sup> essenziali, ripetitive e monotone, dall'altro spinge a considerare il successo che riscossero per il maggiore comfort, la salubrità e la relativa economicità, rispetto alla prospettiva di ricostruire le case distrutte dalla guerra. Questi edifici sono dunque testimonianza della cultura materiale e abitativa di un luogo, che vide già negli anni di quella produzione che T. W. Adorno (1951) definì «astucci preparati da esperti senza il minimo rapporto con gli abitanti», l'emergere di personalità che miravano a proporre soluzioni abitative personalizzabili, maggiormente tarate su un'utenza che stava cambiando e mirate ad assecondare stili di vita nuovi e flessibili<sup>9</sup> (Figg. 6, 7).

*La città di Lipsia e il caso applicativo del quartiere di Loßnig-Gersterstrasse 12* – Tra le città tedesche che, in relazione agli obiettivi strategici dell'UE,

sono riuscite a rafforzare le proprie capacità adattive e di resilienza urbana per migliorare le condizioni di vita dei cittadini e rendere le città più competitive e sostenibili, Lipsia ha ristabilito la sua reputazione come centro economico e politico, fino a essere nominata 'Città europea dell'anno' agli Urbanism Awards 2019 (Fig. 8). L'Amministrazione comunale sta lavorando a uno sviluppo urbano integrato, includendo la raccolta di basi di dati aggiornate e il lavoro sulle tecnologie per lo sviluppo di una strategia urbana sostenibile. L'individuazione di aree di interesse e di sviluppo di distretti urbani integrati vede nei quartieri periferici delle opportunità di rigenerazione urbana legate alla riqualificazione dell'edilizia in Plattenbau, ampiamente demolita negli anni '90 e solo successivamente interessata da interventi di riqualificazione, spesso standardizzati come i manufatti stessi. Buona parte di questi interventi è nelle mani del LWB – committente di parte del progetto di ricerca – che necessita la digitalizzazione dei materiali relativi al proprio patrimonio, attualmente legati a supporti e tecnologie superate. Il 70-75% di questi edifici è del tipo in linea a cinque e sei piani, e ospita 'appartamenti con affitti socialmente accettabili', legalmente differenti dagli alloggi sociali. Un'altra quota è composta da torri a undici e sedici piani, il cui problema principale è la sicurezza antincendio e la cui riqualificazione richiede la revisione e la realizzazione di diversi impianti e servizi – quali ascensori, impianti di riscaldamento, impianti di ventilazione – rendendola molto più complessa di quella relativa agli edifici in linea. Tali interventi sottendono l'obiettivo generale del raggiungimento di standard tecnologico-ambientali che garantiscano adeguate prestazioni nel tempo, laddove i diversi elementi costruttivi siano sottoposti a una regolare e relativamente economica manutenzione.

Il caso applicativo più utile al soddisfacimento delle esigenze del LWB, ricade nel quartiere di Loßnig, a Sud della città di Lipsia, dove nella Gersterstrasse, tra il 1973 e il 1975, furono realizzati 860 appartamenti in edifici in Plattenbau della serie WBS70/10800/5 (10800 indica l'interesse tra i pannelli di facciata e 5 il numero di piani; Fig. 9). L'area è oggetto della riqualificazione di parte degli immobili, da completare entro la fine del 2020, a causa del riscontro di una serie di criticità tecnico-costruttive (fenomeni di degrado, scarsa durabilità) ed energetico-ambientali (impianti assenti, obsoleti o non a norma, alta dispersione energetica, senza tener effettivamente conto delle criticità di natura tipologico-spaziale (sottodimensionamento degli ambienti, rigidità distributiva). Il quartiere consente diversi spunti di riflessione in merito all'implementazione del processo edilizio, grazie alla presenza di edifici già riqualificati, di edifici in fase di riqualificazione e di edifici in stato di degrado, da riqualificare entro il 2020. Di questi ultimi è richiesta una modellazione in ambiente BIM, per poterne sperimentare l'effettiva utilità ai fini degli interventi di riqualificazione e della successiva gestione FM.

*Azioni e metodi proposti* – Il supporto fornito al LWB nello sviluppo di processi innovativi per gli interventi di riqualificazione non può essere confinato nell'ambito di operazioni relative alla sola fase progettuale, ma comporta necessariamente anche la considerazione delle successive fasi realizzative e d'esercizio. In tal senso, il BIM – gra-

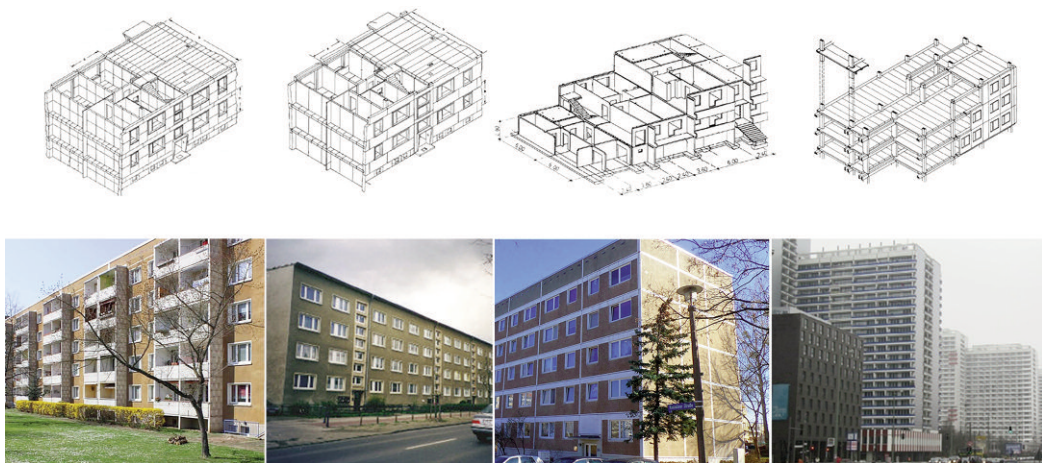


Fig. 1-4 - Transformation of 530 dwellings, blocks G, H, I (Lacaton&Vassal, F. Drut and C. Hutin, 2016) in Bordeaux (credit: AIT Architektursalon Hamburg, 2017); Refurbishment of 36 apartments, house 06 (S. Forster Architekten, 2007) in Leinefelde (credit: S. Forster GmbH, 2007); Shared Living: 150 housing units co-developed with the community (DUS Architekten 2009) in Nieuwegein (credit: B. Lendt and G. Lindner, 2014); Concentration of Großwohnsiedlungen (prefabricated complexes in AC) in Germany (credit: L. Lenoci, 2016).

Fig. 5 - Block of 5 floors of type IW-65 M (Industriewohnungsbau Magdeburg), variant of the construction type Streifenbauweise, Jena-Neulobeda 1965 (credit: Basvolve06, Own work, 2014); Block of 4 floors of the IW-64 type, variant of the Blockbauweise construction type, Orianenburg (credit: M. Holfeld Architektin); Block of 5 floors of type WBS-70 (Wohnungsbauweise), variant of the Plattenbauweise construction type, Neubrandenburg 1973 (credit: R. Krüger, 2012); Tower of 25 floors of the type SKB68 (Stahlbetonskelett mit Knotenpunkten Berlin), variant of the Skelettbauweise construction type with reinforced concrete skeleton, Berlin 1969 (credit: T. Nagel).

zie alla precisa individuazione degli attori coinvolti e dei loro compiti, all'assegnazione di diversi livelli di dettaglio e sviluppo del progetto durante le diverse fasi del processo edilizio, e alla scomposizione di quest'ultimo in dimensioni di volta in volta sempre più approfondite – prefigura metodologie e strumenti che permettono l'attuazione di un nuovo sistema integrato che si completa in filiere più ampie attraverso il governo di processi circolari continui.

Allo scopo di ottimizzare i processi di riqualificazione di un numero elevato di edifici che presentano analoghe soluzioni tipo-tecnologiche e di esplorare soluzioni che rendano tali edifici 'responsivi', il lavoro di ricerca intende mettere a punto un workflow digitalizzato che, partendo da un modello BIM di un 'edificio tipo', possa essere poi esteso ai diversi interventi che il LWB ha in programma. Ciò ha richiesto necessariamente una scelta tra un approccio closed-BIM (basato sull'utilizzo di software riconducibili alla stessa azienda produttrice) o uno open-BIM (in cui si utilizzano software differenti, commercializzati da aziende differenti). Guardando alla possibile replicabilità del processo e dal momento che il panorama professionale della Sassonia è basato sulla collaborazione tra piccoli studi e imprese di medie e piccole dimensioni, specializzati in ambiti specifici del processo progettuale (Rossi, 2018), si è deciso di optare per un approccio collaborativo big open-BIM, basato su flussi di lavoro multidisciplinari, supportati da interfacce Industry Foundation Classes.

La modellazione architettonica e impiantistica mira a rendere il modello quanto più ricco di informazioni utili alle fasi successive del lavoro e si limita a simulare l'interoperabilità tra operatori di discipline diverse, essendo nella pratica tutto gestito da un unico operatore, assimilabile al project manager di un eventuale intervento. A partire da materiali cartacei forniti e rilievi in situ, e imbattendosi in problemi di comunicazione tra software appartenenti a differenti software houses<sup>10</sup> – come prevedibile dato l'approccio scelto – si sta procedendo alla modellazione tridimensionale dei manufatti dal civico 12 al 24, associando ai singoli elementi e componenti il maggior numero di dati e informazioni reperibili, avvalendosi anche di analisi ambientali (tra cui l'analisi termica con la fotocamera ad infrarossi e il test Blower-Door; Fig. 10), che consentiranno di implementare il modello dell'edificio da un Level of Development (LOD) 200 – secondo la scala internazionale – o LOD C (Figg. 11 e 12) – secondo la norma UNI 11337-4 – a un LOD 300 o LOD D (Fig. 13). Tali analisi, condotte analogamente sui blocchi da riqualificare e su quelli già riqualificati hanno altresì consentito di apprezzare l'effettiva validità energetico-ambientale degli interventi effettuati finora. Questo spinge a considerare la necessità di offrire delle alternative di progetto che siano economicamente vantaggiose e rapidamente realizzabili, affinché possano essere ritenute convenienti dalla committenza, nonché la possibilità di offrire valide soluzioni per l'adeguamento spazio-funzionale degli appartamenti, attualmente non previste ma già prese in considerazione dal LWB allo scopo di poter accogliere nuclei familiari più eterogenei. Il progetto e la sua realizzazione, infatti, sono sempre più soggetti alla necessità di incrementare la qualità degli obiettivi senza incidere eccessivamente sui costi e sul tempo impiegati per ottenerla, al fine di rispon-

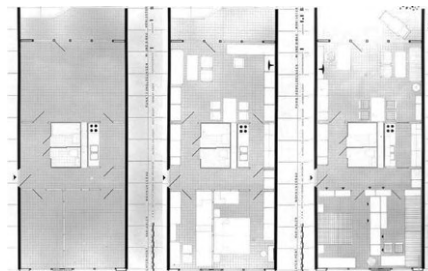
dere in maniera adeguata alla richiesta di prodotti differenziati – e una conseguente maggiore possibilità di scelta – con un minore impiego di risorse (Kieran, 2004).

Esplorando le potenzialità offerte dalla progettazione parametrica, la ricerca mira a indagare e valutare diverse opzioni di progetto – nuove o già attualmente previste per l'involucro e gli impianti – sulla base dei tempi, dei costi e della qualità ambita (Figg. 14, 15). D'altra parte, il design optioneering, consente di vagliare anche soluzioni attualmente non previste relative alla flessibilità spaziale degli appartamenti e alla possibilità di un superamento dell'attuale rigidità spaziale dei blocchi, considerando il ciclo di vita di ogni componente dell'immobile, pensando ad esso in modo modulare, affinché possa subire di volta in volta, laddove necessario, delle trasformazioni parziali, prefigurando la possibilità di una stratificazione degli edifici che consenta di cambiarne il layout (Miorin, 2017).

Attraverso un'azione su tre livelli di intervento – spazio-funzionale, tecnologico-costruttivo ed energetico-ambientale – e su una loro modulazione, si mira a proporre soluzioni sostenibili da parte della committenza (economicamente e logisticamente) e dell'utenza (in termini di sostenibilità abitativa), evitando al contempo soluzioni standardizzate e spersonalizzanti e incentivando quelle in grado di rivelarsi rapide da realizzare, rapide da sostituire, facili da re-impiegare, legate a parametri di flessibilità, versatilità e variabilità. In tal senso, le tecnologie diventerebbero 'abilitanti' anche per gli utenti, attivamente coinvolti attraverso l'uso e l'interazione con le ICT in un processo circolare in termini di comunicazione tra le parti già in fase progettuale, e potenzialmente anche in fase di utilizzo (Fig. 16). Questo comporta la possibilità di operare parallelamente attraverso tecnologie hard, legate alla materialità delle soluzioni proposte, e soft, legate all'immaterialità dei dati e della partecipazione attiva degli stakeholders, in una simbiosi tra uomini e macchine che è alla base dei sistemi umani, la cui rete di sostegno vede nelle «tecnologie superiori» la possibilità di operare in maniera diversa, di cambiare modalità relazionale, orientandosi ad approcci creativi che mettono in discussione apparati e tecniche precedenti (Zeleny, 2007).

*Prospettive future* – Quest'apertura di prospettiva si correla ai contenuti ambientali e sistemici: si è inteso trattare sistemi tecnologici chiusi per statuto concettuale e produttivo attraverso una progettualità aperta, che delinea infatti per il progetto di architettura un livello di elaborazione intermedio, dove il rapporto tra le parti e il tutto non è univocamente determinato ma si apre a una serie ampia di possibilità combinatorie (Bianchi, 1986). L'ambizione è di offrire alla committenza un modello tridimensionale in ambiente BIM e le relative opzioni progettuali su involucro e impianti (alla luce di costi, tempi di realizzazione, materiali, schede tecniche, prestazioni) e di sistemazione flessibile e variabile degli ambienti interni. Dalla modulazione delle diverse categorie di intervento, il LWB potrà individuare soluzioni differenti e innovative rispetto a quelle finora effettuate, ripensando il proprio programma di riqualificazione alla luce dell'interoperabilità con i diversi attori del processo edilizio.

Sarà infatti possibile immaginare un'interazione continua con i diversi stakeholders, mediante la creazione di piattaforme digitali – grazie alla



Figg. 6, 7 - Model of apartment Neues Lebenneues Wohnen (W. Stallknecht, 1963) in Berlin: the glass door as an alternative to the door and the cabinets as an alternative to partitions; Example of apartment distribution (W. Stallknecht, 1982), conceived by the residents themselves, from light partitions or from furnishing elements (credits: W. Stallknecht).

presenza di 'chioschi informativi' all'interno di ogni quartiere e all'esistenza di una piattaforma GIS all'interno dell'ufficio del LWB – attraverso le quali anche l'utenza potrà intervenire attivamente nelle fasi progettuali del processo, esprimendo preferenze in merito alla distribuzione degli alloggi, o in fase d'esercizio, denunciando danni e malfunzionamenti. Se è vero, infatti, che alla base delle metodologie di tipo BIM sussiste l'interoperabilità tra gli operatori, appare possibile immaginare una condivisione in cloud di modelli realizzati ad hoc, che siano accessibili anche all'utenza tramite connessione Wi-Fi e parzialmente modificabili dalla stessa mediante l'aggiunta di utili informazioni e/o richieste.

*Conclusioni* – Per l'edilizia residenziale pubblica realizzata mediante l'impiego di grandi pannelli portanti –tipica di una stagione dell'industrializzazione che si è consumata tra gli anni '60 e '80 – possono emergere validi indirizzi per nuove politiche di rigenerazione affrontate dal punto di vista sociale, economico e ambientale, in cui la tecnologia, intesa nelle sue dimensioni materiali e immateriali (Fig. 17), può confermarsi «lo studio delle scienze applicate ai problemi di trasformazione nel campo della materia e in quello del pensiero» (Ciribini, 1984, p. 10), contribuendo a orientare i processi di riqualificazione dei quartieri esistenti verso regimi prestazionali coerenti e meglio orientati a una dimensione ecologica e antropologicamente adeguata. Nell'agire su sistemi poco flessibili, è possibile inoltre favorire l'affermazione di una nuova cultura abitativa, uno smart living che, attraverso l'utilizzo di tecnologie immateriali di ultima generazione, piattaforme in cloud per la condivisione dei dati, software per il supporto all'interoperabilità tra gli operatori, abiliti tutti gli attori coinvolti nelle diverse fasi del processo a re-indirizzare i comportamenti verso un'idea di innovazione responsabile, perché il progetto può essere considerato atto in-



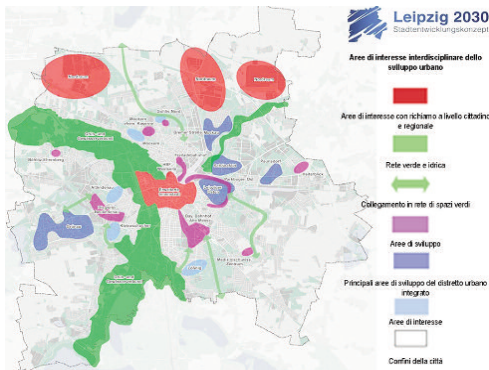


Fig. 8 - Leipzig 2030: the concept of integrated urban development (INSEK) adopted in 31 May 2018 (credit: Stadt Leipzig, 2017).

Fig. 9 - The Blocks in Gersterstrasse (district of Lossnig) in a model created by the technical office of the LWB, Leipzig 2017 (credit: M. Block, 2018).

ventivo in grado di produrre innovazione solo se è in grado di collocarsi lungo quello che Giovanni Guazzo (2004, pp. 7-10) ha definito «il crinale della responsabilità tra il livello di ciò che lo determina e il livello di ciò che esso determina». Nel cogliere l'opportunità di reinventare la costruzione nell'era digitale (Bew, 2017), si vuole segnalare l'importanza, l'attualità, l'originalità e la replicabilità dell'approccio proposto che fornisce in questa fase del lavoro elementi metodologici e operativi per aggiornare il dibattito sul tema del Social Housing in Europa alla luce delle nuove possibilità offerte dalla digitalizzazione dei processi di gestione degli interventi di riqualificazione architettonica ed ambientale di importanti comparti edilizi.

#### ENGLISH

The public residential building heritage, built at the turn of the 60s and 70s with industrialized construction processes and precast concrete elements, appears in many European contexts as a real social and environmental emergency to which it is necessary to answer quickly with intervention strategies aimed at restoring adequate performance from the technological-constructive, space-functional and energy-environmental point of view. The current and widespread conditions of housing problems make the management of social housing redevelopment processes an original field of study, aimed at fostering the transition of building systems born at the time of the II Industrial Revolution, towards the era of the IV Industrial Revolution. If heavy prefabrication has shown that a complete unification of the building leads to uniformity, this has happened because of the not always correct use of the industrialization in the building field that, in a massification perspective has often neglected the needs of the individuals both in the organization of spaces and in the choice of techniques and materials, eroding the recognizability of human and social values. Al-

though it is not necessarily a production mode connected to industrial production methods, it constitutes the privileged environment for the establishment of the para-digms of the construction industry (Campioli, 2017) and today pushes to consider, for the recovery of such a vast heritage, redevelopment interventions that make it 'responsive' to new, ever-changing and undetermined context conditions (socio-cultural, technical-economic).

This means looking for operational methods to realign the production processes with the implementation processes, the quality of the process with the quality of the project, to allow a renewed dialogue between the various stakeholders, simultaneously controlling costs, techniques and financing and shortening the distance between production and implementation of redevelopment interventions<sup>1</sup>. In pursuing this objective, information models and enabling technologies<sup>2</sup> can be used which, if correctly introduced in the design processes, can promote the convergence of material elements (techniques, products and systems), and intangible elements (knowledge, the collective intelligence, work and their organization), increasing the overall quality of the redevelopment interventions of the building.

The framework agreement between UniNA and HTWK Leipzig, which led to a collaborative activity with the Leipziger Wohnungs und Bausegesellschaft (LWB) – managing authority of about 70% of public housing in Plattenbau built in the post-war period in the city of Leipzig – to innovate the process models aimed at redevelopment of this heritage, it was an opportunity to start experimental research on these issues which, starting from the study of the main and most recent residential redevelopment experiences (in a panorama that has seen the spread of interventions recognized as best practices at the international level) and at the same time investigating new possibilities for design and process innovation, which can potentially be replicated also in other contexts (Figg. 1-3).

The request of the LWB – whose projects are still linked to CAD and two-dimensional supports – of an example of modeling in BIM environment of some buildings to be redeveloped in 2020 in the Loßnig area, constitutes the starting point of a research aimed at exploring the multiple dimensions of the Building Information Modeling that, thanks to its parametric approach (it manages large amounts of data), computational (it draws information from these data) and recursive (it returns cyclically to the different phases of the process), reveals the appropriate methodology to organize and manage the whole redevelopment intervention. In guiding the implementation of the interventions in an 'intelligent' and precise way, in fact, the BIM allows a view on the entire layout of the work – from the materials used to the costs, from the techniques used at the time – and has a predictive character on the whole life cycle.

The aim of this contribution is to illustrate the first results achieved by the research that aims to outline an operational methodology in which Operational Technologies and ICT, linked to Industry 4.0<sup>3</sup>, allow a matching between material and immaterial technologies, between the technological-environmental data and that socio-economic and anthropological, putting the inhabitant at the center of a space organization system and actively involving it within the process.

The case of social housing in Plattenbau of the East Germany – The European residential building stock as a whole represents 75% of all existing buildings and was largely built between 1946 and 1981, during the years of reconstruction and the housing boom (Fig. 4). Of around 41 million apartments in Germany, 68% were built before the building thermal insulation standards<sup>4</sup>; the lack of insulation of the enclosures prior to 1978 causes the consumption of more than 90% of the total energy for the heating of residential buildings, pushing them to recognize the greatest potential for reducing energy consumption in the redevelopment interventions of this heritage (Richarz and Schulz, 2011).

The German Federal Government was among the first in Europe to harmonize with the strategic objectives of the EU on reducing the dependence on fossil energy sources and on respecting the 'climate-energy 20-20-20' package<sup>5</sup>. At the same time, governmental working groups have been set up with the aim of promoting and regulating the digitalization of the entire building process<sup>6</sup>, with a consequent necessary redefinition not only of the skills of the actors involved, but also of the quantity and quality of professional services relating to each of the phases and the fees corresponding to them. In large cities, especially in the former GDR, large buildings are still available in monofunctional residential settlements, built during the socialist regime by the Wohnungsbaukombinate – groups of local technical offices that dealt with design, construction and management of buildings – and attributable to 4 construction types: Streifenbauweisen, Grosblockbauweisen, Plattenbauweisen<sup>7</sup> and Skelettbauweisen, which made it possible to limit intervention costs and reduce construction time (Fig. 5).

The case of the areas belonging to the former GDR offers itself as a particular declination of the phenomenon of heavy prefabrication: thanks to their industrial matrix and the systemic conception with which they were conceived and built – linked to the concept of assembly of the factory parts that it also makes them disaggregated – the Plattenbau carry a regenerative potential, that is an exclusive prerogative of this building type (Perriccioli and Ruggiero, 2012). The anticipatory action, typical of industrial practice, occurs both in the design phase and in the executive phase, and the possibility of discretizing the system makes it particularly interesting to investigate innovative redevelopment processes supported by the current BIM-related tools. The residential nature of the artefacts, if on the one hand puts in contact with the spasmodic production of panels from time to time different for essential building types<sup>8</sup>, repetitive and monotonous, on the other pushes to consider the success that they received for the greater comfort, the healthiness and the relative cheapness, compared to the prospect of rebuilding the houses destroyed by the war. These buildings are thus evidence of the material and living culture of a place, which saw already in the years of that production that T. W. Adorno (1951) defined «boxes prepared by experts without the slightest relationship with the inhabitants», the emergence of personalities that aimed to propose customizable housing solutions, more calibrated to a user that was changing and aimed at supporting new and flexible lifestyles<sup>9</sup> (Figg. 6, 7).

The city of Leipzig and the case study of the area

of Loßnig, Gersterstrasse 12 – Among the German cities that, in relation to the strategic objectives of the EU, have managed to strengthen their adaptive and urban resilience capabilities to improve the living conditions of citizens and make cities more competitive and sustainable, Leipzig has restored its reputation as an economic and political center, up to being named ‘European city of the year’ at the 2019 Urbanism Awards (Fig. 8). The municipal administration is working on an integrated urban development, including the collection of updated databases and work on technologies for the development of a sustainable urban strategy. The identification of areas of interest and development of integrated urban districts sees in the peripheral districts opportunities for urban regeneration linked to the redevelopment of the building in Plattenbau, extensively demolished in the 90s and only subsequently affected by redevelopment interventions, often standardized as the buildings themselves. Large part of these interventions is in the hands of the LWB – the client of part of the research project – which requires the digitization of the materials related to its own heritage, currently linked to outdated supports and technologies. 70-75% of these buildings are of the five and six-story in-line type, and host ‘apartments with socially acceptable rentals’, legally different from social housing. Another quota consists of eleven and sixteen storey towers, whose main problem is fire safety and whose redevelopment requires the revision and construction of various systems and services – such as elevators, heating systems, ventilation systems – making it much more complex than that relating to buildings in line. These interventions underlie the general goal of achieving technological-environmental standards that guarantee adequate performance over time, where the various construction elements are subjected to regular and relatively inexpensive maintenance.

The most useful application case to satisfy the needs of the LWB lies in the Loßnig area, in the south of the city of Leipzig, where in the Gersterstrasse, between 1973 and 1975, 860 apartments blocks in Plattenbau were built of the WBS70/10800/5 serie (10800 indicates the distance between the front panels and 5 the number of floors; Fig. 9). The area is subject to the redevelopment of part of the buildings, to be completed by the end of 2020, due to the finding of a series of technical-constructive critical issues (degradation phenomena, poor durability) and energy-environmental problems (absent, obsolete or not up to standard, high energy dispersion), without actually taking into account the typological-spatial lacks (under-sizing of the rooms, distribution rigidity). The area allows from different perspectives the reflection on the implementation of the building process, thanks to the presence of buildings already redeveloped, buildings undergoing redevelopment and buildings in a state of degradation, to be redeveloped by 2020. The latter require a modeling in a BIM environment, in order to be able to experience the actual utility for the purposes of equalization and subsequent FM management.

Proposed actions and methods – The support provided to the LWB in developing innovative processes for redevelopment interventions cannot be bounded to operations related to the design phase

only, but necessarily also involves the consideration of the subsequent construction and operation phases. In this sense, the BIM – thanks to the precise identification of the actors involved and their tasks, to the assignment of different levels of detail and development of the project during the different phases of the building process, and to the breakdown of the latter into vault dimensions more and more in-depth – prefigures methodologies and tools that allow the implementation of a new integrated system that is completed in larger chains through the management of continuous circular processes.

In order to optimize the redevelopment processes of a large number of buildings that have similar type-technological solutions and to explore solutions that make these buildings ‘responsive’, the research work aims to develop a digitized workflow that, starting from a model BIM of a ‘building type’, can then be extended to the various interventions that the LWB is planning. This necessarily required a choice between a closed-BIM approach (based on the use of software of the same company) or an open-BIM (using different software, marketed by different companies). Looking at the possible replication of the process and

since the professional landscape of Saxony is based on the collaboration between small studios and medium-sized and small companies, specialized in specific areas of the design process (Rossi, 2018), it was decided to choose for a big open-BIM collaborative approach, based on multidisciplinary workflows, supported by Industry Foundation Classes interfaces.

The architectural and plant modeling aims to make the model as rich in information useful for the subsequent phases of the work and is limited to simulating interoperability between operators of different disciplines, being in practice all managed by a single operator, similar to the project manager of a possible intervention. Starting from the provided paper materials and in situ surveys, and encountering communication problems between software belonging to different software houses<sup>10</sup> – as expected given the chosen approach – three-dimensional modeling of the buildings from number 12 to 24 is taking place, associating them to the individual elements and components the largest number of data and information available, also making use of environmental analysis (including thermal analysis with the infrared camera and the Blower-Door test; Fig. 10), which will allow to im-



Fig. 10 - The district of Loßnig, Block in Gersterstrasse 12-24: thermal analysis with the infrared camera to the series WBS70/10800/5, Leipzig 2019 (credit: M. Block, 2019).

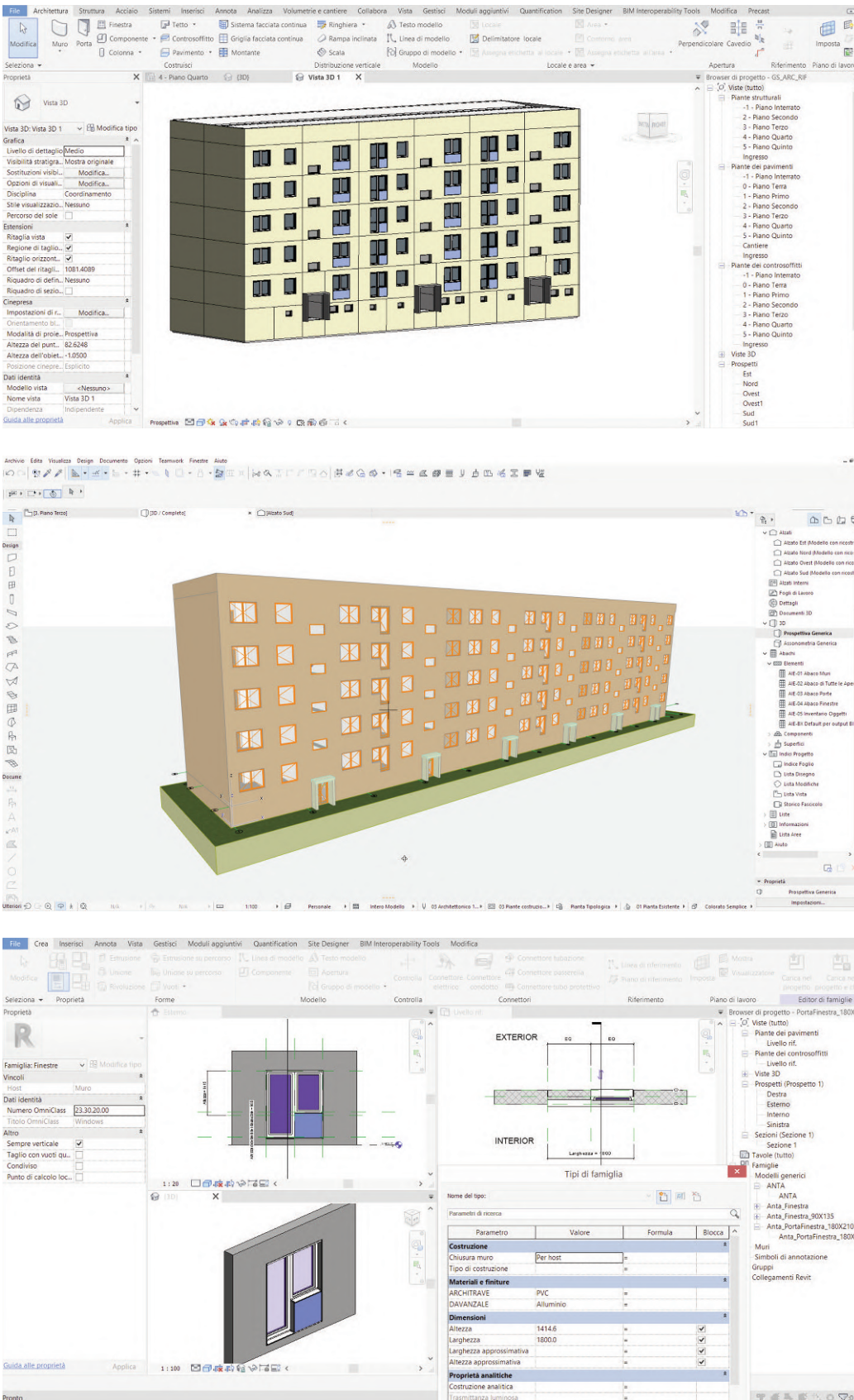


Fig. 11-13 - Block in Gersterstrasse 12-24: Implementation of family parameters to achieve a LOD 300 using the Revit software and BIM LOD 200 models built in parallel with Revit and Archicad software (credits: M. Block, 2019).

plement the building model from a Level of Development (LOD) 200 – according to the international scale – or LOD C (Figs. 11, 12) – according to the UNI 11337-4 standard – to a LOD 300 or LOD D (Fig. 13). These analysis, carried out similarly on the blocks to be redeveloped and those already upgraded, have also allowed us to appreciate the

actual energy-environmental validity of the interventions carried out so far. This leads us to consider the need to offer design alternatives that are economically advantageous and quickly achievable, so that they can be considered convenient by the client, as well as the possibility of offering valid solutions for the space-functional adaptation of the

apartments, currently not provided but already taken into consideration by the LWB in order to accommodate more heterogeneous families. The project and its implementation, in fact, are increasingly subject to the need to increase the quality of the objectives without excessively affecting the costs and time used to obtain it, in order to adequately respond to the demand for differentiated products – and a consequent greater choice – with less use of resources (Kieran, 2004).

Exploring the potentialities offered by parametric design, the research aims to investigate and evaluate different project options – new or already planned for the envelope and the plants – based on time, costs and the quality sought (Fig. 14, 15). On the other hand, the pioneering design also allows for the screening of solutions that are currently not provided for the spatial flexibility of the apartments and the possibility of overcoming the current spatial rigidity of the blocks, considering the life cycle of each building component, thinking to it in a modular way, so that it can undergo, from time to time, where necessary, partial transformations, prefiguring the possibility of a stratification of the buildings that allows to change the layout (Miorin, 2017).

Through an action on three levels of intervention – space-functional, technological-constructive and energy-environmental – and on their modulation, the aim is to propose sustainable solutions on the part of the client (economically and logistically) and of the user (in terms of housing sustainability), avoiding at the same time standardized and depersonalizing solutions and encouraging those able to be quick to implement, quick to replace, easy to re-use, linked to parameters of flexibility, versatility and variability. In this sense, technologies would become ‘enabling’ also for users, actively involved through the use and interaction with ICTs in a circular process in terms of communication between the parties already in the design phase, and potentially also in the phase of use (Fig. 16). This entails the possibility of working in parallel through hard technologies, linked to the materiality of the proposed solutions, and soft, linked to the immateriality of data and the active participation of stakeholders, in a symbiosis between men and machines that is the basis of human systems, the whose support network sees in «higher technologies» the possibility of operating in a different way, of changing relational modalities, orienting oneself to creative approaches that question previous apparatuses and techniques (Zeleny, 2007).

Future perspectives – This openness of perspective correlates to environmental and systemic contents: the aim was to treat closed technological systems by conceptual and productive status through open planning, which in fact outlines an intermediate level of elaboration for the architectural project, where the relationship between the parts and the whole is not univocally determined but opens up to a wide range of combinatorial possibilities (Bianchi, 1986). The ambition is to offer the client a three-dimensional model in a BIM environment and the related design options on the casing and systems (in the light of costs, realization times, materials, technical data sheets, performances) and flexible and variable rearrangement of the internal environments. From the

modulation of the different intervention categories, the LWB will be able to identify different and innovative solutions with respect to those made so far, rethinking its own redevelopment program in the light of interoperability with the various actors in the building process.

It will be possible to imagine a continuous interaction with the various stakeholders, through the creation of digital platforms – thanks to the presence of ‘information kiosks’ within each neighborhood and to the existence of a GIS platform within the LWB office – through which also the users can actively intervene in the planning phases of the process, expressing preferences regarding the distribution of the accommodation, or during the exercise phase, reporting damage and malfunctions. If it is true, in fact, that the interoperability between operators is the basis of the BIM methodologies, it seems possible to imagine a cloud sharing of models created ad hoc, which are also accessible to users via Wi-Fi connection and partially editable by the same by adding useful information and / or requests.

**Conclusions** – For public residential buildings built using large load-bearing panels – typical of a season of industrialization that took place between the 1960s and the 1980s – valid guidelines can emerge for new regeneration policies addressed from the social, economic and environmental point of view, in which technology, understood in its material and immaterial dimensions (Fig. 17), can be confirmed «the study of the sciences applied to the problems of transformation in the field of matter and in that of thought» (Ciribini, 1984, p. 10), helping to orient the redevelopment processes of existing neighborhoods towards coherent performance regimes that are better oriented to an ecological and anthropologically adequate dimension. In acting on less flexible systems, it is also possible to favor the affirmation of a new living culture, a smart living that, through the use of immaterial technologies of the latest generation, cloud platforms for data sharing, software for support interoperability among the operators, enables all the actors involved in the differ-

ent phases of the process to redirect the behaviors towards an idea of responsible innovation, because the project can be considered as an inventive step capable of producing innovation only if it is capable of to place itself along what Giovanni Guazzo (2004, pp. 7-10) has defined «the ridge of responsibility between the level of what determines it and the level of what it determines». In seizing the opportunity to reinvent construction in the digital age (Bew, 2017), we want to point out the importance, topicality, originality and replicability of the proposed approach that provides methodological elements in this phase of the work and operational to update the debate on the issue of social housing in Europe in light of the new possibilities offered by the digitalisation of the management processes of architectural and environmental redevelopment interventions of important building sectors.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection by the Authors in relation to the themes of a research for the development of an open and digitized workflow, potentially useful for supporting Public Administrations in the redevelopment and management of the social housing stock.

#### NOTES

1) In Holland, the Energiesprong company is experimenting with solutions that can redevelop a home in less than 15 days with a cost that pays for itself with a reduction in consumption. Ron van Erck, project manager and former consultant for the Dutch government, investigates the ‘revolution’ of ‘deep retrofitting’, based on the industrialization of the building process, managing to redevelop a large and diversified social housing heritage by intervening on the housing and facilities, with pre-assembled coats and fixtures and providing for the redevelopment of 111 thousand apartments with measures to zero consumption for 30 years.

2) Enabling technologies or KET, divided into tangible assets and intangible assets, develop technological solutions or improvements through research experiences capable of revitalizing the production system. These are technologies «with a high knowledge intensity and asso-

ciated with high Research & Development intensity, rapid innovation cycles, substantial investment costs and highly qualified jobs» (COM 2009/512).

3) The term was presented in 2011 in Hannover by some German managers and focuses on the theme of automation and interconnection, which leads to imagine a scenario of a production system in which the main resources – people, machines, plants, materials raw materials, finished products and final consumers – are interconnected with each other. This takes place along different dimensions, thanks to the convergence of two different types of technologies: Operational Technologies, those specific to the production context (collaborative robots, new man-machine interfaces, additive manufacturing and 3D printing) and ICT, which from the consumer world are penetrating the world of the factory and supply chains (the Cloud world, which allows for software resources, the IoT, machinery equipped with sensors capable of identifying objects, measuring parameters and transferring them, Big Data Analytics, the ability to extract knowledge from this amount of information).

4) The first regulation on energy saving in buildings (WärmeschutzV) was adopted in Germany on 11/08/77.

5) The reduction of energy demand sees the application of national legislative provisions arising from Directive 91/2002/EU. With the entry into force of the first regulation on the energy efficiency of the EnEV-Energy Conservation Act Buildings (2002), in the redeveloped buildings the reduction of 50% of consumption was achieved. In 2009 the EnEV was modified, increasing energy efficiency measures by 30% and those for better thermal insulation by 15%. From 2014 provides for the obligation of energy certification of existing buildings and the mandatory replacement of gas and oil boilers with more than 30 years. A further legislative instrument is the regulation, introduced in 1981 and modified in 2009, which increases the cost of heating and hot water in rented accommodation (HeizkostenV). This provision triggered a process of attention to the reduction of consumption by tenants and an incentive for owners to adopt energy saving measures. The legislative document of the Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) identifies since 2000 as a threshold goal the production of 30% of electricity from renewable sources (biomass, wind and solar) by 2020 and regulates the preferential supply on the network through the proposing fixed rates.

6) A characteristic is the subdivision of the project into nine specific phases (Leistungsphasen), from the drafting of the preliminary, final and executive project, up to the construction and management phases of the building.

7) While in the building in Plattenbau each perimeter wall of the room is made up of one element, the walls of the



Figg. 14, 15 - Blocks in Gersterstrasse: on the left, the original configuration and, on the right, the retrofit intervention (credits: M. Block, 2018).

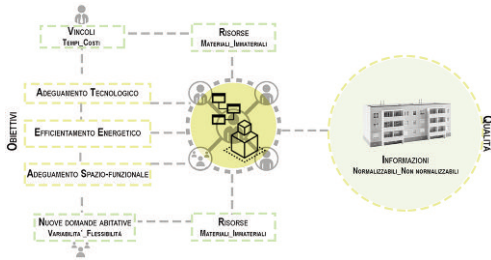
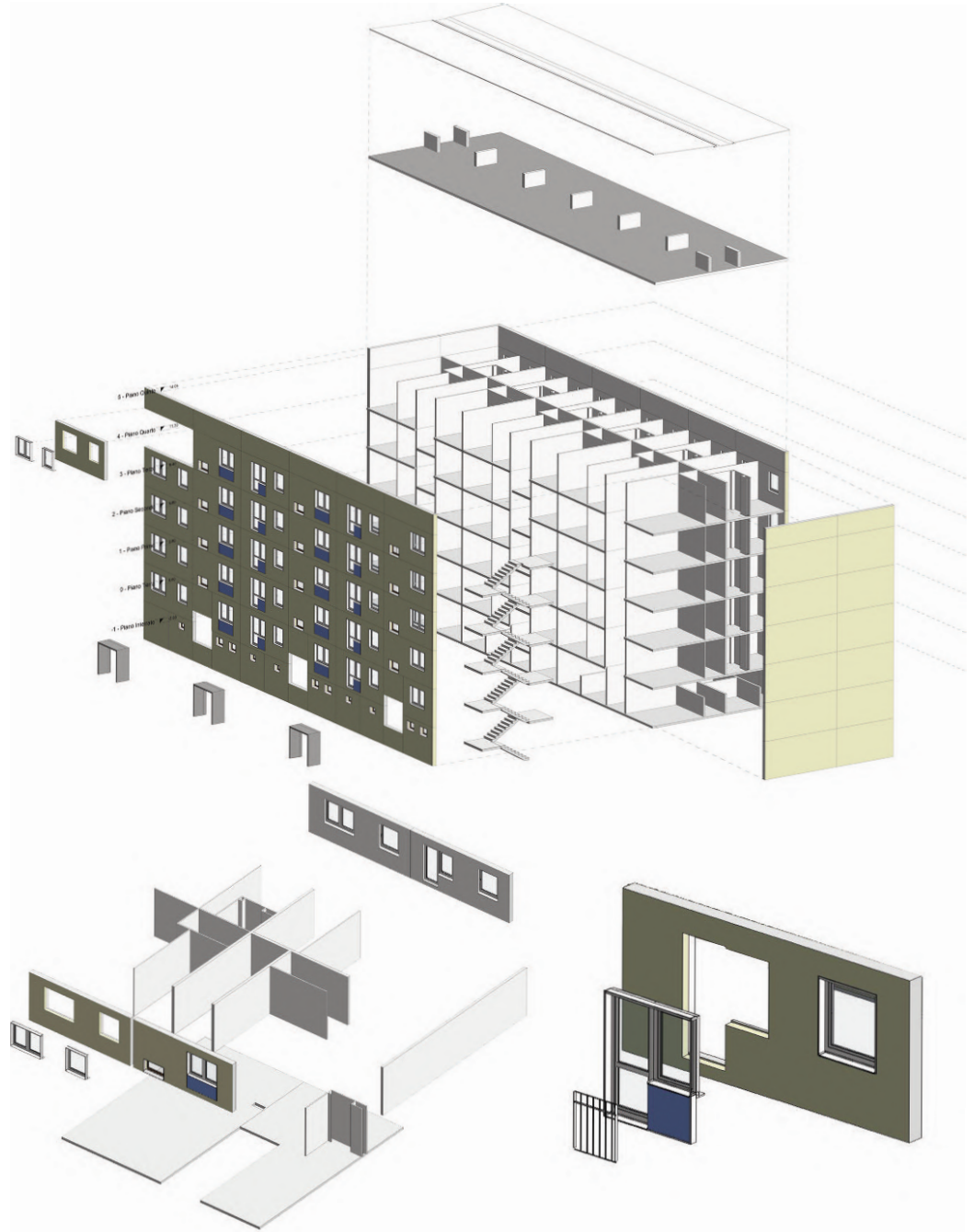


Fig. 16 - By modulating the actions on 3 levels it is possible to offer a recursive optioneering design, which looks at the life cycle of the building, the components and the materials, through the real involvement of all the actors of the process (credit: M. Block, 2019).

Fig. 17 - The intrinsic possibility of the blocks of discretizing the elements, from the scale of the building to that of detail, allows the BIM model to identify families and assign specific parameters (credit: M. Block, 2019).



Block und Streifenbau buildings consist of several prefabricated parts.

8) In the catalogue Housing and Social Buildings (1965), the German Academy of Construction reported the IW-65 M series (Industriewohnungsbau Magdeburg) as an exemplary case of the Streifenbauweise. Like this, many other residential buildings have been built, taking on different names, related to the building type, year of construction or the city where they were first developed: the M10 (M for Magdeburg, 10 for the number of plans), the Q3A (Querwandtyp-Nr.3-Variante A) transversal wall variant of the Blockbauweise; the P2, building in Plattenbau in which the P stands for 'parallel' (the bearing panels are arranged parallel to the surfaces of the façade) and 2 refers to the presence of two staircases; the WBS-70 series (Wohnungsbauserie) released from 1970; the SKB68 (Stahlbetonskelett mit Knotenpunkten Berlin), a building built since 1968 with a reinforced concrete skeleton.

9) Wilfried Stallknecht, an engineer known for the design of the P2 panel and the WBS 70 series, was also involved in interior design, promoting «variables Wohnung» for a «neues Wohnen». This did not see the acceptance by the government, producers and retailers; this leads us to reflect on the need for a realignment of the production chain in the redevelopment interventions.

10) In order to make the working methodology flexible and to test different interfaces between them, the model has been realized both with the Autoesk-Revit software, of international diffusion, and with the Graphisoft-ArchicAD software, very widespread in German architectural firms and used by the LWB.

## REFERENCES

- Adorno, T. W. (1951), *Minima Moralia. Meditazioni sulla vita offesa*, Einaudi, Torino.
- Bew, M. (2017), *View UK Government. Building A New World. NBS Breakfast Seminar*. [Online] available at: <https://www.slideshare.net/thenbs/uk-government-building-a-new-world-nbs-breakfast-seminar-january-2017> [Accessed 27 January 2017].
- Bianchi, R. (1986), *Le tecniche esecutive nell'edilizia residenziale degli anni '80. Dal tradizionale evoluto al cosiddetto industrializzato*, Franco Angeli, Milano.
- Campiooli, A. (2017), *Enzo Frateili e l'industrializzazione dell'edilizia*. [Online] Available at: <http://www.aisdesign.org/aisd/enzo-frateili-lindustrializzazione-delledilizia> [Accessed November 2017].
- Ciribini, G. (1984), *Tecnologia e progetto. Argomenti di Cultura Tecnologica della Progettazione*, Celid, Torino.
- Guazzo, G. (2004), "Progettare la mutevole immensità della vita", in Perriccioli, M. (ed.), *Incontri dell'Annunziata | Giornate di studio sull'innovazione tecnologica. IV edizione. Atti di Convegno. Facoltà di Architettura di Ascoli Piceno, 3-4 luglio 2002*, Edizioni Simple, Macerata, pp. 7-10.

Kieran, S. and Timberlake, J. (2014), *Refabricating Architecture: How Manufacturing Methodologies are Poised to Transform Building Construction*, McGraw-Hill Education, New York.

Miorin, T. (2017), *Sull'edilizia circolare*. [Online] Available at: <http://www.green.it/edilizia-circolare> [Accessed 24 January 2017].

Perriccioli, M. and Ruggiero, R. (2012), "La rigenerazione tecnologica e ambientale dell'edilizia residenziale industrializzata. Il caso del quartiere Selva Cafaro a Napoli", in *Techné / Social Housing*, vol. 4, pp. 207-218.

Rossi, M. (2018), "OPEN BIM approach: ricerche teoriche ed applicate per la sperimentazione transdisciplinare di procedure e metodi di lavoro innovative", in Russo Ermolli, S. (ed.), *The Changing Architect. Innovazione tecnologica e modellazione informativa per l'efficienza dei processi*, Maggioli Editore, Rimini, pp. 139-146.

Richardz, C. and Schulz, C. (2011), *Energetische Sanierung. Grundlagen, Details, Beispiele*, Detail Green Books, München.

Zeleny, M. (2007), "La gestione a tecnologia superiore e la gestione della tecnologia superiore", in Bocchi, G. and Ceruti, M. (eds), *La sfida della complessità*, Feltrinelli, Milano, pp. 377-400.

<sup>a</sup> MARINA BLOCK, Architect and PhD Student at the Department of Architecture of the University of Naples 'Federico II', Italy. She is guest researcher at the HTWK. Mob. +39 349/41.53.359. E-mail: [marina.block@unina.it](mailto:marina.block@unina.it)

<sup>b</sup> MASSIMO PERRICCIOLI, Architect and PhD, is Full Professor of Technology of Architecture at the University of Naples 'Federico II', Italy. He is a member of the SITdA Steering Committee and is the coordinator of the Social Housing cluster. He carries out research in the field of technological and social innovation. E-mail: [massimo.perriccioli@unina.it](mailto:massimo.perriccioli@unina.it)

<sup>c</sup> MONICA ROSSI-SCHWARZENBECK, Architect and Full Professor at the HTWK Leipzig, Germany. Her research topics include: environmentally sustainable and energy efficient buildings, energy efficient materials for building skin, BIM, energy retrofit of existing buildings. E-mail: [monica.rossi@htwk-leipzig.de](mailto:monica.rossi@htwk-leipzig.de)



## MACHINE LEARNING E ARCHITETTURE SICURE E INCLUSIVE PER UNA UTENZA FRAGILE

### MACHINE LEARNING AND SAFE AND INCLUSIVE ARCHITECTURE FOR FRAGILE USERS

Antonio Magarò<sup>a</sup>, Adolfo F. L. Baratta<sup>b</sup>

#### ABSTRACT

Il contributo espone i primi risultati di una ricerca condotta nel Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre, volta alla sperimentazione di algoritmi di machine learning per l'apprendimento di reti neurali da BIM finalizzato alla generazione di Realtà Aumentata. L'obiettivo è migliorare la fruizione degli spazi abitativi per l'utenza fragile. Tali algoritmi, in ausilio alla progettazione, costituiscono innovazione di produzione, oltre che di prodotto, intendendo come tale lo spazio architettonico. Dopo aver descritto le linee di ricerca attive, il paper propone un glossario condiviso sulla terminologia mutuata da altri campi di indagine. Infine, si descrivono le applicazioni in Realtà Aumentata sperimentate nella ricerca, e i meccanismi teorici di interazione tra queste e gli algoritmi di Machine Learning.

The contribution presents the first results of a research conducted in the Department of Architecture, Roma Tre University, aimed at testing Machine Learning algorithms for train Neural Networks in learning data from BIM, with the purpose of generating Augmented Reality contents. The objective is to improve the living spaces fruition by fragile users. Machine Learning algorithms, in computer aided design, constitute an innovation in production, as well as an innovation in product, meaning architectural spaces as such. After describing the current research lines, this paper proposes a shared glossary about the terms borrowed from other investigation fields. Finally, it describes the applications in Augmented Reality experimented in the research, and the theoretical mechanisms of interaction between these and the Machine Learning algorithms.

#### KEYWORDS

intelligenza artificiale, machine learning, augmented reality, utenza fragile, architetture per anziani

artificial intelligence, machine learning, augmented reality, fragile users, architecture for an ageing society

Negli ultimi decenni, il concetto di fragilità associato a una categoria di persone ha assunto una crescente rilevanza, non solo in campo biomedico. Tuttavia, nonostante l'ampio spazio dedicato dalla letteratura scientifica, ancora non si è pervenuti a una definizione condivisa e nemmeno a criteri volti a un'identificazione univoca (Hogan, 2003; Bergman, 2007; Karunanathan, 2009). Il concetto di fragilità, come condizione sociosanitaria, viene impiegato per la prima volta negli anni Settanta dal Federal Council on the Aging (FCA), Agenzia Federale Statunitense istituita con lo scopo di programmare interventi di sostegno per una categoria numerosa di poveri e reietti della società ovvero i reduci delle guerre americane nel sud est asiatico (Furlan, 2014). Sebbene la condizione di fragilità venga, generalmente, individuata come età-dipendente, in embrione si tende ad associarla a qualsiasi condizione di disabilità. Infatti, già nel 1974, la FCA definisce il soggetto 'anziano fragile' come quella persona anziana compromessa da disabilità fisica e/o affettiva che vive in un ambiente strutturalmente e socialmente sfavorevole (Ruggiero et alii, 2007). La compresenza di età avanzata e disabilità nella definizione di utenza fragile, si rafforza negli anni Ottanta. Tuttavia, sarà solo negli anni Novanta che si verificherà uno spostamento del punto di vista da 'essere fragili' a 'diventare fragili', eliminando la correlazione tra la fragilità e la presenza di malattie croniche, dipendenza o bisogno di servizi sanitari e/o sociali. Infine, nel nuovo millennio, si rafforza la convinzione che non siano solo i disturbi fisici a determinare la fragilità, ma anche i fattori sociali, ambientali ed economici (De Toni et alii, 2010).

In sintesi, la locuzione 'utenza fragile' intende individuare una categoria di persone affette da una condizione di vulnerabilità, latente o manifesta, associata a un crescente rischio o a una conclamata disabilità permanente o temporanea<sup>1</sup>. Questo consente di non limitare l'estensione alla sola utenza anziana, pur tuttavia nella consapevolezza che è in quella fascia di età che si riscontra il maggior numero di individui classificabili come fragili. Allo stesso tempo, è possibile estendere la definizione oltre il concetto di disabilità cronica, dal momento che ciascuno può, temporaneamente, sperimentare una condizione di disabilità, e quindi di vulnerabilità, che può renderlo fragile. Tale definizione include una platea di soggetti vasta ed

eterogenea (Fig. 1). Infatti, nel 2017, la popolazione over 65 contava 962 milioni di individui, più del doppio del 1980 quando erano 382 milioni. Inoltre, le stime ufficiali prevedono un ulteriore raddoppio entro il 2050, quando saranno 2,1 miliardi (United Nations, 2017). Già nel 2030 è previsto che il numero dei bambini sotto i dieci anni, per la prima volta verrà superato dal numero degli anziani e nel 2050 gli over 65 saranno di più dei giovani in età compresa tra 10 e 24 anni. Tuttavia, non tutti gli ultrasessantacinquenni possono essere considerati utenza fragile. Anche in questo caso, appare difficile operare delle categorie definite, dal momento che la qualità dell'invecchiamento dipende fortemente dalle condizioni al contorno. In generale, la cosiddetta 'old age' parte dai 65 anni, ma per una serie di motivi si possono iniziare a qualificare come utenza fragile le persone che vivono in Paesi sviluppati, una volta superati i 75 anni di età.<sup>2</sup>

Oltre alle persone anziane, l'utenza fragile si compone delle persone affette, temporaneamente o meno, da una o più disabilità. In Italia, gli ultimi dati sulle condizioni delle persone con disabilità tracciano un quadro connotato da scarsa integrazione e programmazione poco consapevole. La World Bank comunica che più di un miliardo di persone, ovvero il 15% della popolazione mondiale (Fig. 2), è affetta da una o più forme di disabilità, il 70% delle quali vive in Paesi in via di sviluppo. Un quinto del totale, corrispondente a una cifra tra 110 e 190 milioni di persone, è affetta da disabilità gravi. Le stime di crescita sono impietose: entro il 2035 la popolazione mondiale aumenterà del 40% mentre la popolazione affetta da almeno una disabilità grave o moderata aumenterà del 50% (WHO, 2011; World Bank, 2018). In Italia, circa 13 milioni di persone con più di 15 anni (il 25,5% della popolazione residente di pari età) risultano avere delle limitazioni funzionali, invalidità o cronicità gravi. Tra queste, il 23,4% ricade nella categoria delle persone affette da limitazioni gravi in almeno una tra le funzioni motorie, sensoriali o nelle attività quotidiane. Tali numeri si aggravano se si aumenta l'età del campione, infatti il 61,1% è ultrasessantacinquenne (ISTAT, 2015).

Se ci si attiene alla definizione strettamente medico-amministrativa per la quale la condizione di disabilità riguarda persone che «hanno una menomazione fisica o sensoriale per la quale hanno ricevuto una certificazione di invalidità» tale nu-

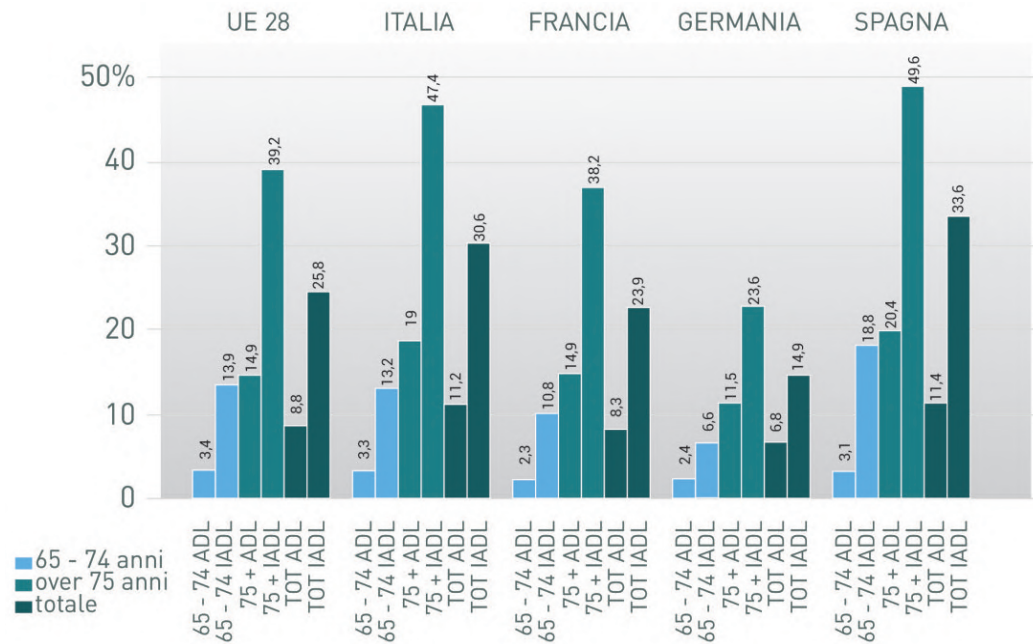


Fig. 1 - Elderly affected by serious difficulties in non-instrumental domestic activities (ADL Activity of Daily Living) and Instrumental domestic activities (IADL Instrumental Activity of Daily Living) in 2015 (authors' elaboration from ISTAT 2017 data).

mero è comunque elevato: si tratta di 4,36 milioni di persone ovvero il 7,2% della popolazione, 2,15 milioni in condizioni di particolare gravità e 1 persona su 5 è ultrasessantacinquenne (Università Cattolica, 2017). Tali numeri descrivono una dimensione sociale che rende imprescindibile, anche per gli architetti, lavorare sull'inclusione, per assicurare i diritti fondamentali di assistenza a un'utenza fragile all'interno degli spazi domestici, urbani e speciali: lo scopo è quello di consentire all'utenza fragile il cosiddetto Active and Assisted Living (AAL Programme, 2018). Oltre ad alcuni programmi di ricerca europei<sup>3</sup>, con tale locuzione si individua quel filone di ricerca che si occupa di migliorare l'efficienza e la produttività dell'utenza fragile (con particolare riferimento agli anziani), ampliando il lasso temporale in cui i soggetti interessati possano vivere nel loro ambiente abituale, rimandando il più possibile l'ospedalizzazione. Gli strumenti per attuare tale ambizioso progetto sono quelli delle nuove tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni, compresa l'intelligenza artificiale (AI) e la realtà virtuale (VR), aumentata (AR) e mista (MR)<sup>4</sup> (Fig. 3).

Il trasferimento tecnologico dal settore delle ICT (Information and Communication Technology) all'interno dell'ambiente di vita abituale, domestico o pubblico, è immediato. La diffusione crescente di elettronica di consumo, insieme alla capacità di interconnessione consente di mettere in rete gli spazi d'architettura, fornendo una possibilità di interazione con essi, ma anche con l'ambiente esterno e con gli spazi specialistici dedicati all'assistenza. Inoltre, la possibilità di integrare gli ambienti reali con quelli virtuali, mediante tecnologie quali AR, VR e MR, consente di incrementare le informazioni reali mediante la fruizione di contenuti aggiuntivi, che possono consentire alle persone anziane di operare all'interno del proprio ambiente in totale sicurezza, abbattendo le barriere che determinano isolamento sociale, monitorando costantemente la loro salute, riducendo le

ospedalizzazioni, migliorando l'assistenza medica e da parte dei 'caregiver' e, infine, riducendo fortemente i costi sociali legati a disabilità e invecchiamento (Formica and Magarò, 2018).

Molti tra i principali filoni di ricerca che si occupano di questo tipo di trasferimento tecnologico verso la progettazione architettonica, prevedono un approccio top-down, secondo il quale viene progettata una applicazione legata a una o più specificità e pertanto mirata alla risoluzione del particolare problema nel particolare luogo (Cabrera-Umpierrez et alii, 2006; Pittarello and De Favari, 2006; Alankus et alii, 2010). Tale modello operativo è certamente efficace, poiché consente di alleviare, in maniera addirittura personalizzabile, la disabilità o la fragilità che in quel momento l'utente si trova ad affrontare, all'interno dell'ambiente in cui abitualmente vive e opera. Tuttavia, al di fuori dei confini di tale ambiente o sistema egli si trova completamente privo della facilitazione a cui, probabilmente, si era abituato. Questo acuisce la fragilità e trasforma un ausilio in un ulteriore limite, facendogli perdere di efficacia.

Uno dei caratteri innovativi della ricerca presentata in questo contributo, riguarda l'impiego di un approccio bottom-up, per il quale, la generica applicazione ICT di supporto all'utenza fragile sia in grado di operare interpretando e riconoscendo (non prescindendo) lo spazio in cui l'utente si trova. Operare in questo modo implica il riuscire a sfruttare i più recenti strumenti software per la progettazione architettonica che contengono al loro interno database di informazioni, quali il BIM<sup>5</sup> (Building Information Modeling) e il GIS<sup>6</sup> (Geographic Information System). Quello che accomuna entrambi i sistemi è la presenza di un database contenente una serie di informazioni che possono essere interpretate, da parte di una AI, per produrre e somministrare il contenuto in AR in funzione del luogo in cui ci si trova o dello spazio d'architettura di cui si sta fruendo. Mentre i software GIS sono diffusi nella progettazione

urbana, il BIM deve la sua recente applicazione soprattutto al Codice degli Appalti per il quale, oltre determinate soglie di importo lavori, è obbligatorio il suo impiego.

*Intelligenza artificiale, machine e deep learning, reti neurali* – Dal punto di vista storico, si parla di AI già dai tempi di Cartesio, il quale, nel 1637, si interrogava (proponendo una posizione scettica) sulla possibilità di costruire macchine in grado di interagire con e come gli esseri umani, soprattutto dal punto di vista delle forme del linguaggio (Cubbedu, 1996). Tale retrodatazione, rispetto alla timeline ufficiale che riguarda la AI, consente di comprendere come essa non sia solo una branca dell'informatica, ma abbracci la matematica, la statistica, la logica, la robotica, la linguistica, la psicologia e le neuroscienze, oltre all'etica, alla filosofia e l'architettura. Si fa risalire la nascita della AI moderna alla metà degli anni Cinquanta (Fig. 4) quando, a seguito dell'intensificarsi degli studi sul funzionamento del cervello umano, si teorizza e sperimenta la realizzazione di quelle che oggi vengono chiamate Reti Neurali (Neural Networks, NN). La prima pubblicazione sull'argomento risale probabilmente al 1943 (McCulloch and Pitts, 1943), mentre il primo computer che simula una NN è del 1950<sup>7</sup>. Invece, il termine AI viene coniato nel 1956 da John McCarthy, ricercatore del Dartmouth College di Hannover, durante una Conferenza sul tema. In quell'occasione la AI ottiene lo status di disciplina scientifica e altri ricercatori presentano il primo software in grado di imitare le capacità umane di problem solving<sup>8</sup>. Negli stessi anni si iniziano a progettare linguaggi di programmazione come il LISP, attualmente utilizzato anche per la programmazione lato utente di AutoCAD, e, nel 1958 Rosenblatt realizza una NN<sup>9</sup> molto simile a quelle contemporanee poiché, basandosi su metodi probabilistici, era in grado di 'apprendere'.

Negli anni Settanta, la AI cade in declino. Il fallimento di alcune applicazioni commissionate dalle autorità militari Statunitensi in grado di tradurre i testi dal russo all'inglese, fece perdere di credibilità a tutti i progetti in essere. Si iniziarono, inoltre, a sollevare una serie di questioni morali. Alla fine degli anni Ottanta è il mondo della produzione industriale a riscoprire la AI e grazie a una sperimentazione estensiva, la miniaturizzazione dei processori e l'impiego generalizzato di database, la AI viene riabilitata e oggi è comunemente impiegata anche per applicazioni che funzionano su elettronica di consumo come smartphone e tablet. Appare di fondamentale importanza stabilire un glossario condiviso, mediante il quale decretare quali siano i processi di AI utili per la ricerca in oggetto. Per comprendere il carattere generalista proprio della AI una delle definizioni più utilizzate stabilisce che «la AI è quella branca dell'informatica che si occupa della simulazione automatica di comportamenti intelligenti» (Luger, 2005, p. 1).

La definizione, ancorché corretta, appare poco specifica, soprattutto se si pensa che la stessa intelligenza è qualcosa di complesso da definire. Senza la pretesa di essere esaustivi, ai fini della presente trattazione la AI viene definita come la facoltà di un sistema informatico, complesso quanto necessario<sup>10</sup>, di eseguire operazioni caratteristiche dell'intelligenza umana (Fig. 5) qua-

li la pianificazione, il riconoscimento di oggetti e la risoluzione di problemi (Ciulla et alii, 2019).

Dal momento che tali operazioni vengono eseguite dalla AI, non mediante una specifica programmazione, ma consentendo alla stessa di apprendere da una casistica quanto più vasta possibile, si tende a confondere la AI con il ML. Quest'ultimo (in italiano 'apprendimento automatico') si definisce proprio come «il campo di studi che fornisce al computer la capacità di apprendere senza essere programmato» (Samuel, 1959, p. 601). Resta da definire cosa sia 'la capacità di apprendere' da parte di un computer. Nel 1997, Mitchel (Carnegie Mellon University, Pittsburgh) propone la seguente definizione: «si può dire che un computer impara dall'esperienza E rispetto ad alcuni dati T e a strumenti che misurino la prestazione P, se la sua prestazione misurata da P sui dati T migliora con l'esperienza E» (Mitchel, 1997, p. 2). Il gioco di parole vuol sottintendere un concetto che sta alla base del ML ovvero il cosiddetto 'allenamento': prima di verificare se il computer è in grado di apprendere è necessario somministrargli una quantità di dati dai quali possa desumere delle informazioni e misurare quanto esso ci riesca. Solo successivamente si può misurare la sua capacità predittiva quando il computer si confronta con l'esperienza del dato reale (Fig. 6). Il ML a sua volta si può distinguere in sottocategorie in funzione dell'interazione con il programmatore. Le classi sono le seguenti:

- Supervised Learning: durante l'allenamento si somministrano al computer una serie di dati di input e di output e si lascia a esso la capacità di trovare una funzione che consenta di passare dagli uni agli altri; tale funzione può essere utilizzata per ottenere l'output da dati di input reali;

- Unsupervised Learning: si somministrano al computer i soli dati di input, senza indicazioni sui risultati da ottenere; lo scopo è quello di valutare se esistano nei modelli di relazione nascosti; vi sono modelli ibridi detti Semi-Supervised Learning in cui il set di dati di input prevede che alcuni siano correlati del relativo output e altri no; l'obiettivo è il medesimo, ovvero scoprire strutture logiche nascoste tra l'input e l'output;

- Reinforced Learning: in questo caso, i dati di input non sono un set statico, ma vengono desunti da una situazione dinamica (il classico esempio è quello di una partita a scacchi); inoltre, affinché il computer comprenda che si trova sulla strada giusta il sistema si basa su ricompense e sanzioni (come si farebbe per un animale domestico); il computer si propone l'obiettivo di collezionare il massimo numero di ricompense possibili.

In tutti questi casi, il computer apprende come risolvere problemi complessi, a partire da informazioni semplici. Esso deve essere in grado quindi di fissare una gerarchia di concetti in base alle relazioni che li collegano a concetti più semplici. Se mettessimo in un grafico tali relazioni gerarchiche, avremmo un grafico 'profondo' ovvero con molti livelli, in funzione della complessità dei concetti che stanno in alto. È per questo motivo che, l'approccio all'AI che consente di risolvere problemi complessi è un sottoinsieme del ML e prende il nome di Deep Learning (DL) (Goodfellow et alii, 2016).

Scopo, articolazione, strumenti e metodi della ricerca – La ricerca vede coinvolti Professori, Ri-

cercatori e Dottorandi del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre. L'obiettivo principale che la ricerca si propone è quello di realizzare una piattaforma informatica, basata su NN, in grado di interpretare, a seguito di un adeguato allenamento, modelli BIM o GIS, con lo scopo di rilevare potenziali ostacoli e barriere architettoniche e proporre alternative finalizzate a evitarle, di cui l'utente fragile può fruire mediante i più comuni personal devices mediante la tecnologia della AR.

Per i motivi esposti precedentemente, relativi all'intersettorialità tipica dell'AI, la ricerca è connotata da forte interdisciplinarietà. Molti sono i settori disciplinari interessati dalla ricerca, sia sul versante delle scienze umane e sociali sia su quello delle scienze dure. Nella prima fase della ricerca è stata definita la profilazione degli utenti, all'interno del quadro esposto nella parte introduttiva del presente contributo. L'utenza fragile viene riarticolata in rapporto alla residenzialità, all'accessibilità, ai servizi sociali e di cura, al rapporto con i caregivers (familiari e non), all'autosufficienza, al grado di disabilità, all'isolamento fisico e/o relazionale. Tale profilazione è di fondamentale importanza per stilare un quadro esigenziale valido, in grado di guidare la ricerca al raggiungimento degli obiettivi. In questa fase è stato definito un quadro rappresentativo dello stato dell'arte delle ricerche nel settore del ML volto all'apprendimento a partire da dati BIM o GIS. Parallelamente è stata indagata la produzione di contenuti in AR da parte di AI con particolare riferimento a contenuti legati al wayfinding.

Ai fini del raggiungimento degli obiettivi è

stato necessario separare i due ambiti, dal momento che risulta che i riscontri in letteratura sono insufficienti a individuare un vero e proprio filone di ricerca, a dimostrazione del carattere fortemente innovativo dell'argomento trattato. Inoltre, tale separazione ha consentito di valutare anche l'approccio top-down precedentemente citato, in modo da definire con chiarezza quali siano i risultati che ci si aspetta dall'implementazione della NN. A seguito della profilazione e della definizione dei prototipi di risultato che si intende ottenere, è stato creato un focus group che rappresentasse significativamente l'utenza fragile come identificata. Questo allo scopo di somministrare loro le applicazioni progettate e valutarne le potenzialità e le criticità in fase di beta-testing. Infine, nella fase di indagine sono stati studiati i meccanismi più performanti per l'allenamento della NN e è stata definita la sua complessità in funzione del risultato che si intende raggiungere.

Nella fase successiva si procederà alla creazione della NN e alla creazione del dataset, estrapolabile da database BIM e/o GIS in grado di provvedere all'allenamento della stessa. Realizzare un dataset essenziale, ma, al contempo, sufficiente a minimizzare l'errore nell'output senza impiegare una potenza di calcolo esagerata, costituisce di per sé risultato di fondamentale importanza per la ricerca attuale e per quelle a essa correlate. Nella stessa fase sarà necessario stabilire i meccanismi di interazione con eventuali sensori e/o attuatori, soprattutto nel caso di applicazioni il cui funzionamento si verifica in-door con un evidente portato innovativo. Infatti, se si intende l'abitazione per l'utenza fragile come il prodotto del

Sex/Age group	World	High-income Countries	Low-income and middle-income Countries, WHO region					
			African	Americas	South-East Asia	European	Eastern Mediterranean	Western Pacific
<b>Males</b>								
0-14y	0,7 5,2	0,4 2,9	1,2 6,4	0,7 4,6	0,7 5,3	0,9 4,4	0,9 5,3	0,5 5,4
15-59y	2,6 14,2	2,2 12,3	3,3 16,4	2,6 14,3	2,7 14,8	2,8 14,9	2,9 13,7	2,4 14,0
+60y	9,8 45,9	7,9 36,1	15,7 52,1	9,2 45,1	11,9 57,5	7,3 41,9	11,8 53,1	9,8 46,4
<b>Females</b>								
0-14y	0,7 5,0	0,4 2,8	1,2 6,5	0,6 4,3	0,7 5,2	0,8 4,0	0,8 5,2	0,5 5,2
15-59y	2,8 15,7	2,5 12,6	3,3 21,6	2,6 14,9	3,1 18,0	2,7 13,7	3,0 17,3	2,4 13,3
+60y	10,5 46,3	9,0 37,4	17,9 54,3	9,2 43,6	13,2 60,1	7,2 41,1	13,0 54,4	10,3 47,0
<b>All people</b>								
0-14y	0,7 5,1	0,4 2,8	1,2 6,4	0,6 4,5	0,7 5,2	0,8 4,2	0,9 5,2	0,5 5,3
15-59y	2,7 14,9	2,3 12,4	3,3 19,1	2,6 14,6	2,9 16,3	2,7 14,3	3,0 15,5	2,4 13,7
+60y	10,2 46,1	8,5 36,8	16,9 53,3	9,2 44,3	12,6 58,8	7,2 41,4	12,4 53,7	10,0 46,7
+75y	3,8 19,4	3,8 18,3	4,5 22,0	3,4 18,3	4,0 21,1	3,6 19,5	3,9 19,1	3,4 18,1
All ages	2,9 15,3	3,2 15,4	3,1 15,3	2,6 14,1	2,9 16,0	3,0 16,4	2,8 14,0	2,7 15,0

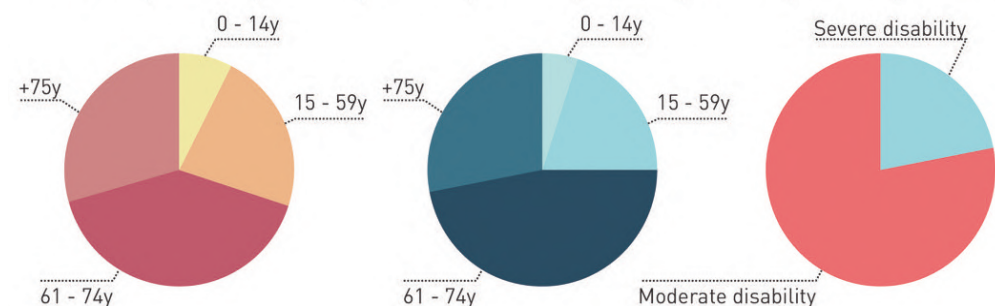


Fig. 2 - For each column of the table the percentages of individuals with severe disabilities (right) and with any form of moderate or severe disability (left) are indicated. Pie charts show disability, in one of the forms indicated, being mostly present in the elderly age (authors' elaboration from WHO 2011 data).



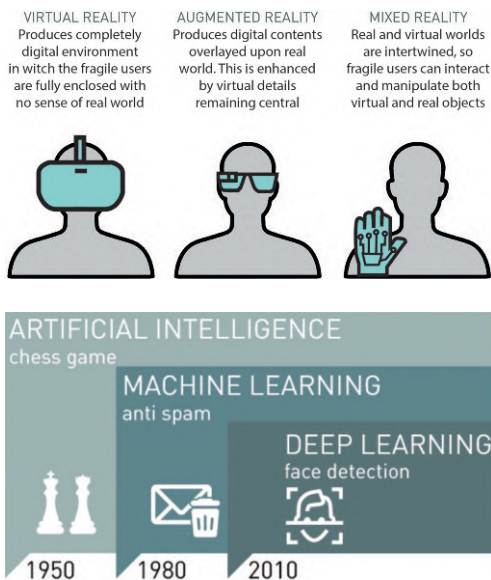


Fig. 3 - Differences between VR, AR and MR.

Fig. 4 - Within the Graph, the relationship between the AI, the ML and the DL is identified, where the next is a subset of the previous one. It can be possible to move from one to the other according to a precise chronological sequence. The main applications related to each of them are also identified: learning during a chess game, antispam filters for electronic mail and facial recognition.

processo progettuale e costruttivo, alla luce di un quadro esigenziale nuovo è fondamentale il cambio di paradigma già dalla fase progettuale. Questo prevede un approccio alla progettazione non di un modulo abitativo misurato per le unità che lo occupano, ma di un vero e proprio ecosistema domestico (Fig. 7) in grado di relazionarsi con gli occupanti monitorando le loro esigenze in maniera costante e, al contempo, interagire con altri ecosistemi e con l'ambiente esterno (Formica and Magarò, 2018).

Risultato ulteriore di questa fase è l'estensione di linee-guida alla progettazione articolate per parti, dalla progettazione della NN e dal suo allenamento, fino alla progettazione dell'ecosistema domestico e delle applicazioni in realtà aumentata. Nell'ultima fase si opererà la verifica dei risultati ottenuti attraverso una sperimentazione delle applicazioni ottenute da parte del focus group. Le applicazioni specifiche per l'out-door verranno testate in maniera diretta, mentre per le applicazioni per l'in-door, che necessitano di relazionarsi con un ambiente confinato appositamente progettato o rimodulato, verrà utilizzato un ambiente messo a disposizione da un Ente pubblico.

Per quanto riguarda gli strumenti necessari alla ricerca, sono di fondamentale importanza le dotazioni software e hardware adeguate alla realizzazione della rete neurale. Sono, altresì, fondamentali analoghe dotazioni atte alla creazione di una piattaforma di sharing di contenuti in realtà aumentata, in grado di collezionare dati e generare elementi grafici, oltre che di riferirsi a delle coordinate geografiche mediante lo sfruttamento delle reti GPS. Infine, sempre per quanto riguarda le strumentazioni informatiche, nel caso dello sviluppo di applicazioni in-door, è di fondamentale importanza disporre dell'ambiente di test della sensoristica e degli attuatori, oltre che della rete informatica interna ed esterna all'ambiente.

*Esempi di applicazioni sperimentali in AR con approccio top-down* – La realtà aumentata è una tecnologia di restituzione di informazioni digitalizzate caratterizzata dalla sovrapposizione, ad ambienti reali, di contenuti virtuali, multimediali, dati geolocalizzati, etc. Tali contenuti aumentati possono essere fruiti mediante l'impiego di interfacce fisiche, la cui tecnologia hardware spazia dai sistemi più invasivi (caschi o visori, definiti come see-through displays) ai meno invasivi, utilizzati in questa ricerca, quali smartphones e tablets (Akçayır and Akçayır, 2017). All'interno di qualsiasi applicazione in realtà aumentata si individuano le seguenti fasi (Fig. 8):

- Riconoscimento: per sovrapporre contenuti virtuali all'ambiente reale quest'ultimo deve essere riconosciuto senza ambiguità, mediante l'ausilio di immagini o oggetti specifici; in alcune applicazioni è necessario associare all'oggetto un marker, ovvero un codice che lo renda univocamente distinguibile; altro modo per operare il riconoscimento è lo sfruttamento delle coordinate GPS;
- Tracciamento: è la fase in cui avviene la codifica dell'ambiente reale grazie allo sfruttamento dei sensori presenti nel dispositivo, quali accelerometro, giroscopio, GPS, bussola, etc.;
- Sovrapposizione e allineamento: il dispositivo ricostruisce virtualmente la scena integrando i contenuti virtuali all'ambiente reale, allineando i primi al secondo e rendendoli solidali in modo che, cambiando il punto di vista, la scena cambi conseguentemente.

Come scritto, in una prima fase la ricerca ha avuto un approccio top-down, mirato alla realizzazione di applicazioni in realtà aumentata volte alla risoluzione della problematica specifica per una specifica classe di utenti fragili. In particolare, le applicazioni realizzate sono state due:

- RAdART: applicazione finalizzata all'individuazione di barriere architettoniche in un ambiente costruito, mediante la Realtà Aumentata (RA) e sviluppata all'interno del Dipartimento di Architettura di Roma Tre; l'applicazione è in grado di riconoscere la pianta di un edificio quando la si inquadra con uno smartphone ed è in grado di collegare a essa la visualizzazione in RA di un modello tridimensionale dell'edificio; il contenuto virtuale non è il semplice modello, ma è possibile visualizzare un'animazione in cui si suggerisce un percorso privo di barriere architettoniche, per persone con difficoltà motorie, dal punto di osservazione (waypoint) fino a un altro punto o fino all'uscita (Fig. 9);

- LISMuzic: è in grado di sovrapporre a una semplice immagine, una fotografia o un fotogramma, un video completo di audio. Al momento è stata sviluppata con lo scopo di visualizzare video musicali reinterpretati nel linguaggio italiano dei segni (LIS), ma lo scopo è quello di trasformare un dispositivo monomediale come una foto o un disegno, in un dispositivo multimediale, ovvero in grado di riprodurre video e suoni; l'obiettivo è quello di testare l'applicazione all'interno di spazi museali per la creazione di video guide in LIS a costo praticamente nullo, poiché fruibili da dispositivo personale.

Entrambe le applicazioni sono state sviluppate in ambiente Android, solo per la fase di test, ma sono distribuibili su qualsiasi piattaforma. Tutte sfruttano il motore grafico di libero utilizzo Unity in abbinata con la piattaforma di distribu-

zione di contenuti in realtà aumentata Vuforia.<sup>11</sup>

*Conclusioni* – Nonostante la ricerca sia ancora lontana dalla conclusione, sono stati raggiunti già alcuni risultati. Mediante l'approccio top-down appena descritto, è stato possibile definire quale sia il risultato che ci si attende a seguito dell'allenamento della NN. In questo modo sarà possibile stabilire quali siano i dati di input che devono essere processati, individuarli all'interno dei database BIM e GIS e costruire il dataset migliore possibile. In funzione di quest'ultimo potrà essere progettata la NN. La ricerca, inoltre, ha concluso la fase di analisi, dal momento che il gruppo di ricerca ha già portato a termine la definizione di uno stato dell'arte per la caratterizzazione del target della ricerca e si è già occupato della prima disseminazione dei risultati mediante un Convegno Internazionale, con pubblicazione di atti, sul tema delle abitazioni e degli spazi d'architettura per l'utenza fragile che si è tenuto a Roma il 26 ottobre 2018.

Già da queste fasi preliminari è emersa una serie di limiti che la ricerca si propone di affrontare. Il principale appare proprio quello della corretta definizione del dataset. Allo scopo, si prevede uno studio approfondito dei meccanismi di definizione e gestione dei database dei software BIM e GIS più comuni, prediligendo eventuali sistemi open source<sup>12</sup>. Il conseguimento di un risultato in tal senso costituirebbe un punto di svolta nell'ambito di una ricerca complessa ma certamente ricca di enormi potenzialità per il miglioramento delle persone fragili.

#### ENGLISH

*During last decades, the concept of fragility (associated with a category of people) has increased its importance, not only in biomedical field. However, despite the wide space in the scientific literature, fragility has not yet found a shared definition or, even, criteria aimed at identifying it uniquely (Hogan, 2003; Bergman, 2007; Karunanathan, 2009). The term 'fragility', as a social and health condition, was used for the first time in the 1970s by the Federal Council on the Aging (FCA), a US Federal Agency set up with the aim of planning support interventions for a large category of new poor and outcasted by society, such as the veterans of American wars in Southeast Asia (Furlan, 2004). Although, the condition of fragility is generally identified as age-dependent, common sense tends to associate it with any condition of disability. In fact, already in 1974, the FCA defines the 'fragile elderly' as the elderly person compromised by physical and/or affective disability who lives in a structurally and socially unfavourable environment (Ruggiero et alii, 2007). The coexistence of both advanced age and disability inside the definition of fragile users, strengthened in the 1980s. However, only in the nineties the concept of fragility evolves from 'being fragile' to 'becoming fragile', deleting the correlation between fragility and the presence of chronic diseases, addiction or the need for health and/or social services. Finally, the new millennium, recognized the idea of fragility not only as determined by physical disorders, but also by social, environmental and economic factors (De Toni et alii, 2010).*

*In summary, the term 'fragile users' identifies a category of people suffering from condition of latent or manifest vulnerability, associated with a*

growing risk of a full-blown permanent or temporary disability<sup>1</sup>. In this way, the definition is not limited only to elderly users, in the awareness that into the ageing society there is the greatest number of individuals classified as fragile. At the same time, it is possible to extend the definition beyond the concept of chronic disability, since everyone can experience a temporary condition of disability, and therefore of vulnerability, which can make a person fragile. This definition includes a wide and heterogeneous audience (Fig. 1). In fact, in 2017, the population over 65 had 962 million individuals, more than double of 1980, when they were 382 million. Moreover, official trend data predict a further doubling by 2050, when they will be 2.1 billion (United Nations, 2017). Already in 2030, for the first time, it is expected that the number of children under 10 will be exceeded by the number of elderly and in 2050 the over 65 will be more than young people aged between 10 and 24 years. However, not all the over 65 can be considered fragile users. In this case too, it appears difficult to work with defined categories, because the quality of ageing depends strongly on the boundary conditions. In general, the so-called 'old age' starts at 65, but for a lot of reasons, developed countries inhabitants can be qualified as fragile users over 75.<sup>2</sup>

In addition, the category of fragile users is made up of people suffering from one or more disabilities, temporarily or permanently. In Italy, the latest data about the condition of people with disabilities provide an overview of low integration and poorly aware planning. The world Bank reports that more than one billion people, or 15% of the world population (Fig. 2), is affected by one or more forms of disability, 70% of which live in developing countries. One fifth of the total means that a number between 110 and 190 million people are suffering from serious disabilities. Moreover, growth forecasts are adverse: by 2035 the world population will increase by 40% while the population affected by one severe or moderate disability will increase by 50% (WHO, 2011; World Bank, 2018). In Italy, about 13 million people over 15 (25.5% of the resident population with the same age) suffer from functional limitation, disability or chronic diseases. Among these, 23,4% fall into the category of people with severe limitations in at least one of the motor or sensor functions, or in daily activities. Increasing the age of the sample, the statistic worsens, in fact 61.1% of people with severe limitation are over 65 (ISTAT, 2015).

Keeping strictly to the medical-administrative definition for which the disability condition concerns people who «have a physical or sensorial impairment for which they have received a disability certification» this number is still high: it concerns 4.36 million people, or 7.2% of the population; of these, 2.15 million are in particularly serious conditions and one out of five is over 75 (Catholic University, 2017). These numbers describe a social dimension in which is essential, especially for the architects, to work on inclusion, to ensure the fundamental rights of assistance to fragile users within domestic, urban and specialistic spaces: in brief to allow the so-called Active and Assisted Living system (AAL Programme, 2018). In addition to some European Programmes<sup>3</sup>, this term identifies a particular scientific research line that deals with improving the efficiency and pro-

ductivity of fragile users (with particular reference to the elderly), expanding the time in which the interested parties can live in their usual environment: in this way is possible to postpone hospitalization as long as possible. The tools to implement this ambitious project are those of Information Communication Technologies (ICT), including Artificial Intelligence (AI), Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) and Mixed Reality (MR)<sup>4</sup> (Fig. 3).

The technological transfer from ICT sector to the usual domestic or public environment design is immediate. The growing diffusion of consumer electronics, together with the increase of interconnection capacity, allows architectural spaces to be networked, providing a possibility of interaction with them, but also with the external environment and with the specialistic buildings assistance-dedicated. Moreover, the possibility of integrating real environments with virtual ones, using technology such as VR, AR and MR, allows to increase the real information through the use of additional contents: these can allow fragile users to live and work within their environment in safeness, breaking down barriers that determine social exclusion, monitoring constantly their health, reducing hospitalization, improving medical and caregivers attention and, finally, reducing social costs related to disability and ageing (Formica and Magarò, 2018).

Many of the main research lines that deal with this technology transfer to architectural design, envisage a top-down approach, according to which an application is designed as a function of one or more specificities: therefore it aimed at solving one particular problem in a particular environment (Cabrera-Umpierrez at alii, 2006; Pittarello and De Faveri, 2006; Alankus et alii, 2010). This operating model is certainly effective, because in a high customizable way, it allows alleviating disability or fragility that a particular group of users is faced with in a particular moment, within the particular environment in which he usually lives and works. However, outside the boundaries of this environment, the fragile user finds himself completely devoid of support, when he was probably accustomed to it. This fact heightens fragility and turns a potential aid into a further limit, making it lose its effectiveness.

One of the innovative features of this research concerns the use of a bottom-up approach: the generic ICT application that supports fragile users can operate by interpreting and recognizing (not disregarding) environment where the user lives. In this way, it is possible to exploit the latest software tool for architectural design that contain information databases, such as BIM<sup>5</sup> (Building Information Modelling) and GIS<sup>6</sup> (Geographic Information System). Both systems have in common the presence of a database containing a series of information that can be interpreted by an AI to produce and manage some AR contents, according to the environment where the fragile users are in. While the GIS software are widespread in urban planning, the BIM owes its recent diffusion to the Italian Procurement Code for which its use is mandatory beyond some defined economic thresholds.

Artificial Intelligence, Machine and Deep Learning, Neural Networks – From the historical point of view, AI mention has been made from the time of Descartes: in 1637, with a sceptical position,

he wondered about the possibility of building machines capable of interacting with and like human beings, with a particular reference to the language forms (Cubeddu, 1996). Compared to the official timeline, this backdating demonstrates how AI is not only a branch of computer science, but embraces mathematics, statistics, logic, robotics, linguistics, psychology and neuroscience, as well as ethics, philosophy and architecture. The birth of modern AI dates to the mid-1950s (Fig. 4) when, with the intensification of studies about human brain, the building of something like today we call Neural Networks (NN) has been theorized and tested. The first publication about this topic dates to 1943 (McCulloch and Pitts, 1943), while the first computer that simulated an NN dates 1950<sup>7</sup>. Instead, the term AI was coined in 1956 by John McCarthy, a researcher at Dartmouth College in Hanover, during a conference about this topic. On that occasion, the AI obtained the status of scientific discipline and other researchers presented the first software capable of imitating human problem solving abilities<sup>8</sup>. In the same years, programming language such as LISP, currently used also for AutoCAD user-side programming, began to be designed, and in 1958 Rosenblatt created a NN<sup>9</sup> very similar to the contemporary ones, because it was able to 'learn' using a probabilistic method.

In the 1970s, AI fell into decline. The failure of some applications commissioned by US military authorities (able to translate texts from Russian into English) made lose credibility to all existing projects. Moreover, a series of ethical questions began to be raised. At the end of 1980s, the world of industrial production rediscovered AI,

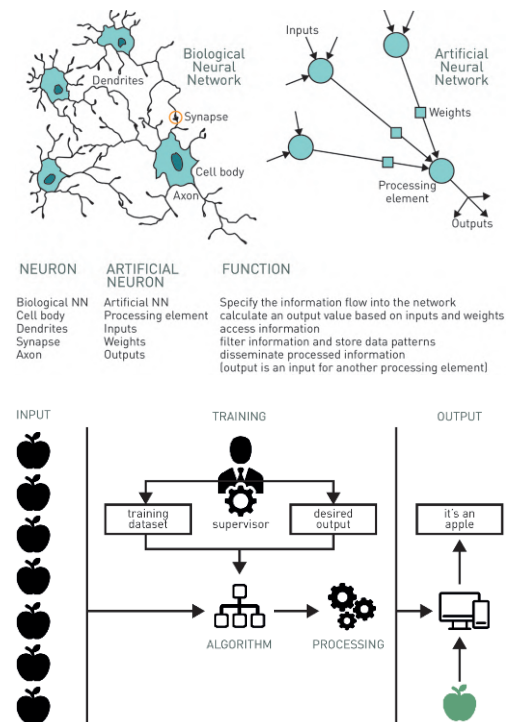
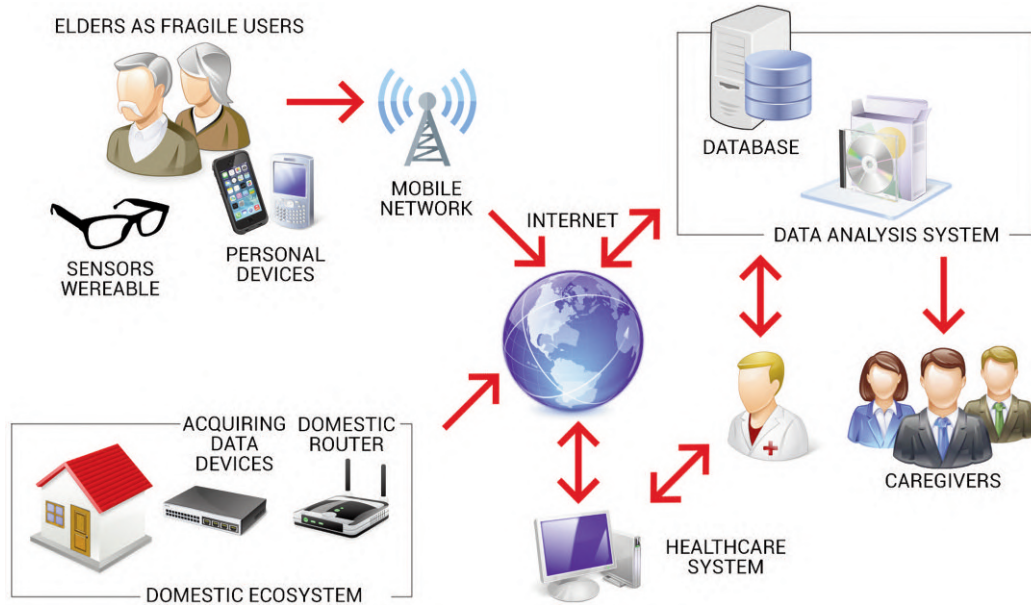


Fig. 5 - Parallel between a biological NN and an artificial NN.

Fig. 6 - General working scheme of Supervised Learning. A series of inputs is given to the NN to learn how to return a desired output based on a dataset. The algorithm that comes out is used to analyse a real input: it is recognized (output).



and with an extensive experimentation (thanks to the processor miniaturization and database generalized use) AI was rehabilitated: now is commonly used also for applications that work on consumer electronics such as smartphones and tablets. Establish a shared glossary by which decree the AI processes it is useful for fully understand this contribution. To understand the generic character of AI, one of the most used definitions states that «AI is the branch of computer science that is concerned with the automation of intelligent behaviour» (Luger, 2005, p. 1). Despite being correct, this definition appears to have little specificity, especially if it considers that the same human intelligence is complex to define. Without being exhaustive, for the purpose of this discussion, the AI is defined as the ability of a computer system, complex as necessary<sup>10</sup>, to execute operations like the human intelligence one (Fig. 5) such as planning, object recognition and problem solving (Ciulla et alii, 2019).

Because of these operations are performed by the AI, not through a specific programming but learning from a data series (dataset) as large as possible, it confuses AI with ML. The latter is defined as something that «gives computers the ability to learn without being explicitly programmed» (Samuel, 1959, p. 601). It remains to define what is 'the ability to learn' by a computer. In 1997, Mitchel (Carnegie Mellon University, Pittsburgh) proposed the following definition: «A computer program is said to learn from experience 'E', with respect to some class of tasks 'T' and performance measure 'P' if its performance at tasks in 'T' as measured by 'P' improves with experience 'E'» (Mitchel, 1997, p. 2). This word pun implies the base-concept of ML or the so-called 'training': before verifying if the computer can learn, it is necessary to give it a quantity of data from which it can derive information and it is possible to measure how much it succeeds. Only later, the computer predictive ability can be measured when it is compared with the experience of the real data (Fig. 6). The ML can be distinguished in sub-categories, according to the interaction with the programmer. The categories are as follows:

- Supervised Learning: during training, a series of

input and output data are given to the computer and it must find a function that allows it to pass from one to other; this function can be used to obtain the output from real input data;

- Unsupervised Learning: only the input data are given to the computer, without information on the results to be obtained; the aim is to evaluate if hidden relationship models exist. There are also hybrid models called Semi-Supervised Learning in which some input data are accompanied by the relative output and others not: the objective is the same: to discover logical structures hidden between the input and the output.

- Reinforced Learning: in this case, the input data are not a static dataset, but are derived from a dynamic situation (the classic example is the chess game); furthermore, in order for the computer to learn, the system is based on rewards and penalties (like the humans do with their pets): the computer aims to collect the maximum possible number of rewards.

In all these cases, the computer learns how to solve complex problems, starting from simple information. Therefore, it must be able to establish a hierarchy of concepts based on relationships in a graph, we would have a 'deep' graph with many levels, depending on the complexity of the concepts at the top. For this reason, the AI approach that allows solving complex problems is a subset of the ML and is called Deep Learning (DL) (Goodfellow et alii, 2016).

Purpose, structure, tools and methods of the research – This research involves Professors, Researchers and PhD students of the Department of Architecture of Roma Tre University. The main objective is to create an IT framework, based on NN, able to interpret, after an adequate training, BIM or GIS models, with the aim of detecting potential obstacles and architectural barriers; moreover, the system proposes alternatives to avoid them: the fragile users can view them through the most common personal devices displaying AR contents.

Relating to the AI intersectionality, the research is characterized by a strong interdisciplinary approach. There are many disciplinary

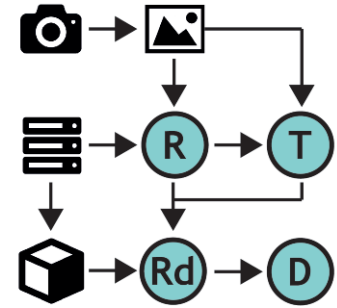


Fig. 7 - A domestic ecosystem interconnected with the environment (credit: Formica and Magarò, 2018).

Fig. 8 - Flowchart of an AR application: the real scene is acquired by the camera of a personal device. The scene is recognized (R) and the tracking is performed (T) by remote information deposited on a server. The virtual object to be superimposed on the real scene (exemplified in the diagram by a cube) is deposited on the same server and therefore real and virtual are overlapped and aligned (Rd) and then displayed (D).

sectors involved in the research, both on the human and social sciences and the hard sciences. In the first phase of the research, user profiling was defined within the state of the art explained in the introduction of this contribution. The category of fragile users is re-articulated in relation to their residency, accessibility, social services and care, the relationship with caregivers (family and non), self-sufficiency, degree of disability, physical and/or relational inclusion. This profiling is important to draw up a valid requirement picture, able to guide the research to the achievement of the objectives. In this phase, a picture representing the research state of art, in the ML sector aimed at learning from BIM or GIS data, was defined. At the same time the production of AR contents by AI was investigated with reference to content related to wayfinding.

To achieve the given objectives, it was necessary to separate the two areas, because it appears that the literature is insufficient to identify a real research line, demonstrating the highly innovative nature of the topic. Furthermore, this separation also allowed to evaluate the top-down approach, to clearly define the results expected from the implementation of the NN. Following the profiling and the definition of the result prototypes to be obtained, a focus group was created that significantly represented the category of fragile users. The aim is to dispense them the designed applications and assessing their potentialities and criticalities during the beta-testing phase. Finally, during the investigation phase, the most efficient mechanisms for NN training were studied and their complexity defined according to the result to be achieved.

In the next phase, the NN and the dataset will be created, extrapolating it from BIM and/or GIS database, to provide the same for the training. Implementing a dataset, essential but at the same time sufficiently complex to minimize the error in the output without using enormous computing power, is a result of fundamental importance for current research and those related to it. In the same phase, it will be necessary to establish the mechanisms of interaction with any sensors and/or actuators, especially in the case of in-door appli-

cations, with an evident innovative result. In fact, intending the fragile users housing as the product of the design and construction process, considering a new demand framework, the paradigm shift from the planning stage is fundamental. This involves a design approach not of a housing module measured for the number of persons that occupy it, but as a real domestic ecosystem (Fig. 7) able to relate with the occupants by constantly monitoring their needs and, at the same time, interacting with other ecosystems and with the external environment (Formica and Magarò, 2018).

A further result of this phase are design guidelines about the design of the NN and its training, the design of the domestic ecosystem and the implementing of applications in AR. In the last phase, the results will be verified by experimenting with the applications from the focus group. The specific out-door applications will be tested directly, while for in-door applications, which need to relate to a specially designed or remodelled confined space, a test environment, made available by a Public Subject, will be used.

Regarding the research tools, the software and the hardware equipment necessary for the realization of the NN are of fundamental importance. Analogous endowments, suitable for the creation of a sharing AR contents framework, are also fundamental: this framework will be able to refer the geographical coordinates through the exploitation of GPS networks. Finally, regarding computer equipment for development of in-door applications, it is very important to use sensor test environment and the actuators, as well as the internal and external IT network.

Experimental AR application examples using a top-down approach – AR is a digital information return technology characterized by the superimposition, to real environments, of virtual contents, multimedia, geolocated data, etc. This augmented content can be enjoyed through physical interfaces, whose hardware technology ranges from the most invasive systems (helmets or viewers, defined as see-through displays) to the less invasive ones, used in this research, such as smartphones and tablets (Akçayır e Akçayır, 2017). Within any application in AR, the following phases can be identified (Fig. 8):

- Recognition: to superimpose virtual contents on the real environment, the latter must be recognized without ambiguity, using specific images or objects; in some applications it is necessary to associate a so-called 'marker' to the object, that is a visual code that makes it uniquely distinguishable; another way to operate recognition is the exploitation of GPS coordinates;

- Tracking: it is the phase in which the encoding of the real environment is possible thanks to the exploitation of the sensors present in the device, such as accelerometer, gyroscope, GPS, compass, etc.;

- Overlap and alignment: the device virtually reconstructs the scene by integrating the virtual contents to the real environment, aligning the first ones to the second so that, changing the point of view, the scene changes accordingly.

In a first phase of the research, the approach follows a top-down model, aimed at the realization of applications in AR to solving specific problems for specific class of fragile users. In particular, the research developed two experimental applications:

- RAdArt: application developed within the Department of Architecture of Roma Tre University, aimed at identifying, through AR, architectural barriers in a built environment; the application is able to recognize the plan of a building floor when it is framed with a smartphone camera and is able to link it to the AR three-dimensional model of the building; the virtual content is not a static model, but it is possible to visualize an animation in which a path without architectural barriers is suggested, for people with mobility difficulties, from the observation point to the next (waypoints) or to the exit (Fig. 9);

- LISMuzic: it can superimpose a complete video with audio on a simple image, a photograph or a frame. At the moment it was developed with the aim of displaying music videos reinterpreted in the Italian language of signs (LIS), but the aim is to transform a mono-media device such as a photo or a drawing into a multi-media device, that is capable of playing video and sounds; the objective is to test the application inside museum spaces for the creation of video guides in LIS with no cost, because they can be used by personal devices.

Both applications have been developed in Android environment, only for the testing phase, but can be distributed for any operative system. All exploit the free-use graphics engine Unity combined with the AR distribution platform Vuforia.<sup>11</sup>

Conclusions – Although the research is in progress and not all the developments that its scope of application can provide are visible, some results have already been achieved. Through the top-down approach just described, it was possible to define what result is expected by the NN training. In this way it will be possible to establish the input data to be processed, identifying them within the BIM and GIS databases to the most performing dataset. Depending on the latter, the NN can be designed. The analysis phase of the research is concluded and the definition of the state of the art for the characterization of the research target completed. The first dissemination of the results was dealt through an International Conference held in Rome on 26 October 2018 with publication of proceedings, about the theme of housing and architectural spaces for fragile users.

The research aims to address a series of limits emerged from these preliminary phases. The main one appears to be the correct definition of the dataset. For this purpose, an in-depth study of the definition and management mechanisms of the most common BIM and GIS software databases is envisaged, preferring any open-source systems<sup>12</sup>. Achieving a result in this sense would constitute a turning point in the context of this research, complex but certainly rich of enormous potential for the improvement the quality of life of fragile users.

#### NOTES

1) Functionally to the objectives pursued in the research, this definition complements that provided by Doc. Antonio Bavazzano, Cardiologist and Geriatrician, Coordinator of the regional care network of people with dementia and Director of the U.O. of Geriatrics of ASL 4 of Prato (Bavazzano, 2017).

2) The first difference must be based on the place where a subject lives. Therefore, in industrialized countries, the 'old age' begins at 65, but in Africa, the World Health

Organization sets the start at 55. Still, many industrialized countries set retirement age at 60-65, but some others between 65 and 70. In geriatrics, a series of sub-categories of the elderly are established: for example 'young-old' (60-69), 'middle-old' (70-79) and 'very-old' (80+) (Forman et alii, 1992), or 'old' (65-74), 'old-old' (75-84) and 'older-old' (85+) (CCohen-Mansfield et alii, 2013).

3) The Active and Assisted Living programme follows a seven-year programme called Ambient Assisted Living: both programmes are aimed at researching the use of new technologies to support an active and autonomous life.

4) The acronyms used in this contribution are those used by the international scientific research, derived from the English language, such as Artificial Intelligence (AI), Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) and Mixed Reality (MR).

5) BIM is a software system that associates a database with a three-dimensional model, so it is always possible to extract, from every part of this, all kinds of information, from the economic-computational to the technological-constructive ones, without neglecting the part dedicated to facility management.

6) GIS is a software system that associates a database of information to a geo-referenced cartography allowing the acquisition, recording, analysis, display of information deriving from geographic data.

7) The computer was built by Marvin Minsky, co-founder of the AI labs at MIT, and took the name of SNARC (Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator): it was able to simulate a network of 40 neurons.

8) The software, called Logical Theorist, written by Allen Newell, Herbert A. Simon and Cliff Shaw, was able to demonstrate 38 of the 52 theorems proposed by Whitehead and Russel in one of the most important mathematical texts: Principia Mathematica (1910). For some of these theorems, the software found more elegant demonstrations than those proposed by the authors.

9) Rosenblatt designs the Perceptron, which was able to recognize shapes by minimizing the error and storing data from experience. Called today 'classical perceptron', it differs from the advanced perceptron designed during the Sixties and which today constitutes the basis of NN.

10) Complexity of NN is strictly related to the amount of input data it must process simultaneously.

11) These are registered trademarks, cited for specifying the methods of carrying out the first tests. These tools were used for free, open-source or creative commons licenses, because the limitations that this entails were not stop the testing phase. During the following phases it is necessary to use different tools, more performing and adaptive in relation to the prefixed purposes.

12) One of the most popular open-source GIS systems is QGIS. At the time of writing there is no availability of open source BIM systems, therefore the study will focus on the most common systems, unless partnership agreements are established.

#### REFERENCES

- AAL Programme (2018), *AAL programme: funding for active and assisted living*. [Online] Available at: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/active-and-assisted-living-joint-programme-aal-jp> [Accessed 24 March 2019].
- Akçayır, M. and Akçayır, G. (2017), "Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of literature", in *Educational Research Review*, vol. 20, pp. 1-20.
- Alankus, G., Lazar, A., May, M. and Kelleher, C. (2010), "Towards customizable games for stroke rehabilitation", in Chi, X. (ed.), *Proceedings of the 28th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, pp. 2113-2122.
- Bavazzano, A. (2017), "Che cosa significa essere fragili", in *Toscana Medica*, vol. 4, pp. 16-18.
- Beltes, P. B. and Smith, J. (2003), "New frontiers in the future of aging: From successful aging of the young old to the dilemmas of the fourth age", in *Gerontology*, vol.

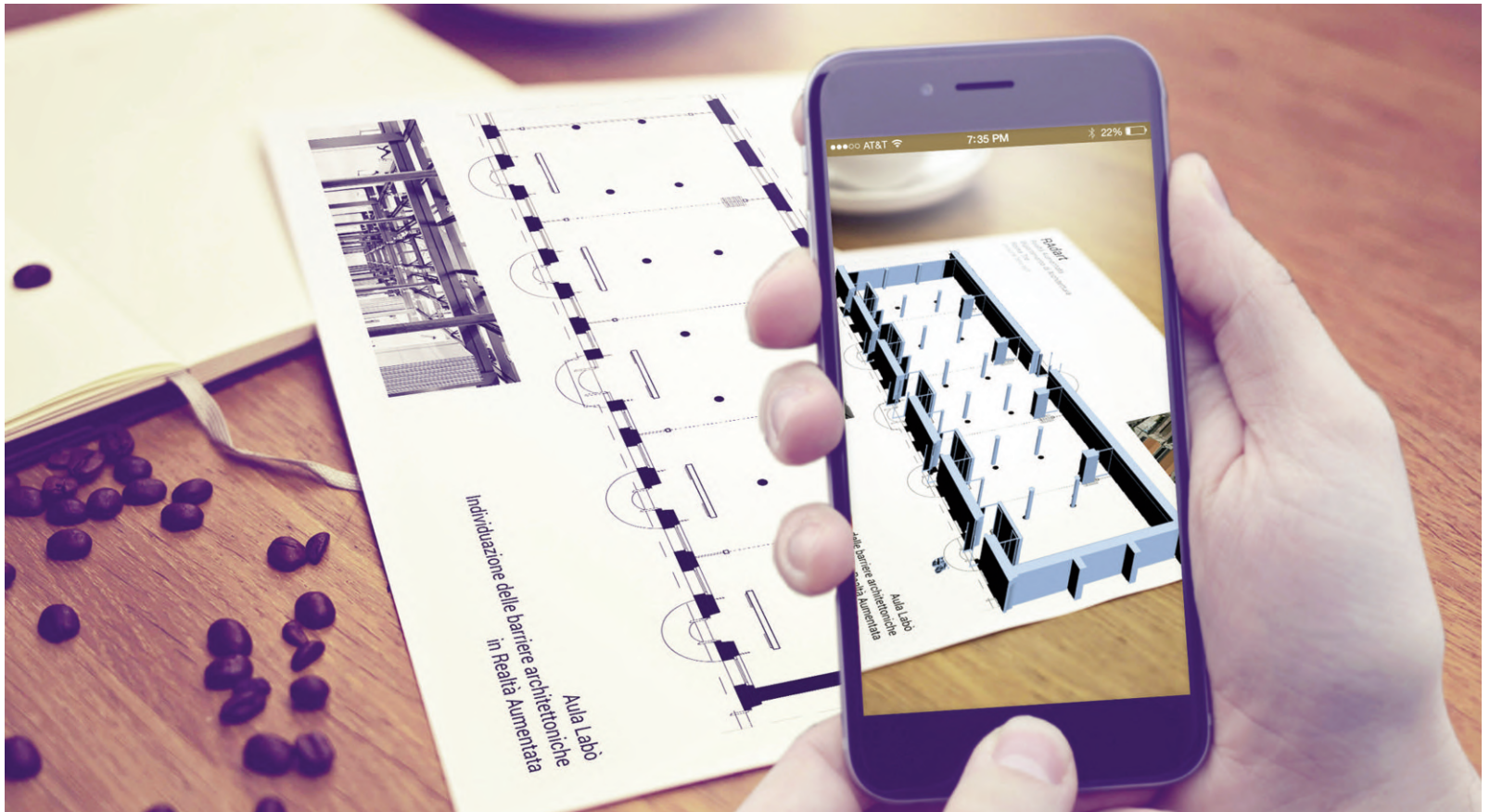


Fig. 9 - RAARt application developed within the Department of Architecture of the Roma Tre University. The application recognizes the plant as a marker and associates it with a three-dimensional model with animation of a wheelchair that indicates the path without barriers to follow.

49, pp. 123-135.

Bergman, H. (2007), "Frailty: an emerging research and clinical paradigm-issues and controversies", in *Journals of Gerontology. Series A: Biological and Medical Sciences*, vol. 62, pp. 731-737.

Cabrera-Umpierrez, M. F., Ramirez, C. M., Sevillano, A., Arredondo, M. T. and De Smedt, A. (2006), "Medical Educational e-Platform through Virtual Reality technologies", in Sandoval, F. (ed), *Proceedings of IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, IEEE, Malaga, pp. 453-456.

Ciulla, G., D'Amico, A., Lo Brano, V., Traverso, M. (2019), "Application of optimized artificial intelligence algorithm to evaluate the heating energy demand of non-residential buildings at European level", in *Energy*, vol. 176, pp. 380-391. [Online] Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219305882> [Accessed 24 March 2019].

Cubeddu, I. (ed.) (1996), *Rene Descartes: Discorso sul metodo*, Editori Riuniti, Roma.

De Toni, A., Giacomelli, F. and Ivis, S. (2010), *Il mondo invisibile dei pazienti fragili*, UTET Università, Torino.

Forman, D. E., Berman, A. D., McBabe, C. H., Baim, D. S. and Wei, J. Y. (1992), "PTCA in the elderly, the young-old versus the old-old", in *Journal of the American Geriatrics Society*, vol. 40, pp. 19-22.

Formica, G. and Magarò, A. (2018), "Abitazioni per anziani: nuove tecnologie per la fruizione dello spazio domestico", in Baratta, A. et alii, (eds), *Abitazioni sicure e inclusive per anziani*, Anteferma, Venezia, pp. 347-356.

Furlan, E. (2014), *Il paziente fragile. Il ruolo delle strutture intermedie nel territorio veneto*, Università Ca' Foscari di Venezia, Dipartimento di Filosofia e Beni Culturali, Venezia.

Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A. (2016), *Deep Learning*, The MIT Press, London.

Hogan, D. B. (2003), "Steering Committee, Canadian Initiative on Frailty and Aging. Models, definitions, and criteria of frailty", in *Aging Clinical and Experimental*

*Research*, vol. 15, pp. 1-29.

ISTAT (2015), *Inclusione sociale delle persone con limitazioni funzionali, disabilità o cronicità gravi*. [Online] Available at: [https://www.istat.it/it/files/2015/07/Inclusione-sociale-persone-con-limitazioni-funzionali\\_def\\_240715.pdf](https://www.istat.it/it/files/2015/07/Inclusione-sociale-persone-con-limitazioni-funzionali_def_240715.pdf) [Accessed 23 March 2019].

Karunanathan, S. (2009), "A multidisciplinary systematic literature review on frailty: overview of the methodology used by the Canadian Initiative on Frailty and Aging. B", in *BMC Medical Research Methodology*, vol. 9, pp. 128-135.

Cohen-Mansfield, J., Shmotkin, D., Blumstein, Z., Eval, N. and Hazan, H. (2013), "The old, old-old, and the oldest old: continuation or distinct categories? An examination of the relationship between age and changes in health, function, and wellbeing", in *International Journal of Human Aging Development*, vol. 77, pp. 37-57.

Luger, G. F. (2005), *Artificial Intelligence: Structures and strategies for complex problem solving*, Addison-Wesley, Boston.

McCulloch, W. S. and Pitts, W. H. (1943), "A logical calculus of ideas immanent in nervous activity", in *Bulletin of mathematical biophysics*, vol. 5, pp. 115-133.

Mitchel, T. M. (1997), *Machine Learning*, McGraw Hill, New York.

Pittarello, F. and De Faveri, A. (2006), "Improving access of elderly people to real environments: a semantic based approach", in *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, ACM, New York, pp. 364-368.

Ruggero, C., Cerubini, A. and Senin, U. (2007), "Alla scoperta delle origini dell'anziano fragile", in *Giornale di gerontologia*, vol. 4, pp. 183-190.

Samuel, A. L. (1959), "Some studies in machine learning using the game of checkers", in *IBM Journal of Research and Development*, vol. 44, pp. 206-226.

United Nations (2017), *World Population Ageing. Report*. [Online] Available at: [http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2017\\_Report.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2017_Report.pdf) [Accessed 3 March 2019].

Università Cattolica (2017), *La condizione delle persone con disabilità in Italia*. [Online] Available at: [www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/articolo.php?articolo\\_id=56573](http://www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/articolo.php?articolo_id=56573) [Accessed 23 March 2019].

WHO - World Health Organization (2011), *World report on disability*. [Online] Available at: [www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/report/en/](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report/en/) [Accessed 23 March 2019].

World Bank (2018), *Disability inclusion*. [Online] Available at: <https://www.worldbank.org/en/topic/disability> [Accessed 23 March 2019].

<sup>a</sup> ANTONIO MAGARÒ, Architect and PhD Student, since 2016 he has been carrying out integrative teaching assignments in the Architecture Technology courses at Roma Tre University. His research ranges from urban regeneration through the adaptive envelopes to the new technologies for fragile users. He is Author of publications about innovative materials and about the mitigation of housing problems in marginal urban areas of the world. Mob. +39 389/43.56.191. E-mail: antonio.magarò@uniroma3.it

<sup>b</sup> ADOLFO F. L. BARATTA, Architect and PhD, since 2014 he is Associate Professor in Architectural Technology at the Department of Architecture of Roma Tre University. Professor at University of Florence (2002-2012), Sapienza University of Rome (2009-2010) he was Visiting Professor at Universidad de Boyacá in Sogamoso, Colombia (2017) and in the HTWG of Konstanz, Deutschland (2017). He is Author of over 200 publications. Mob. +39 338/59.82.598. E-mail: adolfo.baratta@uniroma3.it



## DATI OPEN SOURCE E PROGETTO STRATEGICO PER LA CITTÀ RESILIENTE

### OPEN SOURCE DATA AND STRATEGIC PROJECT FOR THE RESILIENT CITY

Cristina Cándito<sup>a</sup>, Manuel Gausa<sup>b</sup>, Matilde Pitanti<sup>c</sup>, Giulia Sola<sup>d</sup>

#### ABSTRACT

*Il contributo indaga l'apporto fornito dalla tecnologia dell'informazione, relativamente alla rappresentazione ed elaborazione di dati in formato open source, e crowd-sourced, ai fini del processo di pianificazione e progettazione urbana. Nell'ambito di ricerca si svolge un'analisi sperimentale all'interno della frazione genovese di Molassana comparando ed elaborando, in un unico sistema, la cartografia tradizionale fornita dai portali online della pubblica amministrazione e i dati condivisi dagli utenti sui social network e sulle piattaforme open source. Dalla complessità delle informazioni ottenute nasce una strategia territoriale sintetica multilivello, fortemente legata al contesto sia territoriale sia sociale.*

This contribution explores the role of information technology, relating to the representation and processing of data in open source and crowd-sourced format, for the purpose of urban planning and design process. In the research field, an experimental analysis is carried out within the Genoese neighborhood of Molassana by comparing and processing, in a single system, the traditional cartography provided by the online portals of the public administration and the data shared by users on social networks and open source platforms. The complexity of the information obtained grows a synthetic multi-layer territorial strategy, strongly linked to the local and social context.

#### KEYWORDS

open-source, data, pianificazione, resilienza urbana, strategie territoriali

*open-source, data, planning, urban resilience, territorial strategies*

**D**a febbraio 2017 sulla piattaforma Youtube vengono caricate ogni minuto circa 400 ore di filmati. Nello stesso anno gli utenti attivi su Instagram hanno raggiunto gli ottocento milioni, mentre Facebook è arrivato a due miliardi di utenti attivi. Le interazioni umane si sono spostate, o meglio espanse sulle piattaforme online, in cui vengono espresse opinioni, condivise storie e informazioni di ogni tipo: viviamo in due realtà parallele e interconnesse quotidianamente. Il tema nodale è in che modo le possibilità di interazione e condivisione di informazioni offerte dal mondo virtuale stiano cambiando e influenzando i nostri comportamenti, il modo in cui viviamo, e conseguentemente anche il modo in cui analizziamo e progettiamo le nostre città. Quale ruolo può avere questo flusso ininterrotto di informazioni immesso spontaneamente in rete? Come può essere usato?

L'ONU ha istituito un organo apposito, l'UN Global Pulse (2016), che mira a comprendere i possibili utilizzi di questa enorme quantità di informazioni, al fine di porla alla base del progresso globale, regolamentandone l'utilizzo e lo sfruttamento da parte di aziende e governi, grazie anche alla pubblicazione di resoconti continui dell'avanzamento dello stato dell'arte sull'argomento. Fra le prime e più rilevanti iniziative in campo architettonico emerge Open Architecture Network<sup>1</sup>, servizio online fondato da Architecture for Humanity, che consente la condivisione open source (Open Knowledge, 2015) di progetti innovativi e sostenibili all'interno di una community interessata a collaborare al miglioramento delle idee progettuali o permetterle la ripetibilità. Le ricerche in questo campo si sono moltiplicate nel corso degli anni: un ruolo pionieristico è stato svolto sicuramente dal MIT, che all'interno del Senseable City Lab conduce ricerche relative alla raccolta e gestione di dati da ormai quindici anni.

*Visione strategica urbana Open-Data e Multi-Livello* – La ricerca qui presentata<sup>2</sup> si pone l'obiettivo di mediare fra l'ambito dell'analisi urbana e la sua applicazione pratica, proponendo un ripensamento e una innovazione del processo di pianificazione urbana nella direzione di una maggiore capacità di lettura e comprensione del territorio, e della società, in tempo reale, combinando cartografie tematiche tradizionali, informatiche multilivello e open-data online. Il progetto combina i risultati ot-

tenuti da Andrea Galli (2014) che analizzano il territorio grazie a strumenti di lettura parametrici per dati in formato Open Source con le analisi dei social network – utilizzate da Carlo Ratti (2014a) nelle ricerche condotte presso MIT Senseable City Lab – e restituisce un progetto sperimentale applicativo all'interno di un'area di dimensioni relativamente ridotte, ma che possa essere, in futuro applicato in realtà più ampie. Il progetto si colloca nell'ambito della progettazione Data-informed, differente rispetto a quella Data-driven (termine con cui si fa riferimento a una strategia o a un'attività che individua la propria origine e il proprio propulsore in una serie di dati, raccolti con il fine di orientare lo sviluppo di nuovi e più efficienti servizi, prodotti, processi e metodi organizzativi), in quanto mediata e orientata dalla conoscenza del progettista e della sua capacità di sintesi strategica, ambientale, paesaggistica e percettiva. Se le città odierne sono effettivamente caratterizzate dalla capacità di raccogliere, processare e produrre informazioni, definite non solo da un'architettura fisica ma anche da una propria «architettura informativa» (Berardi, 2015; Fig. 1) diventa essenziale interrogarsi sulle conseguenze che ciò produce sia sulla definizione di strategie urbane sia sulla loro rappresentazione.

La Data-town (Fig. 2), visione volutamente estremizzata da MVRDV (1999), rende chiara e immediata la comprensione di come diagrammi, flussi di informazione e comportamenti collettivi, influenzino anche la costituzione della città fisica. In questo contesto la rappresentazione di informazioni complesse e molteplici in tempo reale, assume un carattere fondamentale: il diagramma, selezionando dati specifici, rappresenta già di per sé una scelta progettuale. La visione Data-informed (Fig. 3) utilizza i dati come uno solo dei fattori necessari all'interno del processo decisionale (Deutsch, 2011), affiancati da strumenti tradizionali di analisi, visualizzazione e lettura, nonché gestiti dal progettista stesso. Possiamo parlare, dunque, di «mappe di battaglia» (Gausa et alii, 2003, p. 82) destinate a orientare processi dinamici e aperti, guidate da variabili qualitative che rafforzano le potenzialità territoriali (lavorando in reti di interazione tra sistemi) e mitigano le criticità in punti e aree di intervento prioritario strategico-tattico. Da quest'ultimo approccio deriva la strategia mista utilizzata all'interno di questa ricerca che, nonostante affondi le proprie radici nell'analisi di dati open source, letti con software parametrici, prende

le distanze dalle forme ‘futuristiche’ legate spesso a tali strumenti, e dalle visioni in cui il progetto viene identificato in un processo reiterato di definizioni e aggiustamenti tra i parametri e le relazioni tra gli elementi (Burry, 2007).

Il progetto presentato compie un’ulteriore riflessione relativa all’apporto fornito dalle tecnologie dell’informazione alla città resiliente, adattiva e flessibile che, di fronte a eventi drammatici o situazioni di stress ripetuto, è in grado di reagire, imparare e migliorarsi. Fra le molteplici definizioni di ‘resilienza urbana’, una particolarmente interessante è quella fornita dalla partnership pubblico-privata 100 Resilient Cities<sup>3</sup> secondo la quale: «Urban Resilience is the capacity of individuals, communities, institutions, businesses, and systems within a city to survive, adapt, and grow no matter what kinds of chronic stresses and acute shocks they experience». Se la città contemporanea è assimilata a un ecosistema complesso, come già Crawford Holling introduceva nel 1973 descrivendo la resilienza ecologica, all’interno del quale diverse forze, organismi ed elementi concorrono a un equi-

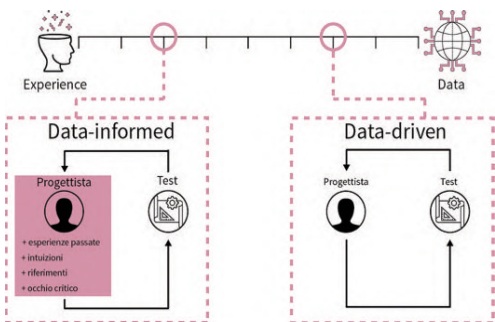
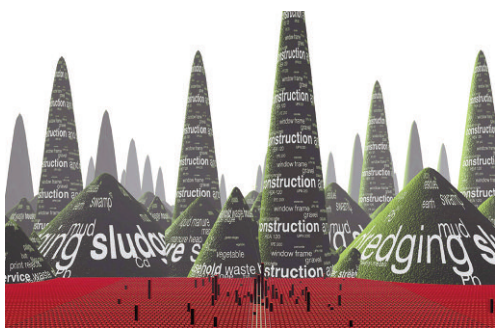


Fig. 1-3 - Genova Smart City, collecting and sharing information at territorial and social scale; Metacity/Data-town di MVRDV (credit: www.mvrdv.nl/projects/147/metacity-datatown-); Difference between Data-driven/Data-informed approach.

Next page. Fig. 4 - The map made by users on OpenStreetMap giving information about services in the neighborhood of Molassana: 1) sport structures; 2) schools; 3) police buildings; 4) industry and parking; 5) monuments; 6) urban fabric both residential and commercial.

librio – o disequilibrio – generale, la descrizione sopra riportata introduce la capacità del sistema non solo di riorganizzarsi quanto di apprendere e crescere nonostante le avversità. In tale contesto la capacità di raccolta ed elaborazione di informazioni in tempo reale offre l’opportunità di costituire una memoria, avere confronto con dati istantanei e passati; contemporaneamente la possibilità di condivisione e accesso a informazioni su piattaforme crowd-sourced permette a cittadini e a comunità locali di essere parte attiva all’interno dei processi urbani in situazioni ordinarie quanto di emergenza.

*Sull’applicazione della rappresentazione parametrica* – Il progetto si avvale, in fase analitica, dell’ausilio di strumenti parametrici come supporto alla definizione di una strategia di intervento nell’area del quartiere genovese di Molassana. I plugin del software Grasshopper permettono, tramite la scrittura di un algoritmo, di visualizzare la maggior parte delle tipologie di dati in formato open source ma non hanno il compito di individuare l’approccio per l’intervento, che rimane invece nelle mani del progettista. Utilizzare dati reperibili online in formato open source, per impostare una strategia urbana di risposta adattiva rispetto a un’emergenza, ha richiesto una selezione e gerarchizzazione dei dati presi in esame. I dati analizzati influenzano direttamente il risultato finale (Galli, 2015), ciò significa che bisogna saper porre i quesiti corretti per ottenere un risultato significativo (Ratti, 2014b) e capace di comunicare un contenuto concreto. Per questo si sono scelti metodi e forme di rappresentazione (Candito, 2016) differenziati, non necessariamente allineati con le modalità consuete, come risulta, ad esempio, dall’adozione dell’esplosione in assonometria monometrica, che conserva la vera forma dei livelli delle planimetrie (Fig. 4), utile per non distorcere le relazioni tra le direzioni rappresentate.

*Strumenti parametrici e visione strategica urbana* – Per un’approfondita descrizione di un sistema attraverso un vasto numero di informazioni georeferenziate, sono necessarie non solo le informazioni morfologiche ma anche quelle di carattere sociale, economico o ambientale (Galli, 2015); per questo motivo, all’interno della ricerca, sono stati considerati anche dati estrapolati da alcuni social network (Fig. 5.). Questi ultimi permettono, grazie ai tag, la localizzazione delle informazioni, che possono essere sovrapposte a quelle morfologiche. L’approccio si basa su un continuo confronto analitico-sintetico d’integrazione fra le informazioni ottenute dalle cartografie tematiche, scaricabili da ogni portale comunale (in questo caso ci si è avvalsi del servizio Geoportale per la Regione Liguria), e i dati ottenuti invece dal monitoraggio di alcune piattaforme on-line, social e crowd-sourced. Sempre mantenendo questa doppia visione ‘cartografico-informativa’, il processo di analisi strategica è stato suddiviso in tre diversi livelli: il sistema infrastrutturale di accessibilità, il sistema di servizi e attrattività a livello locale e il sistema del rischio idrogeologico. Nei tre layer, la cartografia tradizionale è stata affiancata dalla lettura di dati condivisi dagli utenti su diverse piattaforme on line: OpenStreetMap.org<sup>4</sup> e WikiLOC<sup>5</sup> relativamente all’accessibilità; Flickr, Instagram e TripAdvisor per le attrattività locali, e l’applicazione Mugugnapp<sup>6</sup> in relazione al rischio idrogeologico.

La base vettoriale, necessaria per la rappresentazione planimetrica del territorio, è stata ottenuta grazie al portale OpenStreetMap.org, che permette di scaricare mappe a carattere vettoriale dell’area d’interesse. Grazie al plugin Elk<sup>7</sup> per Grasshopper, è possibile inserire all’interno dell’algoritmo il file ottenuto dal portale online che contiene al suo interno sia informazioni vettoriali relative alla morfologia del territorio sia una struttura di meta-dati, i quali consentono la catalogazione, divisione e differenziazione delle geometrie. Sono stati poi sovrapposti diversi livelli, ottenuti dalle carte tematiche comunali, contenenti informazioni, ad esempio, sulla destinazione d’uso degli edifici, sulle posizioni di servizi sul territorio (Fig. 4) e i relativi rischi idrogeologici. Uno dei vantaggi di questo procedimento è che, con il passare del tempo e il modificarsi di servizi sul territorio, sarà sufficiente scaricare file più recenti per avere una mappa sempre aggiornata. Il risultato è un modello misto vettoriale e di meta-dati, statico, ma continuamente aggiornabile. Da questo sono state elaborate rappresentazioni che ne permettono la lettura semplificata (Figg. 6-8), pur restituendone il grado di complessità sul territorio di Molassana.

L’analisi e lo studio delle informazioni provenienti dai social network necessitano di un approccio differente. Anche le informazioni condivise dagli utenti, che divengono primo sensore fisico all’interno del territorio, possono essere messe in relazione con quelle sopracitate, con processi che, nella maggior parte dei casi, sono più complessi e variano per ogni strumento. Nessun social network fornisce infatti ai suoi utenti la possibilità di scaricare informazioni da connettere con un algoritmo preparato in precedenza. Sono invece necessarie letture online, caratterizzate da visualizzazioni sommarie. Possiamo però considerare, per esempio, il numero di foto caricate su Flickr in una determinata area geografica, non tanto per la loro bellezza, o per la precisa posizione da cui sono state scattate, quanto per la quantità. Questa informazione può rivelarsi significativa nel conoscere i luoghi maggiormente frequentati ed emotivamente significativi per gli utenti del social network, che desiderino conservarne un ricordo. È possibile quindi affermare che la geo-localizzazione crea delle mappe dinamiche dei processi sociali (Ratti, 2014a) che si attivano nel territorio.

Anche Instagram, sebbene funzioni per parole chiave, permette di avere un’informazione relativamente precisa del luogo dove sono state scattate le fotografie. TripAdvisor, la terza piattaforma presa in esame analizzando i luoghi attrattivi, fornisce informazioni, aggiornate molto frequentemente, rispetto alla presenza di monumenti e servizi di ristorazione. Letture miste di dati, sia quantitativi che qualitativi, sono spesso il miglior approccio possibile poiché dati quantitativi spesso porteranno a porsi domande sul perché e sul come, domande a cui invece i dati qualitativi rispondono meglio (Trueheart, 2012). Le informazioni che possiamo ottenere grazie alle interazioni online degli utenti non sono soltanto una velleità progettuale, ma possono, come presentato, essere utilizzati come un vero e proprio strumento di ausilio al pianificatore (Fusero, Massimiano, Tedeschi and Lepidi, 2013).

*Molassana: un caso di studio nella Regione Liguria* – La scelta applicativa all’interno del quartiere genovese di Molassana (Fig. 9) è stata determinata

dalla buona reperibilità dei dati in loco, che ha permesso, unita alla dimensione non eccessivamente estesa dell'area, la gestione facilitata di tutte le informazioni. Il quartiere si presenta come un caso studio interessante per molteplici fattori: in primo luogo manifesta la compresenza di criticità sia di tipo idrogeologico territoriale, sia sociale; quest'ultima dovuta prevalentemente alla carenza di servizi per la cittadinanza, unita a una scarsa connessione con il centro del capoluogo ligure. In secondo luogo il quartiere, e l'intera area della Val Bisagno, sono da anni oggetto di studio da parte dell'Università di Genova, che sta testando in loco lo sviluppo di nuove applicazioni per la prevenzione e gestione del rischio, tramite progetti europei come, ad esempio, Flood-serv, sviluppato all'interno di un programma Horizon 2020. La storia del Municipio IV Val Bisagno è segnata dal susseguirsi di pericolose esondazioni del torrente Geirato (Bompani, 2016), causate principalmente da rovesci meteorici nell'area di Molassana che non riescono a essere assorbiti dal terreno, né contenuti dai letti dei torrenti, via via ristretti a seguito dello sviluppo urbano (Fig. 10). Il problema si è aggravato negli ultimi anni, in seguito alla crescente impermeabilizzazione dei suoli e all'interruzione delle opere progettuali previste per la gestione delle acque a livello locale.

Basare l'analisi strategica (scansionata sui tre livelli basilari di mobilità, attrattività e rischio idrogeologico) sull'integrazione fra cartografie tradizionali e dati di carattere qualitativo, diffusi volontariamente dalla popolazione, ha permesso di ripensare il processo di analisi e previsione strategica territoriale sia dal punto di vista spaziale, calandola maggiormente in un contesto locale e sociale, che da quello temporale, restituendo un'immagine aggiornata del territorio, ma anche una sua nuova sistemica «resiligente» (Andriani, Fagnoni and Gausa, 2017) tra maglie strategiche, paesaggistico-infrastrutturali, in rete e poli nodali di attrattività e resilienza urbana.

Un'interessante informazione ottenuta tramite OpenstreetMap e WikiLOC è stata quella relativa alla velocità a cui le varie arterie vengono percorse dagli utenti. Ciò ha permesso di identificare i percorsi più frequentati, ed è stata particolarmente utile nell'individuare le trame viarie pedonali maggiormente percorse (Fig. 8). È risultato evidente come, oltre alle strade carrabili che collegano il quartiere con il centro cittadino, in alcuni periodi dell'anno siano molto frequentati i percorsi escursionistici, risorsa e potenzialità importante per un quartiere che si trova al limite fra città e aree montane. Queste reti si incrociano e/o partono da punti nodali del territorio, che, come vedremo, coincidono spesso con punti polari di attrattività.

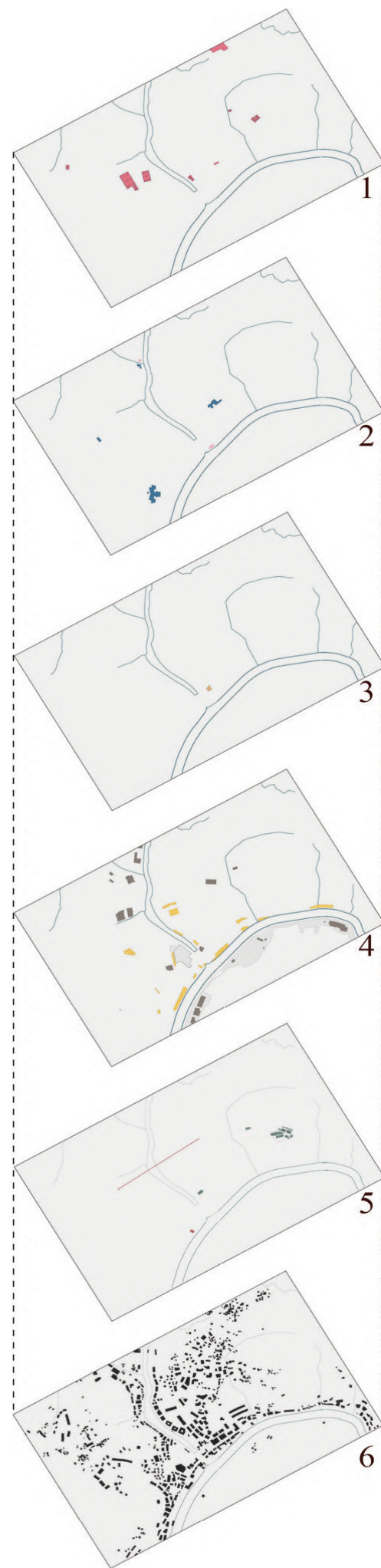
Le cartografie relative alle aree inondabili durante le piene dei torrenti Bisagno e Geirato sono state aggiornate in seguito all'alluvione del 2014 e sono reperibili sul sito del Comune di Genova in formato Shapefile<sup>8</sup>, integrabili con i dati del Geoportale e le informazioni geometriche presenti nell'algorithm per la lettura. I luoghi percepiti come problematici dagli utenti possono essere individuati utilizzando Mugugnapp, applicazione realizzata dal Geomorfolab dell'Università degli Studi di Genova, come parte del già citato progetto europeo Flood-serv. L'applicazione permette la segnalazione da parte dell'utente di situazioni ritenute rischiose e pericolose, sia quotidianamente

sia in vista della gestione dell'emergenza alluvionale. I dati raccolti in questo caso non sono una quantità tale da definire un'area percepita come pericolosa dalla popolazione, ma si propongono come utile strumento di supporto nella gestione quotidiana e manutenzione periodica del territorio a rischio; se ne può vedere una rappresentazione, sotto forma di mappa in Figura 8. Sono stati inoltre analizzati e definiti i principali comportamenti idrogeologici a scala locale – grazie a uno studio parallelo di fonti storiche – del deflusso delle acque fluviali e meteoriche in relazione alla conformazione urbana e geografica. All'interno del livello di attrattività urbana sono stati inseriti sia tutti i servizi tradizionali presenti sul territorio (scuole, palestre e campi sportivi, monumenti, etc.) sia i luoghi costantemente utilizzati dalla cittadinanza come punti di aggregazione o nodi di vita sociale, che si riflettono all'interno delle pagine personali degli utenti sui diversi social network (Fig. 7).

*Strategie territoriali d'integrazione multilivello* – Sovrapponendo i livelli di analisi (viaria, idrogeologica e delle attrattività) con le informazioni ottenute dai social network è stato possibile individuare una rete più ampia e definita di aree di intervento; parallelamente, è emersa una descrizione qualitativa che ha contribuito a orientare e caratterizzare le singole strategie progettuali. Alcuni luoghi, nei quali dalle canoniche carte tematiche territoriali non si evidenziano indicatori di alcun tipo, risultano essere punti fortemente attrattivi, per la presenza di servizi di ristorazione ad esempio, o luoghi di grande interesse e afflusso in occasione di eventi o fiere, o ancora luoghi segnalati come potenzialmente pericolosi o bisognosi di manutenzione. Tale sovrapposizione di informazioni è evidente nelle planimetrie di analisi strategica (Fig. 6).

La strategia progettuale (Fig. 11) individua due obiettivi principali: il primo è la gestione e il trattamento delle acque, tramite un sistema di prevenzione e uno di risposta in fase d'emergenza; il secondo, non meno importante, è la riattivazione e riqualificazione di alcuni punti chiave, coincidenti con situazioni di attrattività o problematiche, all'interno della realtà urbana oggetto di studio. La particolare attenzione a queste tematiche è determinata dalle specifiche caratteristiche territoriali di Molassana, emerse e descritte in fase analitica. La linea-guida dell'approccio sviluppato è stata la messa a sistema dei principali nodi di forza e di debolezza del territorio in una strategia congiunta di riattivazione urbano-paesaggistica. Si è dimostrata inoltre importante, nello strutturare la strategia territoriale così come nella fase analitica e sintetica, la scansione in livelli di intervento simultanei: un livello di connessione territoriale, un livello di prevenzione e di gestione dell'emergenza, e uno di attivazione e riattivazione sociale.

Il livello della connettività urbana si basa sulla capacità di ottimizzare le reti viarie carrabili e i percorsi pedonali, paesaggistici e patrimoniali (Fig. 12), in nuovi trans-sistemi (sistemi trasversali) a maglia multipla, intersecati con i principali punti nodali urbani e peri-urbani. Questa base flessibile e interconnessa, con diverse velocità e usi inter-relazionali, sostiene un nuovo territorio intrecciato. Il livello di prevenzione delle esondazioni si basa sulla gestione delle acque meteoriche urbane ed è costituito da elementi che hanno il compito di aumentare la permeabilità dei suoli urbani, ridurre





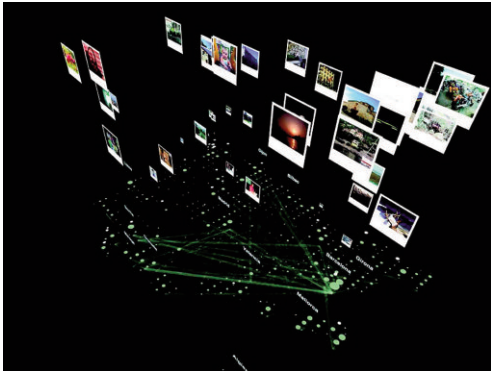


Fig. 5 - Los ojos del mundo (*the world's eyes*) representation of pictures uploaded on the social network Flickr in Barcelona (credit: Ratti, 2014a).

Fig. 6 - Layer of Urban Attractivity. Representation of services on the territory (backgrounds) and pictures uploaded by users (points) on Instagram (pink points), Flickr (blue points), and Tripadvisor (green points) in the neighborhood. In some occasion, the presence of services corresponds to virtual interaction, in other situations the uploads show new places.

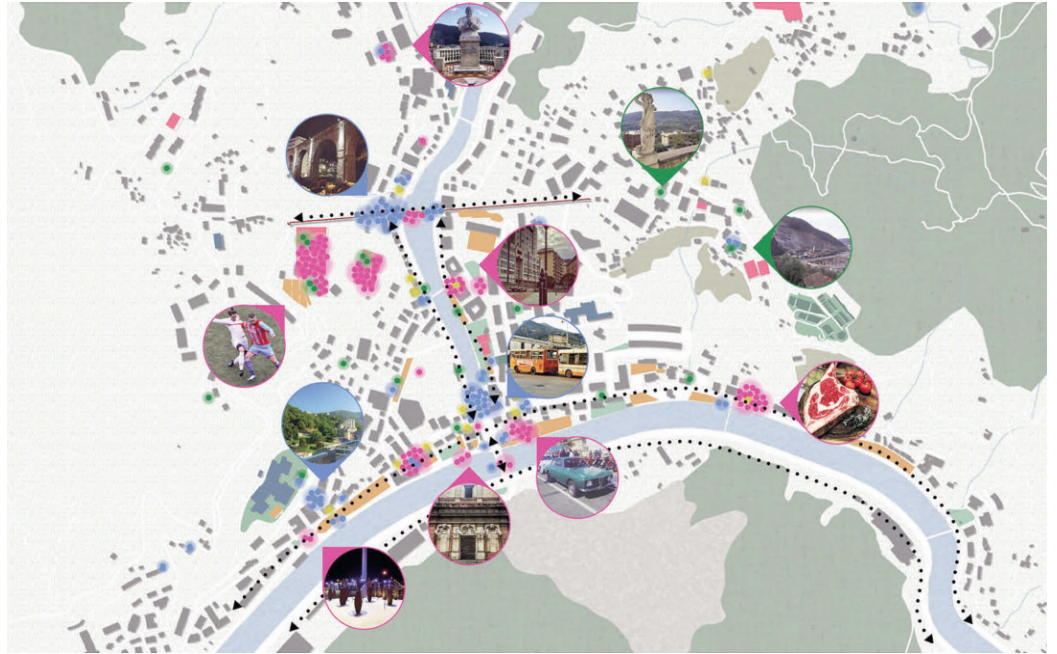


Fig. 7 - Layer of Urban Roads. Representation of roads on the territory on WikiLOC, OpenStreetMap e Google Terrain. Red are the highways, blue are the main internal roads, black are the bus trips, beige are the excursion paths, green are the excursion mountain bike paths. Dimensions shows the frequency of use.

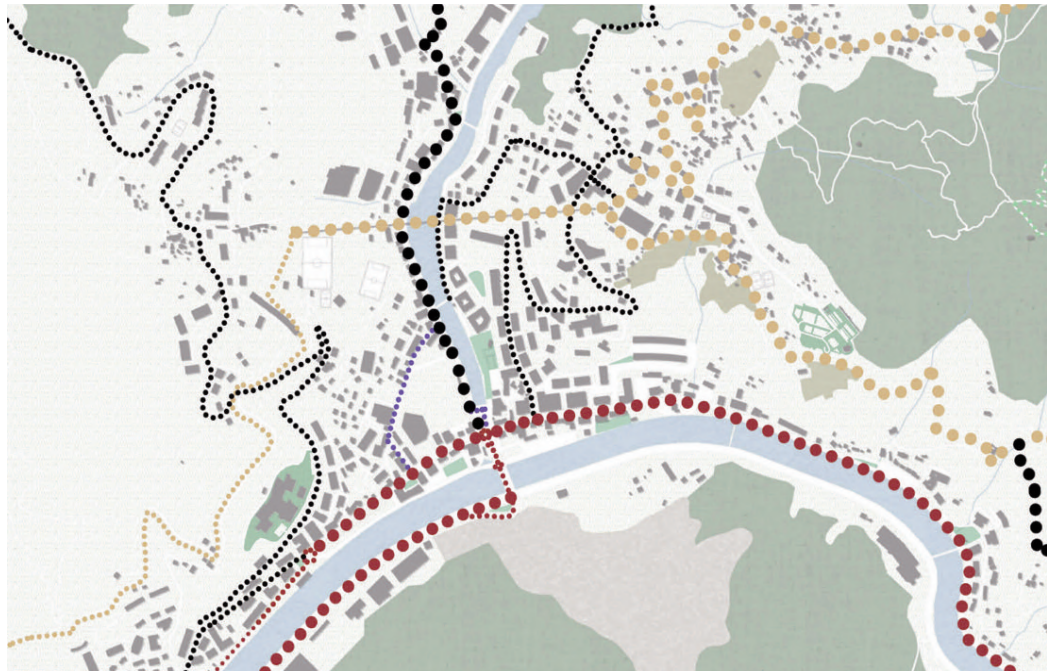


Fig. 8 - Layer of Hydrogeological Risk. Dimension are defined in the Cartografia Regionale (2015) and Geoportale. Red points identify problematic, defined by historical sources, because of the volumes of water, while black points identify problems detected by users thanks to Mugugnapp; unfortunately, informations are not much significant.

Next page. Fig. 9 - The area of Molassana, related to the center of Genova (source: Google Maps); scheme of main roads in Genova (source: OpenStreetMap); scheme of the attractivities of Genova (source: Opens Street Maps & Flickr); scheme of main waterways (source: Open Street Maps).

Next page. Fig. 10 - Flood in 9 October 2014, Geirato steam, Via Geirato, partially collapsed because of a flood (credit: www.genovatoday.it).

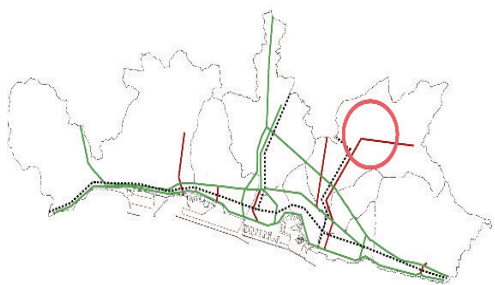
il deflusso d'acqua e la sua velocità. Il rischio idrogeologico legato all'erosione dei torrenti ha cause e conseguenze complesse. Il progetto affronta il tema del trattamento delle acque meteoriche a livello locale, con la consapevolezza di non poter eliminare totalmente il rischio di eventi alluvionali; tuttavia, come evidenziato all'interno del documento 'Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo' prodotto della Commissione europea (2012), l'impermeabilizzazione del suolo nelle aree edificate, soprattutto all'interno di pianure alluvionali, aumenta il rischio di alluvione e danni da inondazione. La strategia progettuale integra la necessità di controllare gli enormi volumi di pioggia che si riversano sulle sempre più estese aree urbane con la possibilità di aumentare la qualità dello spazio pubblico.

È stato sviluppato uno studio sulla morfologia e struttura urbana in relazione al comportamento con il sistema idrografico (Graph 1), determinando un abaco di comportamenti che sono stati la base per determinare la strategia applicativa. Sono stati definite tre macro tipologie di elementi urbani: ele-

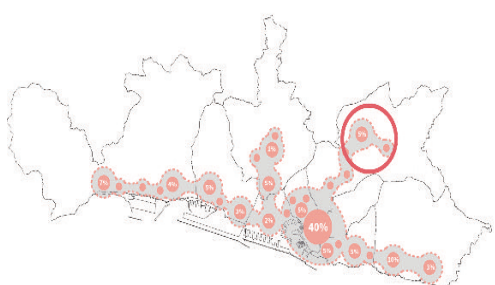




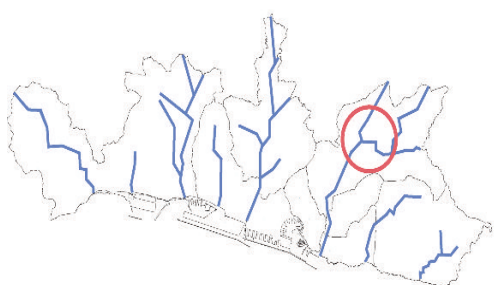
VISTA AEREA DEL COMUNE DI GENOVA  
Fonte: Google Maps



SCHEMA DEI PRINCIPALI PERCORSI VIARI  
Fonte: OpenStreetMaps



SCHEMA DELLE POLARITÀ  
Fonte: OpenStreetMaps & Flickr



SCHEMA DEI PRINCIPALI CORSI D'ACQUA  
Fonte: OpenStreetMaps



menti di densità (tessuto urbano, megastruttura, stecca, argine), di connessione ('creuza', acquedotto, strada alta percorrenza, strada extra-urbana, strada urbana, ponte, zona pedonale) e di dilatazione (piazza, giardino privato, parco pubblico, parcheggio, verde residuale). Ogni elemento presente sul territorio è stato messo in relazione con il comportamento del deflusso delle acque. I cinque comportamenti individuati sono: Sacca, luogo che raccoglie una cospicua quantità di acqua, con tempi di evaporazione lunghi che spesso comportano danni alle strutture; Barriera, elemento che impedisce il deflusso dell'acqua; Imbuto, elemento, o insieme di elementi, che incanalano le acque, rendendo più pericoloso il deflusso; Freno, insieme di elementi di resistenza al deflusso; Flusso, elemento che consente lo scorrimento ininterrotto delle acque, spesso identificato in strade ad alta percorrenza. A ogni tipo di elemento e comportamento, è stata poi associata una determinata azione di prevenzione – fra queste l'incremento di coperture verdi (Fig. 13), l'introduzione di cisterne di raccolta, pavimentazione drenante (Fig. 14), canali superficiali, Rain Gardens (Fig. 15) – o di emergenza – Watersquares (Fig. 16), argini digradanti, passerelle temporanee (Fig. 17), costruzioni su palafitte. Nel determinare i singoli interventi, si fa riferimento ai Sustainable Drainage Systems<sup>9</sup> (SuDS) e al relativo manuale (Woods Ballard et alii, 2015).

Il livello di gestione dell'emergenza è costituito da elementi che si attivano soltanto nel momento dell'innalzamento del livello dell'acqua nei torrenti oltre il limite consentito per la sicurezza. Essi si prefiggono l'obiettivo di aiutare gli abitanti che si trovano in situazioni di pericolo durante l'esondazione, creando dei percorsi sicuri, grazie a sistemi di passerelle temporanee, oppure di contenere la maggior quantità di acqua possibile, creando delle aree allagabili in sicurezza, utilizzando elementi come il Watersquare. Il livello di riattivazione si concentra invece sul rafforzamento strategico-operativo di luoghi identitari per la comunità sul territorio. L'obiettivo in questo caso è restituire luoghi per lo sviluppo e rafforzamento della comunità locale partendo da elementi e punti d'interesse già presenti, con l'obiettivo di riqualificarli – fra questi si individua come fondamentale la riattivazione dello storico cinema di quartiere (Fig. 18) – e di crearne di nuovi.

La necessità di interventi per la gestione delle acque diviene occasione di riattivazione urbana associata a elementi di potenziale attrattività. Non solamente il sistema resiliente impara a convivere e a mediare situazioni di rischio, ma è capace di trarre da tale situazione l'opportunità per innescare nuove dinamiche di crescita. I livelli di intervento sovrapposti, individuando azioni strettamente legate alle specifiche necessità del luogo, cooperano alla creazione di una strategia d'azione sinergica e multilivello (Fig. 19). Tale strategia si sviluppa a livello micro-urbano all'interno delle specifiche sub-aree operative individuate, in cui le azioni di attivazione, prevenzione ed emergenza si sviluppano secondo le caratteristiche dello specifico livello d'intervento e, contemporaneamente, si integrano nella creazione di una definizione strategica per ogni area (Fig. 20).

**Conclusioni** – Consapevoli che la pianificazione strategica che deriva dall'utilizzo di dati open source e crowd-sourced sia legata al contesto spaziale

tanto quanto a quello temporale, si ritiene importante sottolineare che il progetto, inteso come dispositivo concettuale e strategico, guidato e aperto, rappresenti la risposta a un fermo immagine di quello che è un flusso continuo e ininterrotto di informazioni, in questo caso una fotografia datata luglio 2018. Il presente contributo delinea una strategia che, affidandosi alla percezione degli utenti e fruitori dei servizi locali, non ricerca la redazione di un Master Algorithm (Fusero, Massimiano, Tedeschi and Lepidi, 2013) risolutivo, in cui ogni punto è ottimamente vicino a ogni servizio, ma utilizza i dati per sviluppare un intervento mirato e intrinsecamente connesso all'area e ai suoi utenti. Il contributo apportato dall'introduzione di dati in formato open source e crowd-sourced è stato proprio quello di favorire una lettura e comprensione più approfondita dell'area di intervento e delle necessità e potenzialità a livello locale e sistemico, permettendo un ripensamento del processo di analisi e previsione strategica.

A causa della privatizzazione di molte informazioni da parte delle agenzie, che conservano per sé i dati provenienti dai propri social network, si è stati costretti alla lettura manuale di tali dati che, seppure immessi spontaneamente in rete dagli utenti, sono di proprietà privata. Anche per questo motivo la replicabilità della ricerca non è assoluta o immediata. Non sarà possibile utilizzare lo stesso algoritmo in un nuovo progetto: bisognerà definire le peculiarità locali con accortezza ricercando di volta in volta realtà, servizi e social network più utilizzati. La metodologia analitico-sintetica (e analitico-sistemica) di raccolta e sovrapposizione di livelli, rete e punti nodali intersecati, di informazione tendenziale e intenzionale, è il contributo che più risulta interessante per future applicazioni. Il progetto cerca di quindi porsi come spunto per future applicazioni, suggerendo che i data, generati da cittadini (crowd-sourced data) o rilevati da sensori, si dimostrano strumenti utili per il disegno e la gestione urbana. La progettazione data driven può assumere un ruolo rilevante all'interno di processi decisionali e di gestione del rischio, favorendo lo sviluppo di sistemi resilienti, tramite l'incremento delle informazioni relative al territorio e la capacità di previsione, favorendo la costituzione di una comunità locale attiva e consapevole.

#### ENGLISH

Since February 2017 about 400 hours of video have been uploaded to the YouTube platform every minute. In the same year active users on Instagram reached eight hundred million, while Facebook reached two billion active users. Human interactions have shifted, or rather expanded on online platforms, in which opinions are expressed, stories and information of all kinds shared: nowadays we live in two parallel and interconnected realities. The central theme is how the opportunities of interaction and sharing of information offered by the virtual world can change and influence our behaviors, the way we live, and consequently also the way we analyze and design our cities. Which role can this uninterrupted flow of information spontaneously uploaded to the network have? How can it be used?

The UN has established a dedicated organ, the UN Global Pulse (2016), which aims to understand the possible uses of this huge amount of information, in order to place it at the base of global

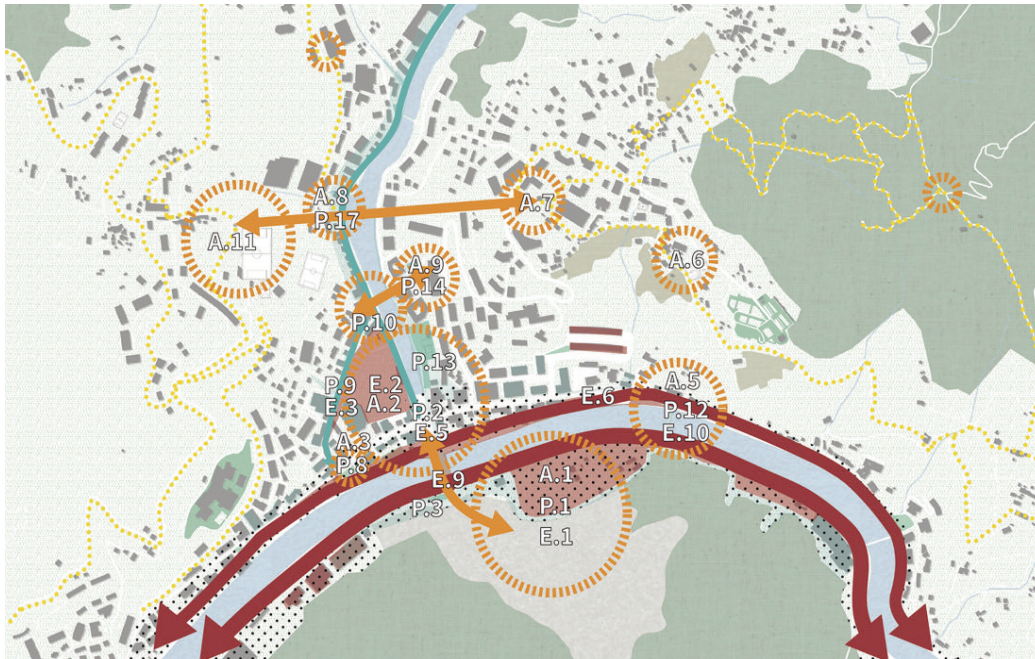


Fig. 11 - Re-connection strategy of the urban tissue and areas of prevention and management (A: attractivity, E: emergency; P: prevention). Map of points of intervention according to the attraction: A.1 Ex-cava Via Adamoli; A.2 Ex-area Boero; A.3 Cinema Nazionale; A.5 Ristorante 'Patanegra'; A.6 Chiesa N. S. Assunta; A.7 Ingresso Acquedotto; A.8 Acquedotto; A.9 Via A. Sertoli; A.11 Pino Sottano; Emergency Management: E.1 Ex-cava Via Adamoli; E.2 Ex-area Boero; E.3 Passo Cadèi Rissi; E.5 Largo P. Boccardo; E.6 Via Molassana; E.9 Ponte A. Fleming; Prevention: P.1 Ex-cava, Via Adamoli; P.2 Largo P. Boccardo; P.3 Ponte A. Fleming; P.8 Cinema Nazionale; P.9 Passo Cadèi Rissi; P.10 Via E. Bernardini; P.12 Ponte N. Cavalletti; P.13 Giardini G. Falco; P.14 Via A. Sertoli; P.17 Acquedotto.

Fig. 12 - Historical aqueduct of Molassana in a picture dated 25 may 2018.

progress, regulating its use and exploitation by private companies and governments, thanks also to the continuous publication of reports about new researches on the subject. Among the first and most relevant initiatives in the architectural field is Open Architecture Network<sup>1</sup>, an online service founded by Architecture for Humanity, which allows open source sharing (Open Knowledge, 2015) of innovative and sustainable projects within a community interested in collaborating in the improvement of project ideas and allowing their repeatability. Research in this field has multiplied over the years: a pioneering role was certainly played by MIT, which conducts research on the collection and management of data for fifteen years within the Senseable City Lab.

Open-Data and Multi-Level Urban Strategic Vision – The research<sup>2</sup> presented here aims to mediate between the field of urban analysis and its practical application, proposing a rethinking and innovation of the urban planning process in the direction of a better reading and comprehension of the territory and of the society, in real-time, combining traditional thematic, multi-layer IT and online open-data cartography. The project combines the results obtained by Andrea Galli (2014), which analyze the territory thanks to parametric reading tools for data in Open Source format, with the analysis of social networks, used by Carlo Ratti (2014a) in his research conducted at MIT Senseable City lab, in order to return an experimental application project within an area of relatively small size, but which in the future may applied to larger and more complex realities. The project is part of Data-informed design, different from Data-driven design (a term that refers to a strategy or an activity which finds its origin and its engine in a series of data, collected with the aim of orienting the

development of new and more efficient services, products, processes and organizational methods), since it is mediated and oriented by the knowledge of the designer and his capacity for strategic, environmental, landscape and perceptive synthesis. If today's cities are effectively characterized by the ability to collect, process and produce information, defined not only by a physical architecture but also by their own «information architecture» (Berardi, 2015; Fig. 1), it becomes essential to question the consequences that this produces both on the definition of urban strategies and on their representation.

The Data-town (Fig. 2), an intentionally extreme vision by MVRDV (1999), makes clear and immediate the understanding of how diagrams, information flows and collective behaviors also influence the constitution of the physical city. In this context, the representation of complex and multiple information in real time takes on a fundamental character: the diagram, by selecting specific data, represents in itself a design choice. The Data-informed vision (Fig. 3) uses data just as one of the factors needed within the decision-making process (Deutsch, 2011), supported by traditional tools of analysis, visualization and comprehension, managed by the designer himself. Therefore we can speak of «battle maps» (Gausa et alii, 2003, p. 82) destined to orient dynamic and open processes, guided by qualitative variables, which strengthen the territorial potential (working as an interactive network between systems) and mitigate the criticalities in points and areas of strategic-tactical priority intervention. From this last approach derives the mixed strategy used within this research which, despite its roots in the analysis of open source data, read with parametric softwares, distances itself from the 'futuristic' forms usually linked to these tools and from the visions in which the project is identified in a reiterated process of

definitions and adjustments between parameters and elements relationships (Burry, 2007).

The presented project makes deeper reflection on the contribution provided by information technologies to the resilient, adaptive and flexible city which, in case of dramatic events or repeated stress situations, is able to react, learn and improve itself. Among the multiple definitions of urban resilience, one particularly interesting is that provided by the public-private partnership 100 Resilient Cities<sup>3</sup> according to which: «Urban resilience is the capacity of individuals, communities, institutions, businesses, and systems within a city to survive, adapt, and grow no matter what kinds of chronic stresses and acute shocks they experience». If the contemporary city can be assimilated to a complex ecosystem, as Crawford Holling introduced in 1973 describing the ecological resilience, where different forces, organisms and elements contribute to a general equilibrium – or disequilibrium – the above description introduces the ability of the system not only to reorganize itself but to learn and grow despite adversities. In this context, the ability to collect and process information in real time offers the opportunity to build a memory, to have a comparison with instant and past data; at the same time, the possibility of sharing and accessing information on crowd-sourced portals allows citizens and local communities to play an active part in the urban processes both in ordinary and emergency situations.

Application of the parametrical representation – During the analytical phase the projet uses parametrical tools as a support to the definition of the intervention strategy on the area of Molassana, Genova's neighborhood. The Grasshopper's plugins allow, through the construction of an algorithm, to visualize most of the typologies of datasets in an

open source format, however it is not able to identify the intervention's approach, which still needs the involvement of a designer. To set up an urban strategy answering to an emergency was required a selection and a hierarchy of the analyzed online datas, because the open source format of them. The analysed datas directly influence the final result (Galli, 2015), this means that to obtain a meaningful result, that can give a useful content it is necessary to make the right questions (Ratti, 2014b). Because of this, the representation's methods and shapes (Candito, 2016) chosen are several and not always aligned to the usual methodologies, as it appears, for example, in the adoption of the exploded in the monometrical axonometric, which allows to preserve the real shape of the plan's layers (Fig. 4) useful to avoid distortion inbetween the represented directions.

Parametrical tools and strategic urban vision – In order to have an in-dept system description, thorough a large geo-referentiate information, morphological and social, economical, environmental (Galli, 2015) information are necessary; this is the reason why in this research data from social networks have been used (Fig. 5). Social networks allow, using tags, the localization of information, which can be overlapped to the morphological ones. The approach is based on a continuous comparison between analysts and synthesis in order to integrate thematic cartography, which can be downloaded in the online portal of public administration (in this example we used Geoportale, by Regione Liguria), with data obtained by the tracking of online platforms, social and crowd-sourced. Always maintaining this double-vision in 'cartography-information', the process of strategical anal-

ysis has been divided in three layers: the system of infrastructures and accessibility, the system of local attractivity, and the system of idrogeologica risk. In these layers, traditional cartography has been supported by data shared by users on online platform such as: OpenSreetMap.org<sup>4</sup> and Wiki-LOC<sup>5</sup>, which have information about accessibility; Flickr, Instagram and TripAdvisor to know about local attractivity; Mugugnapp<sup>6</sup> for idrogeologica emergency.

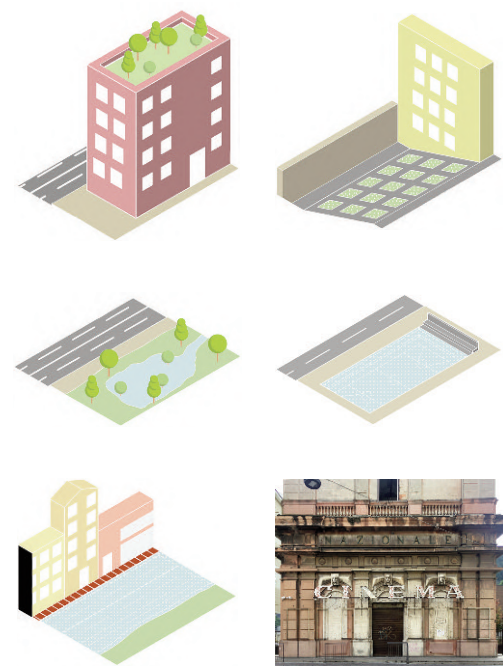
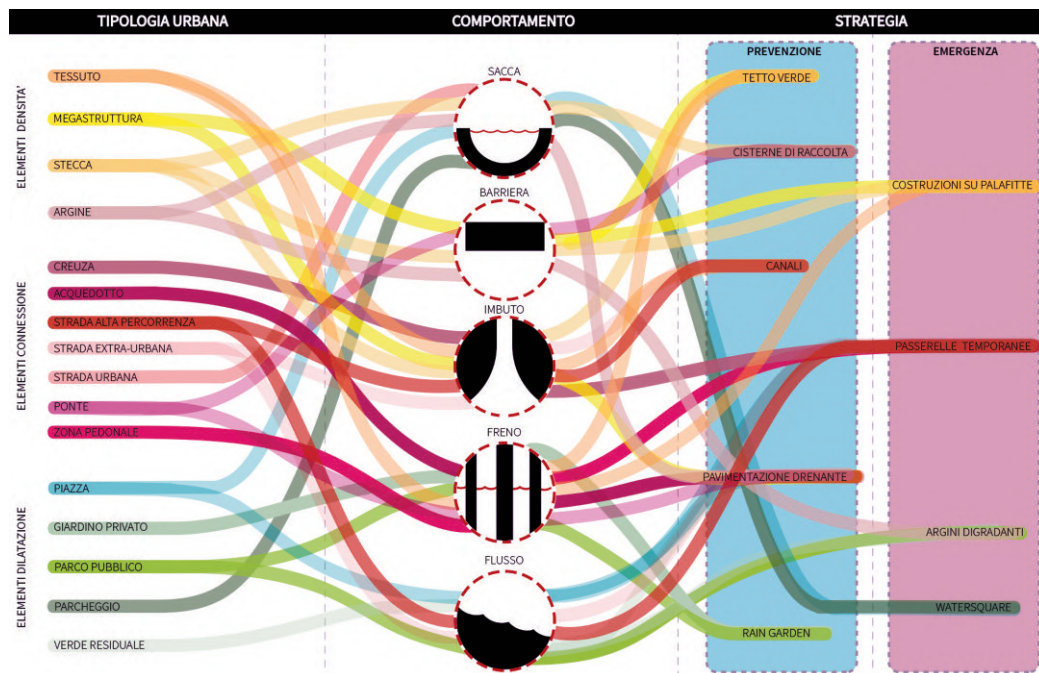
A vectorial base is essential to represent the plan of the territory, this has been obtained thanks to the OpenSreetMap.org portal. It allows the download of vectorial maps of the interested area. The Elk<sup>7</sup> plugin for Grasshopper permit to insert in the algorithm the downloaded file, which contains both vectorial information, about the morphology of the area, and a meta-data structure. This two informations combined permit to catalogue, divide and diversify of geometries. Various layers have been overlapped, each one obtained by thematic cartography of the public administration, containing information about the use destination of buildings, services located on the area (Fig. 4) and hydrogeological problems. One of the benefits of this procedure is the opportunity to download a new and a more recent version of the map, with the passing of time and the chaining of local informations. The result of this process is a mixed vectorial and meta-data model, statically represented, but constantly updatable. The representations have been elaborated from this model, permitting a simplified reading (Figg. 6-8), but at the same time giving back the idea of the complexity on the territory of Molassana.

The analysis and study of information coming from social networks need a different approach. In-

formation shared by users, who becomes first physical sensor in the territory, can be related to the above-mentioned ones, with processes which mostly can be more complex and change according to the used tools. Social networks don't give to their users the opportunity to download information in order to connect it with a prepared algorithm. Online readings are necessary and characterized by sketchy visualizations. We can consider, as an explicative example, the number of photos uploaded in Flickr in the selected area, not only for their beauty, or the precise position, but for the amount of it. This information can be meaningful to know which places are most popular and emotionally significant for the users of the social network, which used photos to keep a memory of it. It is possible to say that geolocalization creates dynamics maps of the social processes (Ratti, 2014a), activated on the place.

Also Instagram, working with key words, allows to get quite precise information about the place where pictures has been shot. TripAdvisor, the third analyzed platform for the attractivity, gives back information, frequently updated, about the presence on the area of services and restaurants. Mixed readings of data, both qualitative and quantitative, usually are the best possible approach because quantitative data question on the why, answers best given by the qualitative data (Trueheart, 2012). The information we can obtain thanks to the online interactions of the users aren't just whims of the project, but can, as we presented here, be used as a real help to the planning design process (Fusero, Massimiano, Tedeschi and Lepidi, 2013).

Molassana: a case study in Regione Liguria – The



Graph. 1 - Study of possible interventions on the territory to the strategy defined for every typology according to the urban morphology and hydric behavior. Three macro-typologies of urban elements: density elements (urban tissue, megastructure, embankment), connective elements ('creuza', aqueduct, highway, extra-urban roads, urban roads, bridge, pedal area) and expansion elements (squares, gardens, parks, parkings, green areas). every element found on the site is related to the behavior of the runoff. The five behaviors can be identified with: bag (a large pace which contains a big amount of water; which takes long times for evaporating causing problems to existing structures); wall (this element avoids the runoff of the water); funnel (this element canalize water making the runoff more dangerous); flux (it allows the sliding of the water, it is usually identified with highways). Each of these behaviors is related to a preventive action (such as green roofs, cisterns, draining pavement, canals, Rain gardens) or an emergency action (Watersquares, embankments, temporary paths, piles building).

Fig. 13-17 - Intervention Schemes of the prevention strategy: Green Roof; Draining Pavement; Rain Garden; Watersquare; Temporary Floating Paths (The SuDS Manual).

Fig. 18 - Abandoned cinema in Molassana (May 2018).

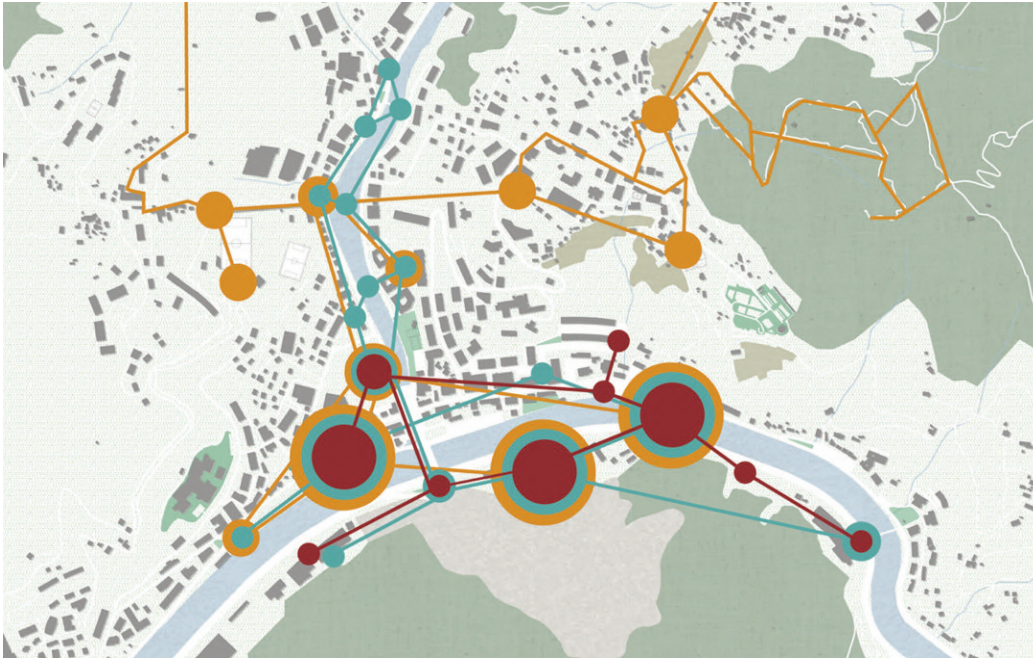


Fig. 19 - Overlapping of the three intervention layers: attractivity in orange, prevention in green, management of the emergency in red. In the scheme are identified principal points of intervention for every layer, when they are overlapped we can obtain synergic points where functions of management of hydrogeological risk and urban regeneration co-operate.

Next page. Fig. 20 - Example of synergic working between elements of preventive layer (tasks, draining pavement in green), emergency (floating paths in red) and urban reactivation (sport field and aggregative places in orange).

genovese neighborhood of Molassana (Fig. 9) has been chosen as an applicative example for the good availability of data in the area, which allows, together with the reduced dimension of it, a simplified management of the whole set of information. The neighborhood is presented as an interesting case study because of many factors: First it shows the presence of critical points both in the hydrogeological and social frameworks; the social problem is mainly linked to the lack of services for citizens, together with the bad connection with the city center of Genova. Secondly the neighborhood, such as the whole area of Val Bisagno, is subject of studies led by the University of Genova, testing here some solutions for risk prevention and management, thanks to European projects such as, for example, Flood-serv, developed thanks to the Horizon 2020 European program. The history of Municipio IV Val Bisagno has always been characterized by dangerous floods of the Geirato steam (Bompani, 2016), mainly caused by downpours in the area of Molassana, that can't be absorbed by the ground, nor kept inside the embankments of the steam, because of the progressive reduction of the riverbed due to the urban development (Fig. 10). In this area the problem has grown worse in the last years because of the progressive waterproofing of the ground and the interruption of big works presented for the risk prevention on local steams.

The methodological approach of basing the strategical analysis (scanned through three base levels such as mobility, attractivity, hydrogeological risk) on the integration between traditional cartography and qualitative data, which are voluntarily widespread by the population, allowed a deep rethinking of the analysis process and the strategical prevision of the territory both on the spatial point of view, linking it even more to the social and local context, both on the temporary one, giving back a constantly updated image of the ter-

ritory. A new «resiligente» (Andriani, Fagnoni and Gausa, 2017) system linked with strategical mesh, infrastructural-landscape ones, in networks and polar points of attractivity and urban resilience.

An interesting information coming from the OpenstreetMap and WikiLOC online portals is the speed of users, which travel on the different streets of Molassana. This information permitted to identify which of the streets are the most used, especially in order to identify the walking paths (Fig. 8). From this analysis appeared obvious how, together with roads connecting the neighborhood to the city center, some excursionistic paths are very used in some periods of the year. This is an important potentiality for this place, which is settled on the limit between city and country. These networks of paths intersect and/or start in important points, which coincide with polar points of attractions.

The cartographies concerning the flooded areas have been updated after the 2014 flood and can be downloaded in the Comune di Genova website in Shapefile<sup>8</sup> format, integrable to Geoportale data and information about the geometries already added to the reading algorithm. The places which are identified as a problem by online users can be detected thanks to the Mugugnapp, an online application created by the Geomorfolab of University of the studies of Genoa, as a part of the above mentioned European project called Flood-serv. The app allows to report of dangerous situations for daily use or for the management of flooding emergency. The data collected in this occasion are not enough to define an area which is felt as risky by the population, but can be a useful tool for supporting the daily management and periodical maintenance of the territory; in the prepared map (Fig. 8) is possible to see a representation of the detected situation. For the project the most frequent behaviors have been analyzed and defined – thanks to a parallel study of historic resources –

studying the runoff of the waters in relation to the urban and geographical settlements. For the attractivity level we used all the information about traditional services (schools, gyms, sports playgrounds, monuments, etc.) together with places used by the citizens as aggregation areas or nodes for social meetings appearing on the personal profile on social networks (Fig. 7).

Territorial strategies for multi-layer integration – Overlapping different layers of analysis (road, hydrogeological and attractive) with the information obtained from the social networks, it was possible to identify a wider and more defined network of intervention areas. At the same time, a qualitative description emerged that helped to establish and characterize each design strategy. Some places turn out to be very attractive even if there are no services or points of interest marked on the traditional thematic cartography. The reason is the presence of restaurants and bars on site, or because of periodic events and exhibitions. Other places, on the contrary, have been identified as problematic. The overlapping of information is shown in the strategical analysis plan (cfr. Fig. 6, where the difference between the presence of services in the area and the pictures obtained through social networks appears clearly).

The intervention strategy (Fig. 11) designed for the analyzed area has two main objectives: firstly, the management and treating of waters through a combined system for emergency prevention and response; and secondly, but just as important, the re-activation and requalification of some key points, coinciding with situations of attractiveness or problems within the studied urban reality. The reason for the great attention paid to these issues is determined by the specific territorial characteristics of Molassana, emerged and described in the analytical phase. The approach guideline developed is strictly linked to the potential strengths and weaknesses of the area, defining a combined strategy for the urban-landscape re-activation. While defining the strategy, we considered fundamental to divide it in different layers, as it has been important during the analytical phase. These layers are: territorial connection, flooding risk prevention and management, and social activation and re-activation.

The layer corresponding to the urban connectivity is based on the possibility of optimizing roads and pedestrian paths, both landscape and monumental (Fig. 12), through new multi-mesh trans-systems (transversal systems) intersected with the main urban and peri-urban points. This flexible and interconnected base, with different speeds and inter-relational uses, supports the new intertwined territory. The flooding prevention layer is based on the management of urban meteoric waters and consists of elements that increase the permeability of the urban ground, reducing the water runoff and its speed. The hydrogeological risk related to the flooding of streams has complex causes and consequences. The project addresses the issue of rain-water treatment at a local level, knowing that it's not possible to completely eliminate the risk of flood events. However, as highlighted in the document 'Guidelines on best practices for limiting, mitigating and offsetting soil sealing' written by the European commission (Commissione Europea, 2012), the waterproofing of the ground in built-up

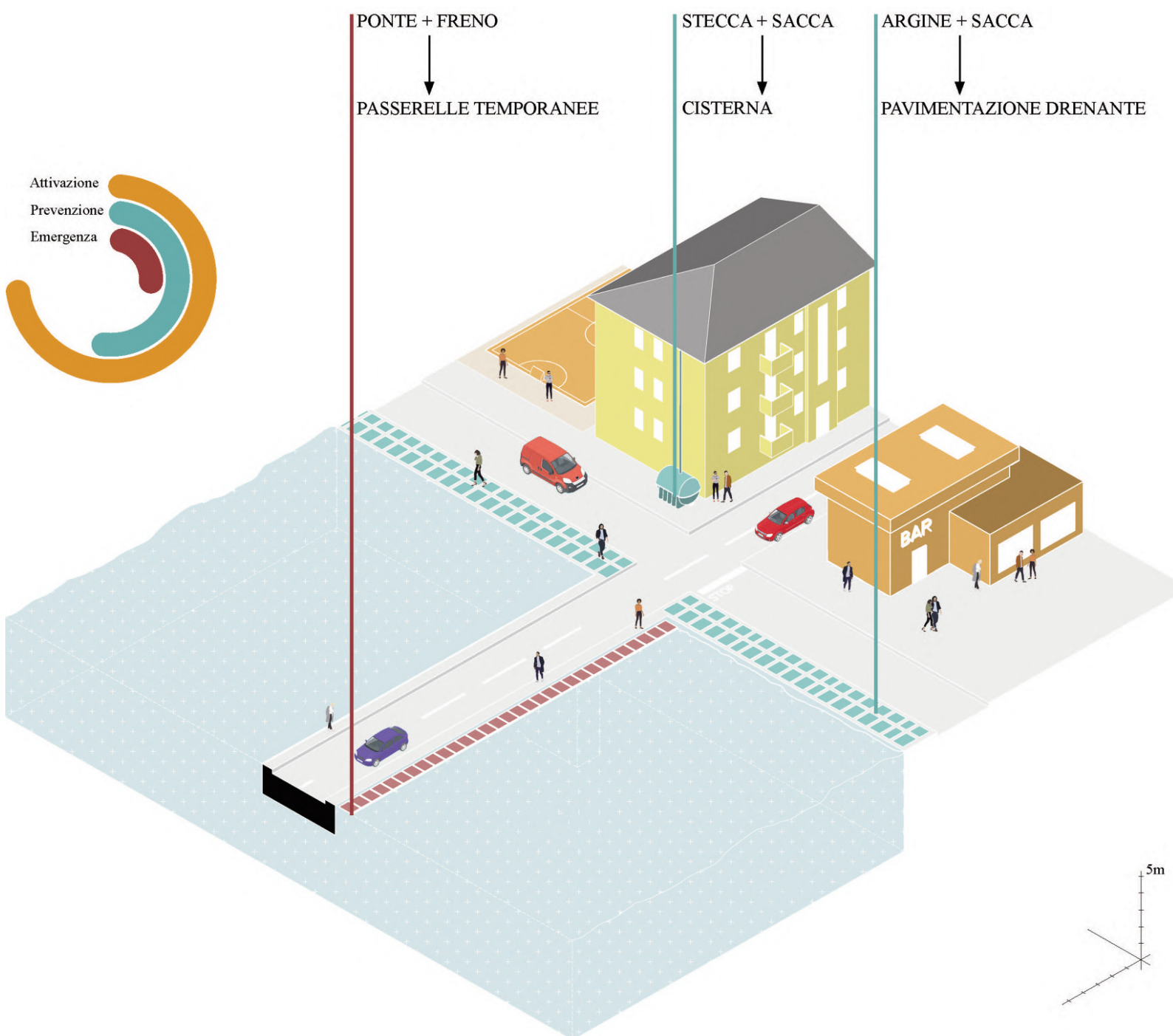
areas, especially in floodplains, increases flood risk and flood damage.

The design strategy integrates the need to control the enormous volumes of rain that flow into the growing urban areas with the opportunity of improving the quality of public spaces. A study was developed on the urban morphology and structure in relation with the behavior of the hydrographic system (Graph 1), determining an abacus of behaviors used as the basis for determining the application strategy. Three macro typologies of urban elements have been defined: density elements (urban fabric, megastructure, batten, embankment), connective elements ('creuza', aqueduct, high-distance roads, extra-urban roads, urban roads, bridge, pedestrian zone) and expansion elements (squares, private gardens, public parks, car parks, residual green areas). Every element on site has been related to the behavior of the water runoff. The five behaviors can be identified as: bag, a

place that gathers a big amount of water, with long evaporation times that often cause damages to the structures; barrier, an element that prevents water run-off; funnel, an element, or set of elements, that channel the waters, making the runoff more dangerous; brake, a set of flow resistance elements; and finally, flow, an element that allows the uninterrupted flow of water, often identified in highways. A specific preventive or emergency action was then associated with each type of element and behavior. Some preventive action are: the increase of green roofs (Fig. 13), the introduction of collection tanks, draining pavement (Fig. 14), canals and Rain gardens (Fig. 15), while among the emergency actions we find Watersquares (Fig. 16), sloping banks, temporary walkways (Fig. 17) and buildings on stilts. In order to determinate all the interventions we referred to the Sustainable Drainage Systems<sup>9</sup> (SuDS), and the related manual (Woods Ballard et alii, 2015).

The emergency management layer consists of elements that work only when the torrents' water level rises above the safety limit. It aims at helping the inhabitants who find themselves in danger during flooding creating safe routes, thanks to temporary floating walkway systems, or containing as much water as possible, creating safely flooded areas using elements such as Watersquares. The level of reactivation focuses instead on the strategic-operational reinforcement of important places for the community. The objective in this case is to return places to the people, in order to develop and strengthen the local community, starting from elements and points of interest already present with the aim of redeveloping them (among these, we highlight the reactivation of the historic neighborhood cinema represented in Fig. 18).

The need for water management interventions becomes an opportunity for urban reactivation associated with elements of potential attractiveness.



Not only the resilient system learns to coexist and mitigate risk situations, but it is also able to transform these situations into the opportunity to trigger new growth dynamics. The overlapped intervention layers identify actions strictly related to the specific needs of the place and cooperate in the creation of a synergistic and multilayer action strategy (Fig. 19). This strategy is developed at a micro-urban scale within the specific identified operating sub-areas, where the activation, prevention and emergency actions are developed according to the characteristics of the specific intervention layer and are integrated in the creation of a strategic definition for each area (Fig. 20).

Conclusions – We are aware of how much strategic planning, coming from the use of open source data and crowd-sourced data, is linked to the spatial context as much as the temporal one. We think it is important to highlight that the project, as conceptual and strategical device, being guided and open, the project represents the answer to a picture of the continuous and uninterrupted flux of information, in this frame the picture is dated July 2018. The present report defines a strategy which, relying on the perception of the locals and users, doesn't seek for a resolutive Master Algorithm (Fusero, Massimiano, Tedeschi and Lepidi, 2013), where every place is optimizely closed to every service, but a use of data to develop a focused intervention totally linked to the area of the case study and its users. The important changing given by the use of data in open source format and crowd-sourced format is to improve the comprehension of the intervention area together with the need and opportunities given by the zone at a local scale and at systemic scale, allowing a deep rethinking of the processes of analysis and strategical planning.

Because of the privatization of many information by private agencies, keeping for themselves data uploaded in social network, in this project we needed to read manually these data because they are privatized, even if spontaneously uploaded online by users. This is one of the reasons why the repeatability of this research isn't immediate. It will not be possible to use the same algorithm in a new project: it will be necessary to define precisely the local peculiarities recreating each time the local identity, finding out the most used services and social networks. The analytical-synthetic methodology based on collection and overlapping of layers, networks and intersection of points, and tendential and intentional information, the most interesting part for future applications. The project aims to be an inspiration for future uses, it suggests that data, created by citizens (crowd-sourced data) or collected by sensors, can be useful tools for urban design and urban management. The data informed approach to projects can assume a relevant role during the decision making and the management of the risk, improving the development of resilient systems, thanks to the increase of territorial intonation and to the prevision ability. This method promotes the construction of a more aware and active local population.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the paragraph 'Open-Data and

Multi-Level Urban Strategic Vision' is to be attributed to M. Gausa, the paragraph 'Application of the parametrical representation' is to be attributed to C. Càndito, the paragraphs 'Parametrical tools and strategic urban vision' and 'Molassana: a case study in Regione Liguria' are to be attributed to G. Sola, while the paragraphs 'Territorial strategies for multi-layer integration' and 'Conclusions' are to be attributed to M. Pitanti.

#### NOTES

- 1) For more information about Open Architecture Collaborative, visit the web site: <https://openarchcollab.org> [Accessed 18 January 2019].
- 2) The project is based on the research developed during a graduation thesis: Sola, G. (2018), *La rappresentazione dei dati Open Source per il progetto della città resiliente*, tutor C. Càndito, co-tutor M. Gausa and M. Pitanti, University of Genova, Scuola Politecnica, Dipartimento Architettura e Design, 19 July 2018.
- 3) This refers to the definition given by the private-public partnership; for more information, visit the web site: <http://www.100resilientcities.org> [Accessed January 2019].
- 4) OpenStreetMap.org creates and gives access to cartography information freely and open access.
- 5) WikiLOC is a social network based on the idea to share excursions paths, trekking and mountain bike ones.
- 6) Mughnapp is a local app, it is a project from Goemorpholab (laboratory of applied geomorphology) of University of Genova. It is part of the European project Floodserv (founding by Horizon 2020, convention number 693599): it aims to realize an open platform for flooding management.
- 7) Elk is a plugin for Grasshopper, used to generate topographical and road maps, using OpenStreetMap.org and Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) from Propulsion Laboratory di NASA/Jet.
- 8) Shapefile is a format used in many GIS systems, it was developed by Esri, to the purpose of increase the interoperability between ESRI and GIS systems. Nowadays it became a standard for obtaining spatial information in vectorial format.
- 9) These systems are largely use for alternative management of raining in UK and North Europe.

#### REFERENCES

Andriani, C., Fagnoni, R. and Gausa, M. (eds) (2017), *Med.net3 Resili(g)ence, Intelligent Cities/Resilient Landscapes, Conference Proceedings*, Papersdoc, Barcelona.

Berardi, A. (2015), *La città come architettura dell'informazione ed esperienza*. [Online] Available at: <https://www.trovabile.org/articoli/architettura-informazione-citta> [Accessed 19 December 2017].

Bompani, M. (2016), *Il rio Geirato padre di tutte le alluvioni*. [Online] Available at: <https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2016/02/18/il-rio-geirato-padre-di-tutte-le-alluvioniGenova07.html> [Accessed 20 January 2018].

Burry, J. R. (2007), "Mindful Spaces: Computational geometry and conceptual spaces in which designers Operate", in *International journal of architectural computing*, vol. 05, issue 04, pp 611-624.

Candito, C. (2016), *Modelli e immagini per la rappresentazione dell'architettura*, Aracne, Ariccia (RM).

Commissione europea (2012), *Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo*, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione Europea, Lussemburgo. [Online] Available at: [http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_it.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_it.pdf) [Accessed 20 April 2019].

MVRDV (1999), *Metacity/Datatown*, 010 publishers, Amsterdam.

Deutsch, R. (2015), *Data-driven Design and Construction: 25 strategies for capturing, analyzing, and applying building data*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Galli, A. (2015), "Progettazione parametrica della città attraverso gli open data", in *Urbanistica Informazioni*, Special issue IX, pp.37-40.

Galli, A. (2014), "Tools and methods for parametric urbanism", in Tedeschi, A. (ed.), *AAO-Algorithm Aided Design*, Le penseur, Brienza (PZ), pp. 478-481.

Gausa, M., Guallart, V., Muller, W. and Prat, R. (eds) (2003), *Hicat Research Territorie*, Actar, Generalitat de Catalunya, GENCAT, Barcelona.

Geoportale, Regione Liguria. [Online] Available at: <https://geoportale.regione.liguria.it> [Accessed January 2018].

Holling, C. S. (1973), "Resilience and Stability of Ecological Systems", in *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 4, pp. 1-23.

Fusero, P., Massimiano, L., Tedeschi, A. and Lepidi, S. (2013), "Parametric urbanism: A new frontier of Smart City", in *Planum, the Journal of Urbanism*, n. 27, vol. 2, pp. 1-13.

Open Knowledge (2015), *Open Definition 2.1*. [Online] Available at: <https://opendefinition.org> [Accessed 18 January 2019].

Ratti, C. (2014a), *Decoding the city: urbanism in the age of big data*, Birkhouser, Basilea.

Ratti, C. (2014b), *Smart city, smart citizen*, Egea, Milano.

Trueheart, E. W. (2012), *Building institutional capacity for data-informed decision making*, vol. 3, Public Agenda, New York. [Online] Available at: [https://www.achievingthedream.org/sites/default/files/resources/ATD\\_CuttingEdge\\_No3.pdf](https://www.achievingthedream.org/sites/default/files/resources/ATD_CuttingEdge_No3.pdf) [Accessed 18 January 2019].

UN Global Pulse (2016), *Integrating Big Data into the Monitoring and Evaluation of Development Programs*. [Online] Available at: [http://unglobalpulse.org/sites/default/files/IntegratingBigData\\_intoMEDP\\_web\\_UNGP.pdf](http://unglobalpulse.org/sites/default/files/IntegratingBigData_intoMEDP_web_UNGP.pdf) [Accessed 18 January 2019].

Woods Ballard, B., Wilson Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. and Kellagher, R. (2015), *The SuDS Manual*, CIRIA, London.

<sup>a</sup> CRISTINA CÀNDITO, Associate Professor at the University of Genova (Italy), Polytechnic School, Department of Architecture and Design. Principal research and interest theme are linked to analogical and digital drawing for architecture and urban design, visual modeling and descriptive geometry, integrative real and virtual spaces, representation and communication of accessibility in public spaces. E-mail: [candito@arch.unige.it](mailto:candito@arch.unige.it)

<sup>b</sup> MANUEL GAUSA, Full Professor at the University of Genova (Italy), Polytechnic School, Department of Architecture and Design. Main research and interest themes are linked to urban design, urban and territorial strategic prospection, landscape as environmental and territorial infrastructure, interactive public space, resilience and smart cities. E-mail: [mgausa@arch.unige.it](mailto:mgausa@arch.unige.it)

<sup>c</sup> MATILDE PITANTI, Phd student at the University of Genova (Italy), Polytechnic School, Department of Architecture and Design. Main research themes concern about urban-natural systems, interactive and intelligent public space, flooding management, urban design and active and interactive public space for the resilient city. E-mail: [matilde.pitanti@gmail.com](mailto:matilde.pitanti@gmail.com)

<sup>d</sup> GIULIA SOLA, Doctor in Architecture at the University of Genova (Italy), Polytechnic School, Department of Architecture and Design. Main interest themes are linked to interactive and intelligent public space, architecture for flooding management, communications and representation of project. E-mail: [giulia.sola.gs@gmail.com](mailto:giulia.sola.gs@gmail.com)

Reviews Article

design

## LE TIPOLOGIE D'INNOVAZIONE NEL DESIGN ANALISI CRITICA DI UNA RELAZIONE COMPLESSA

### DESIGN INNOVATION TYPOLOGIES A CRITICAL ANALYSIS OF A COMPLEX RELATIONSHIP

Cabirio Cautela<sup>a</sup>, Lucia Rampino<sup>b</sup>

#### ABSTRACT

*In letteratura si trova la descrizione di numerose tipologie di innovazione del prodotto. Nel presente articolo vengono specificamente analizzate le tre tipologie design-driven che paiono maggiormente consolidate e diffuse in letteratura: i) l'innovazione estetica; ii) l'innovazione d'uso; iii) l'innovazione di significato. Pur non escludendo sovrapposizioni e complementarità, ognuna di esse si concentra su un aspetto specifico dell'innovazione di un prodotto. Tali specificità nel tempo non hanno consentito la formulazione di un modello teorico integrato capace di raccordarle e di esprimere le relazioni logiche e funzionali tra esse. L'articolo – attraverso una sistematica analisi della letteratura degli ultimi 30 anni – si propone di identificare un 'modello di teorico' orientato, da un lato, ad esprimere i driver specifici di alcune tipologie di innovazione e, al tempo stesso, di comporre in un quadro unitario le diverse tipologie di design in cui talune vengono considerate come antecedenti logici e strumentali rispetto ad innovazioni di ordine e natura superiore.*

In literature, many types of product innovation are described. In this article, we analyse the three design related innovation typologies that seem most discussed and agreed upon: i) aesthetic innovation; ii) innovation of use; iii) meaning innovation. While allowing overlaps and complementarities, each typology focuses on a specific aspect of product's innovation. Over time, such specificities prevented the formulation of an integrated theoretical model able to connect them together and express logical and functional relations among them. In this article – through a systematic analysis of the literature of the last 30 years – we aim to identify a theoretical model that underlines the specific drivers of any innovation typology, at the same time composing them in a coherent framework in which some are considered logical and instrumental antecedents with respect to higher level of innovation.

#### KEYWORDS

*teorie dell'innovazione, innovazione di prodotto, innovazione estetica, innovazione d'uso, innovazione di significato*  
innovation theories, product innovation, aesthetic innovation, innovation of use, meaning innovation

Nella letteratura incentrata sulle teorie dell'innovazione, sull'innovazione tecnologica e sul design del prodotto, sono descritte numerose tipologie di innovazione. Dopo una prima fase di concettualizzazione, nella quale l'innovazione di prodotto era intesa come fortemente legata al miglioramento delle prestazioni e all'aggiunta di funzionalità (Cooper, 1990; Christensen, 2013; Eppinger and Ulrich, 1995), negli ultimi dieci anni la letteratura sul design ha contribuito ad ampliare in maniera significativa il focus del discorso. Tale letteratura riconosce oggi tre principali tipologie di innovazione di prodotto: i) l'innovazione estetica; ii) l'innovazione d'uso; iii) l'innovazione di significato (Rampino, 2011). Anche se queste tre tipologie non escludono sovrapposizioni e complementarità, ognuna di esse presenta caratteristiche che la rendono peculiare (Rindova and Petkova, 2007).

Nell'innovazione estetica, è l'aspetto del prodotto che si differenzia in maniera significativa rispetto ai prodotti della concorrenza. Da sempre, le industrie dei settori moda e arredo sono le più legate a questa tipologia di innovazione. La innovazione d'uso si concentra invece sul modo in cui un prodotto può essere utilizzato. Le sue radici possono essere rintracciate negli studi sull'ergonomia e sulla Human Computer Interaction. Prodotti quali attrezzature industriali, elettrodomestici, oggetti per la prima infanzia e utensili da cucina ne sono alcuni dei principali campi di applicazione. Infine, il designer può ridefinire il significato del prodotto, inteso come la ragione per la quale il prodotto viene acquistato (Verganti, 2009, 2017). L'innovazione di significato è relativa agli aspetti emozionali e simbolici: intorno al prodotto si costruiscono infatti storie, marchi, status symbol, comunità e senso di appartenenza. Questa tipologia di innovazione è oggi trans settoriale, spaziando dagli accessori moda fino ai videogiochi e alle apparecchiature da ufficio. Partendo da una revisione sistematica della letteratura, abbiamo definito un modello concettuale che mette in relazione tra loro i diversi filoni di letteratura analizzati, e di conseguenza, le tre tipologie di innovazione individuate. Il modello è esplicitato in una matrice a doppia entrata i cui assi sono formati dalle due leve che, da sempre, rappresentano le competenze specifiche che il designer mette al servizio delle aziende nella progettazione dei nuovi prodotti: il linguaggio e il modo d'uso del prodotto.

*Analisi della letteratura* – Per oltre trent'anni, la teoria dell'innovazione ha assunto come campo prioritario d'indagine l'innovazione tecnologica, intesa come il miglioramento costante delle funzionalità e delle performance di un oggetto fisico (Nelson and Winter, 1977; Cooper, 1990; Christensen, 2013). In tale costruzione teorica, il design viene spesso relegato al ruolo di 'form giver', ovvero a occuparsi di elementi ritenuti ancillari rispetto al processo d'innovazione (Eppinger and Ulrich, 1995).

L'incremento del valore simbolico dei sistemi d'offerta e dei contenuti esperienziali di questi ultimi (Holbrook and Hirschman, 1982), insieme all'impiego sempre più massiccio del design come leva competitiva in numerosi settori industriali, ha contribuito all'introduzione del concetto di una tipologia di innovazione non guidata dalla tecnologia o dal mercato, bensì dal design (Verganti, 2008). Ciononostante, l'approccio pre-paradigmatico legato alla ricerca sul design (Cross, 1984, 1993, 2001, 2011; Cross, Dorst and Roozenburg, 1992) non ha consentito la formulazione di un unico modello teorico di innovazione di design, né tantomeno l'identificazione di costrutti univoci utili per edificare un'impalcatura teorica coerente e coesa al proprio interno. La creazione di una costruzione teorica univoca viene resa ancor più complicata dai seguenti due fattori: lo scambio continuo che la disciplina del design intrattiene coi campi disciplinari di prossimità (es. la gestione dell'innovazione, l'antropologia culturale e gli user studies, le tecnologie della produzione industriale); la varietà delle etichette utilizzate nel territorio dell'innovazione di design (Design-Driven Innovation, Design Centric Innovation, Design-led innovation, o la più ampia Design Related Innovation).

Al di là della varietà semantica, all'interno del campo disciplinare del design è possibile oggi individuare una certa concordanza tra gli studiosi nell'identificare tre principali tipologie d'innovazione di prodotto: i) l'innovazione estetica; ii) l'innovazione d'uso; iii) l'innovazione di significato (Rampino, 2011). Queste tre tipologie vantano la presenza di una serie di contributi teorici finalizzati a chiarirne i principi di fondo, l'ambito specifico d'intervento, le pratiche d'ispirazione. Inoltre, sono numerosi gli studiosi che hanno legato strutturalmente ciascuna tipologia d'innovazione a specifici settori industriali. Meno numerosi appaiono invece i contributi che tentano di con-



nettere le singole tipologie innovative in un quadro sistematico coerente. Da qui, la volontà degli autori di mettere in rilievo le specificità di ciascuna tipologia d'innovazione per poi provare a conletterle in un framework teorico unico e coerente.

*L'innovazione estetica (o di stile)* – La prima tipologia d'innovazione è centrata sull'estetica del prodotto. Essa è il risultato di una nuova interpretazione formale il cui scopo è rendere il prodotto diverso, ovvero immediatamente riconoscibile e, di conseguenza, attraente. Per raggiungerla, il designer manipola le caratteristiche morfologiche quali la forma, il colore, la finitura, i materiali, la relazione tra le parti (Chen and Owen, 1997). L'innovazione estetica è tipica dei settori in cui le funzionalità del prodotto sono ben definite e il ruolo dell'innovazione tecnologica è limitato. I settori della moda, dell'arredo e degli oggetti per la casa sono a questo riguardo archetipici: in essi, a periodi di fermento nello stile, si alternano periodi di convergenza stilistica (Cappetta, Cillo and Ponti, 2006). L'innovazione estetica è stata anche definita 'innovazione di linguaggio' (Verganti, 2003) o 'innovazione semiotica' (Peirce, 1991), in riferimento alle infinite possibilità espressive di una lingua. Si pensi, a questo riguardo, al testo *Esercizi di Stile* di Raymond Queneau (1983), nel quale la medesima storia è raccontata novantanove volte, ogni volta in uno stile differente. Allo stesso modo, i designer sono portatori della capacità di manipolare i codici stilistici di un prodotto. La letteratura maggiormente diffusa nell'ambito di questa tipologia di innovazione ha concentrato la propria attenzione su tre ambiti specifici: i) le dinamiche di formazione e diffusione degli stili (Cappetta, Cillo and Ponti, 2006; Bandinelli et alii, 2013); ii) i processi di ricerca e le strategie competitive relative all'innovazione stilistica (Tran, 2010; Cillo and Verona, 2008; Dell'Era et alii, 2011); iii) la relazione tra innovazione estetica del prodotto e le politiche competitive di branding (Karjalainen, 2007; Karjalainen and Snelders, 2010).

Relativamente al primo ambito, la formazione degli stili sembra essere caratterizzata da periodi di fermento stilistico – in cui vi è una proliferazione e una accentuata eterogeneità nella ricerca di nuovi linguaggi da parte delle imprese – cui seguono periodi di selezione (spesso sulla base delle risposte del mercato) e convergenza su taluni codici espressivi che contribuiscono a formare pattern stabili e ricorrenti noti come 'trend'. Mentre i primi studi centrati sull'evoluzione e la diffusione degli stili sono emersi nell'area del 'fashion system' (Barthes, 1983), oggi lo studio evolutivo dei linguaggi e degli stili investe ecosistemi industriali come quello della casa, dell'elettronica di consumo, dell'automotive, riconoscendo che anche in tali ambiti la produzione del valore può essere connessa alla generazione di nuovi linguaggi di prodotto. In linea generale, l'estetica dei prodotti tecnici acquista maggiore importanza via via che le tecnologie diventano mature (Fig. 1); questo perché l'aspetto esteriore offre alle aziende un modo alternativo di differenziarsi (Eisenman, 2007; Eppinger and Ulrich, 2005).

Il secondo ambito d'indagine connesso all'innovazione dei linguaggi riguarda i processi e le strategie competitive connesse. Lo stile dei propri prodotti, per le imprese di diversi settori, è sinonimo di posizionamento competitivo e identità di

marca. Esistono imprese che fanno leva sull'eterogeneità stilistica per intercettare la varietà e la variabilità delle preferenze dei diversi segmenti di mercato, così come esistono imprese che investono in un DNA stilistico omogeneo rendendolo un fattore di riconoscibilità e differenziazione (Dell'Era and Verganti, 2007; Simoni, Cautela and Zurlo, 2014). L'orientamento alla varietà o alla coerenza di linguaggio è funzione dell'approccio alla ricerca stilistica (Cillo and Verona, 2008). Esistono infatti organizzazioni in cui i processi di ricerca e sperimentazione risultano fortemente 'identity based' – imprese tendenzialmente nate ed evolute intorno alla figura di uno stilista-imprenditore o designer-imprenditore. In questo caso, la ricerca di nuovi linguaggi è il risultato di una continua sedimentazione che fa leva su materiali e archivi interni all'azienda. Di contro, esistono imprese fortemente 'market driven' in cui il cambiamento di linguaggio risente di salti e variazioni anche radicali da un anno all'altro; tali imprese sono caratterizzate da una rapida flessibilità produttiva e da posizionamenti variabili in funzione delle tendenze di mercato.

Nel terzo ambito di studio, infine, viene assunto come oggetto d'analisi la relazione tra il linguaggio della marca e i segni specifici associati ai prodotti. Pur assumendo che le marche parlano attraverso i segni dei prodotti (Semprini, 1999), negli anni esse tendono a creare un 'territorio di marca' quasi autonomo rispetto ai prodotti. Tale territorio, se da un lato rappresenta un vincolo allo sviluppo di nuovi linguaggi, dall'altro è la fonte dalla quale i designer derivano gli elementi visivi ed estetici (i cosiddetti 'visual cues') per connotare il linguaggio dei nuovi prodotti. Esistono infatti marche come Volvo, Ikea, Nokia, o Missoni (Fig. 2), in cui l'evoluzione del linguaggio dei prodotti è fortemente ancorata a un sistema di codici di marca che rappresentano invarianti sempre presenti, anche se attualizzate e modernizzate (Karjalainen, 2007).

*L'innovazione d'uso* – La seconda tipologia d'innovazione è relativa a quanto il prodotto migliora o modifica il proprio modo d'uso, anche con l'aggiunta di nuove funzioni, rispetto ai prodotti già presenti sul mercato. Nel corso della storia del design, numerosi sono i contributi che hanno sottolineato come il compito del designer, nel momento in cui progetta la forma di un prodotto, sia quello di renderne esplicite le funzioni e il modo d'uso (Dreyfuss, 1967; Papanek, 1983; Bürdek, 2005; Desmet and Hekkert, 2007). Di questo tema si occupano specifici filoni di letteratura nel campo del



Fig. 1 - Aesthetics details of the Galaxy S series of mobile phones, Samsung.

design, dell'ergonomia e della Human Computer Interaction (HCI). Analizzando questi tre filoni, ne emergono due concetti principali, tra loro collegati: il concetto di 'affordance' e quello di 'usabilità'.

Il concetto di affordance è stato introdotto nel 1979 dallo psicologo statunitense James Gibson nel testo dal titolo *Un Approccio Ecologico alla Percezione Visiva*. Per questo motivo, tutta la letteratura sull'affordance si concentra quasi esclusivamente sugli stimoli visivi. Gibson definisce 'affordance' l'insieme delle proprietà di un oggetto (sia esso naturale o artificiale) che rendono possibili determinate azioni su di esso da parte di un organismo opportunamente equipaggiato. Un esempio classico è quello di una scala: essa consente agli esseri dotati di gambe (o zampe) di salire e scendere su di essa. Per come inteso originariamente da Gibson, il concetto di affordance si concentra sul fatto che l'azione da compiere sia possibile, indipendentemente dal fatto che essa sia percepibile o meno da parte di un essere vivente (uomo o animale che sia). Se questo approccio è comprensibile nel campo della psicologia, il cui scopo è analizzare uno stato di fatto, esso appare invece limitante nel campo del design, il cui scopo è modificare lo stato di fatto per migliorarlo.

Il concetto introdotto da Gibson è stato successivamente elaborato da Norman (1988), che per primo lo ha introdotto nel campo del design di prodotto, e da Gaver (1991), che lo ha invece applicato alla progettazione delle interfacce uomo-macchina. Al fine di superare la limitazione insita nel concetto originario di affordance, Gaver (1991) introduce le 'perceptual information' (informazioni percettive): l'azione sull'oggetto non solo deve essere 'possibile', ma deve anche essere chiaramente 'percepibile' da parte dell'utente. A questo scopo, è necessario che il progettista incorpori nell'oggetto le necessarie informazioni percettive, tramite le quali può essere raggiunto l'obiettivo della 'facilità d'uso'. Più tardi, Norman renderà ancora più esplicita la differenza tra il concetto originario di affordance di Gibson e il concetto nel frattempo diffusosi nel campo del design, definendo quest'ultimo 'perceived affordance'.

Il concetto di usabilità, sviluppatosi nell'ambito delle discipline ergonomiche, estende il concetto di facilità d'uso: l'usabilità si concentra infatti non solo sulla facilità dell'interazione tra il prodotto e l'utente, ma anche sulla qualità del risultato raggiunto tramite tale interazione. Per poter parlare di usabilità, quindi, l'azione sul prodotto non solo deve essere possibile e ben comunicata, ma deve anche risultare efficace, efficiente e soddisfacente (Anselmi, 2004). La 'qualità' d'uso che ne deriva dipende dunque dal rapporto che un utente specifico ha con il prodotto, con le sue caratteristiche, le sue modalità di utilizzo, la sua sicurezza e la sua affidabilità. In generale, l'innovazione d'uso è molto utilizzata come leva competitiva nei settori merceologici i cui prodotti prevedono un'intensa interazione con l'utente, come ad esempio gli utensili da lavoro e da cucina (Fig. 3), le apparecchiature da ufficio, i prodotti per l'infanzia. Un'azienda italiana che dedica molta attenzione all'innovazione d'uso dei propri prodotti è Inglesina, oggi leader a livello internazionale nella produzione di carrozzine e passeggini che si possono aprire e chiudere utilizzando una sola mano. Foppa Pedretti è un altro esempio di azienda che punta sull'innovazione d'uso: i prodotti de-



Fig. 2, 3 - Home Textiles by Missoni Home; Chop2Pot Chopping Board by Joseph Joseph.

dicati alle attività domestiche (stirare, lavare i panni, dare da mangiare ai bambini, etc.) nascono da un'attenta osservazione di tutte le azioni compiute dall'utente (Fig. 4). Il risultato è una grande attenzione agli aspetti di usabilità del prodotto, sia durante l'uso sia nel momento in cui deve essere riposto (Bettiol and Micelli, 2006).

Pare utile a questo punto chiarire la differenza tra il termine 'uso' e il termine 'funzione', spesso erroneamente utilizzati come sinonimi. La 'funzione' riguarda l'operatività del prodotto, ciò che il prodotto è in grado di fare, e rientra dunque nel campo d'azione dell'ingegneria. Il concetto di 'uso' implica invece una dimensione culturale e sociale che rientra nel campo d'azione del design: un'innovazione d'uso può infatti non modificare in alcun modo la funzione del prodotto, ma solo la modalità di interazione dell'utente con esso. Norman (2004) definisce 'comportamentale' questo livello del design. Un esempio per chiarire la differenza tra funzione e modo d'uso è il bicchiere Smoke (Fig. 5) progettato da Joe Colombo, nel quale la funzione principale del bicchiere, ovvero il contenimento di un liquido, non subisce variazioni. Ciò che cambia è il modo d'uso: questo bicchiere può essere sostenuto con due dita, offrendo così la possibilità di reggere con la medesima mano anche una sigaretta. Il contesto culturale in cui questo prodotto è stato ideato è quello degli anni Sessanta, quando l'abitudine di fumare era ampiamente accettata e, anzi, era segno di emancipazione. Nel contesto culturale odierno, che pone invece molta enfasi sui temi della salute e della qualità della vita, un bicchiere del genere non sarebbe accolto favorevolmente. È quindi importante sottolineare che anche questa seconda tipologia d'innovazione, come l'innovazione estetica, è fortemente legata a valori culturali e sociali del contesto a cui si riferisce.

*L'innovazione di significato* – Parafrasando la famosa frase utilizzata da Krippendorff nel suo *The Semantic Turn* (2005), «design is making sense of things», recenti studi sulle teorie dell'innovazione hanno costruito intorno al design un vero e pro-

prio paradigma teorico (Verganti, 2008; 2009; 2017). Accanto alle vecchie teorie dell'innovazione in cui i driver del cambiamento di prodotto consistevano rispettivamente nel mercato e nella tecnologia (Dosi, 1982), è emerso dunque il concetto di Design-Driven Innovation (DDI), intesa come modello d'innovazione centrato sul significato degli oggetti. La DDI non si limita ad alterare il modo d'uso, la tecnologia o l'estetica dei prodotti, ma assume come oggetto del cambiamento il loro significato, definito da alcuni come la motivazione d'acquisto (i.e. la 'reason why') del prodotto, da altri come l'essenza dell'esperienza d'uso (Verganti, 2017). La letteratura maggiormente diffusa su tale paradigma ha centrato l'attenzione su tre elementi principali: 1) la relazione tra il significato di prodotto e le strategie d'impresa; 2) le dinamiche di formazione dei significati dei prodotti; 3) il ruolo dei designer nel processo d'innovazione 'guidato dal design'.

Il primo ambito di studi ha teso a individuare e perimetrare il campo dell'innovazione della DDI, ottenendo come risultato la considerazione del design come leva competitiva e strategica per l'impresa (Kotler and Rath, 1984). Essendo il significato degli oggetti legato alla motivazione d'acquisto, appare evidente come il cambiamento di quest'ultima impatti direttamente sulle logiche competitive tra le aziende, sui loro modi di competere e sui registri culturali di un'industria (Rindova, Dalpiaz and Ravasi, 2011). Aziende come Swatch, Alessi o Technogym – per citare alcuni casi a supporto di tale modello – hanno creato nuovi significati nelle loro rispettive industrie agendo su nuovi driver d'acquisto e di uso dei beni. Alessi, intercettando ciò che stava accadendo nel mondo della cucina, ha connotato gli attrezzi della cucina con nuovi significati legati all'industria dei giocattoli e ai beni relazionali (Fig. 6); Swatch ha allontanato l'orologio dal mondo dei gioielli, riposizionandolo sul mondo degli accessori (Fig. 7); infine Technogym, interpretando la crisi del body building agli inizi degli anni Novanta, ha connotato le attrezzature da palestra con i nuovi significati legati al benessere fisico e mentale (Fig. 8). Nel tempo,

l'approccio design-driven all'innovazione ha permeato numerosi settori, tra loro anche distanti, alterandone le dinamiche competitive, riscrivendo le regole del gioco e i fattori d'ingaggio dell'utente. Gli esempi vanno da Philips (azienda operante in diversi settori del medicale) a Intuit (produttore di software per la contabilità).

Il secondo ambito di studio d'interesse sulla DDI riguarda la dinamica di formazione dei significati. A tal proposito appare interessante sottolineare come: a) i significati si formano in capo all'utente, ovvero non è l'impresa che crea direttamente nuovi significati attraverso la DDI (il ruolo dell'impresa è quello di proporre letture alternative agli standard culturali dominanti, letture che possono essere o meno recepite dal mercato); b) raramente la generazione dei nuovi significati è il risultato dello sforzo di una singola organizzazione. La creazione di significati si presenta infatti, il più delle volte, come un processo collettivo (i.e. 'design discourse') a cui partecipano diverse 'voci', spesso estranee alle industrie in cui s'intende attivare il cambiamento. Tali voci, essendo avulse dai registri culturali dominanti, riescono ad andare alla radice della 'reason why' degli oggetti, ponendola in discussione e proponendone il superamento.

Tale dinamica collettiva si collega infine al terzo nucleo d'interesse di tale approccio all'innovazione. Il processo di DDI viene descritto come lontano dall'approccio dello 'user centered design', lontano dai meccanismi della generazione multipla di idee e delle iterazioni continue tipiche del Design Thinking (Brown, 2008; Martin, 2009), dal pensiero 'abduittivo' (Fann, 2012) e dal reframing del problema progettuale (Dorst, 2011). Il processo di DDI è caratterizzato da una forma ermeneutica del pensiero, da una tendenza alla critica dello status quo che, da sempre, avvicina il design all'arte. Tale critica mette in discussione il 'perché' e l'essenza degli oggetti, include interpreti esterni al recinto dei settori industriali, trae le informazioni necessarie per innovare dai segnali deboli che provengono dalla società, pur se non riferiti direttamente all'oggetto di cui si vuole cambiare segno e significato. Inoltre, la DDI coinvol-

ge gli utenti 'alla fine' e non 'durante' il processo d'innovazione, utilizzandoli come tester dei nuovi codici culturali che propone.

In conclusione, se nelle due precedenti tipologie d'innovazione il designer appare come l'attore chiave del processo, in questa terza tipologia il designer diventa il traduttore di una serie di indicazioni di natura strategica (tendenzialmente identificate da un imprenditore o dal top management) in elementi estetici e d'uso che veicolano il significato desiderato (Verganti, 2003). Il designer diventa dunque responsabile della traduzione di una visione strategica in artefatto materiale e in tale traduzione agisce come 'broker' di linguaggi e registri culturali tra industrie diverse (Ravasi, Rindova, and Dalpiaz, 2012; Hargadon and Sutton, 1997).

Alla ricerca di un raccordo tra le tipologie d'innovazione – I filoni di letteratura sopra richiamati, nell'identificare le specificità relative alle diverse tipologie d'innovazione, sono spesso rimasti autonomi e poco comunicanti tra loro nello spiegare le relazioni tra le tipologie stesse. In altri termini, come spesso accade, lo sviluppo di teorie e modelli privilegia la coerenza interna a scapito dei principi di inclusività ed esaustività (Kuhn, 2012). A tal proposito, viene qui proposto un modello concettuale capace di mettere in relazione i diversi filoni di letteratura evidenziando i raccordi – implicitamente rilevati in letteratura o funzionali – tra le diverse tipologie d'innovazione. Il modello proposto è esplicitato in una matrice a doppia entrata i cui assi sono formati da: i) il linguaggio, che può essere scelto dall'impresa e dal designer come elemento da innovare, in rottura con il linguaggio dominante sul mercato, o al contrario può essere lasciato inalterato, adattandosi allo stile correntemente più diffuso; ii) il modo d'uso, che può replicare quello previsto dai prodotti sul mercato, oppure può essere oggetto di un cambiamento specifico (Fig. 9).

I due assi della matrice sono stati così selezionati per due ragioni. La prima ragione è che si tratta degli ambiti privilegiati di controllo del designer. In altri termini, contrariamente all'innovazione di significato che spesso assume un ruolo strategico, talvolta manageriale e/o imprenditoriale, l'estetica e il modo d'uso sono territori di ricerca e sperimentazione tipicamente presidiati dal designer in prima persona. La seconda ragione è che l'innovazione di significato viene qui proposta come area d'innovazione 'derivata', sia perché i significati rappresentano entità intangibili non direttamente controllabili dall'attore progettuale e/o dall'attore produttivo, sia perché, alla luce di taluni studi, essa viene interpretata come risultante di una combinazione di più aree dello sviluppo prodotto. La matrice, pertanto, mette in luce la presenza di quattro aree: 1) l'area del re-design; 2) l'area dell'innovazione estetica o di stile; 3) l'area dell'innovazione del modo d'uso; 4) l'area dell'innovazione di significato.

L'area del re-design è l'area della non innovazione. Si presenta spesso come un'area il cui unico obiettivo è rinfoltire il portafoglio prodotti di un'impresa attraverso operazioni di 'allungamento', estensione o 'trading up' di una categoria di prodotto (Cooper Edgett and Kleinschmidt, 2001). Il portafoglio prodotti diventa insieme il contesto e il vincolo principale per il progetto, rendendo le attività di esplorazione, sperimentazione e ricerca



Fig. 4 - Octopus Clothes rack by Foppapedretti.

di nuovi linguaggi o modi d'uso poco significative. Il re-design è guidato prevalentemente da logiche di natura commerciale come l'emersione di un nuovo segmento di mercato cui indirizzare una nuova versione di prodotto o da opportunità di natura tecnologica in cui l'avvento di un nuovo standard impone la riprogettazione del prodotto, senza intaccarne lo stile o modo d'uso, al fine esclusivo di allungarne la vita utile (Otto and Wood, 1998).

L'area dell'innovazione estetica è intesa come area di rottura rispetto ai codici linguistici correnti. In tal senso, il vettore dell'innovazione del prodotto diventa la ricerca di nuovi codici linguistici. Tale pratica può avere diversi fattori di spinta: i) l'introduzione di una innovazione tecnologica radicale (Rindova and Petkova, 2007; Simoni, Cautela and Zurlo, 2014; Cautela and Simoni, 2013) in cui il nuovo linguaggio del prodotto assume funzione segnaletica, ovvero di messa in scena delle superiori caratteristiche performative del prodotto; ii) l'emersione di nuovi modelli socio-culturali, in cui il nuovo linguaggio assume il ruolo di dar voce a espressioni culturali emergenti, provenienti dai mondi dell'arte, della cultura visiva, del cinema, della produzione multimediale; iii) la nascita di nuovi modelli economici (come per esempio la sharing o la circular economy) in cui il nuovo linguaggio assume il ruolo di indurre nuovi comportamenti sociali e culturali.

L'area dell'innovazione d'uso ricopre il versante di innovazione dell'architettura di prodotto, e – come detto – riguarda tutti quei prodotti nei quali la qualità d'uso è una leva d'acquisto fondamentale, come ad esempio: utensili da lavoro e da cucina, prodotti elettrodomestici, apparecchiature professionali e da ufficio, prodotti per l'infanzia, prodotti medicali per gli anziani. Nella storia del design – in particolare nord-europeo – spesso è questa l'area d'intervento considerata prioritaria: si pensi al noto assioma 'form follows function' (coniato dall'architetto americano Louis Sullivan alla fine del XIX secolo e poi divenuto il leit-motiv del movimento moderno), in base al quale la forma del prodotto è l'esito di scelte improntate esclusivamente al tema della funzionalità e dell'uso.

A partire dagli anni Ottanta, questa tradizione di pensiero funzionalista è stata assorbita nel movimento dello user-centered design (UCD). Il termine user-centered design è stato introdotto dal gruppo di ricerca guidato da Donald Norman presso l'Università della California e si è diffuso a livello internazionale dopo la pubblicazione del testo *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction* (Norman and

Draper, 1986). In base ai principi dello UCD, il ruolo del designer è quello di facilitare per l'utente lo svolgimento di qualunque attività implichi l'interazione con un prodotto, assicurandosi che il prodotto non consenta e non suggerisca usi impropri, e che l'utente non debba compiere sforzi eccessivi per capire come usarlo correttamente. In questo caso, dunque, il driver principale del processo di progettazione è l'osservazione diretta dell'utente, o addirittura – in tempi più recenti – il suo coinvolgimento in un processo di co-design, al fine di coglierne i bisogni non pienamente soddisfatti (Rubin, 1994; Abras, Maloney-Krichmar and Preece, 2004). Infine, l'area di innovazione del significato viene qui intesa come la risultante dell'interazione delle due aree di innovazione precedentemente riferite all'ambito estetico e al modo d'uso. La letteratura centrata sull'innovazione di significato individua in modo esplicito lo stile (definito anche linguaggio del prodotto) come il veicolo che trasferisce al mercato il nuovo significato (Verganti, 2008, 2009). In tale filone di letteratura, il linguaggio viene considerato un mezzo, uno strumento per convogliare i nuovi significati degli oggetti.

Pur accettando tale prospettiva, la matrice propone l'innovazione di stile sia come area fine a sé stessa, oggetto di attività di ricerca e sperimentazione specifiche, sia come vettore per affermare un cambiamento di significato. I casi citati in precedenza – Swatch, Alessi e Technogym – rappresentano esplicite manifestazioni in cui il cambio di significato è stato veicolato da un cambio di linguaggio rispetto ai registri di segno dominanti nelle rispettive industrie. Tuttavia, la maggioranza dei casi citati in letteratura (Verganti, 2017) non vengono riconosciuti solo per la stretta relazione tra innovazione di stile e proposta di nuovi significati. Nei casi sopra citati, cui possono aggiungersi altri esempi come Nintendo Wii, Vibram Five Fingers (Fig. 10) e Yankee Candle, si modifica anche la modalità d'uso dei prodotti, intesa in senso lato. Possiamo quindi affermare che l'abilitazione di nuovi significati raramente passa in maniera esclusiva attraverso la proposta di un nuovo stile. Nella maggioranza dei casi, al contrario, forma e modo d'uso vengono impiegati come vettori complementari per innovare il significato degli oggetti. Nel caso di Swatch, ad esempio, ciò che si modifica è l'occasione d'uso dell'orologio, non più inteso come oggetto formale e 'immutabile'. A partire dagli anni Ottanta, Swatch propone infatti collezioni che si adattano agli stili della moda, secondo l'idea che indossare orologi diversi sia come cambiare la cravatta («watch as a tie», cit. in Verganti, 2017). Technogym propone – accanto a nuovi stili di macchinari e attrezzi – la diffusione di nuovi contesti in cui allenarsi (l'ambiente domestico per esempio) o nuovi stili di allenamento (maggiormente legati al fitness, al benessere e meno alla vecchia cultura del body building). Nella stessa maniera, Nintendo Wii non viene riconosciuta unicamente per aver alterato lo stile delle grafiche dei videogame – rendendoli caricaturali – o della consolle, ma soprattutto per aver introdotto un ingaggio nuovo dell'utente, che è di natura sociale – di interazione vis-à-vis con altri players – e fisico, in cui ogni gioco prevede attività di coinvolgimento di diverse parti del corpo.

La matrice quindi, oltre a riconoscere l'innovazione estetica e l'innovazione d'uso come aree autonome, le contempla come complementari: la

loro combinazione genera l'effetto di produrre innovazione a una scala 'superiore' e strategica, riconosciuta in letteratura come innovazione di significato. Quando si parla di innovazione, è sempre importante ricordare che non sempre la novità di un prodotto si traduce in effettivo vantaggio competitivo per le aziende. È infatti noto che, quando la forma di un prodotto risulta altamente inusuale – come esito della ricerca di un nuovo linguaggio o di una nuova modalità d'uso – l'utente ha difficoltà a mappare il prodotto all'interno di una categoria esistente. La conseguenza più ovvia è che il prodotto venga rigettato. A questo riguardo, Krippendorff (2005) cita il famoso MAYA Principle coniato da Raimond Loewy, in base al quale il designer deve sempre cercare di proporre ciò che è «Most Advanced Yet still Acceptable». Tale principio riconosce la presenza di categorie di prodotto ben delimitate e suggerisce che i confini di tali categorie possono essere modificati, ma che questo richiede da un lato la collaborazione di tutti i molteplici attori del 'design discourse', dall'altro un adeguato investimento strategico in attività di comunicazione e lancio del prodotto sul mercato da parte delle aziende.

**Conclusioni** – In questo articolo abbiamo inteso fare il punto su un tema (quello del ruolo del design nei processi di innovazione del prodotto) che può ormai contare su un numero corposo di riferimenti di letteratura, non solo nell'ambito del design, ma anche in campi disciplinari limitrofi. Partendo da una analisi della letteratura degli ultimi

trent'anni, abbiamo individuato le tre tipologie di innovazione più significative – estetica, d'uso e di significato – per poi definire un modello concettuale che metta in relazione tra loro i diversi filoni di letteratura analizzati, e di conseguenza, le tre tipologie di innovazione suddette. Il modello è esplicitato in una matrice a doppia entrata i cui assi sono formati da due leve, da sempre complementari nel bagaglio professionale del designer: il linguaggio del prodotto e il suo modo d'uso. Ad oggi, questo ragionamento si basa su argomenti e casi studio presenti in letteratura. È nostra intenzione consolidarlo tramite la raccolta di un numero significativo (30-40) di esempi di innovazioni di significato, per provare a testare la coerenza di questi esempi con la matrice da noi proposta.

Infine, è nostra intenzione ampliare questo ragionamento, inserendo nel quadro il tema del Design Thinking. Quest'ultimo – inteso come un approccio strutturato all'innovazione di prodotti – copre oggi in maniera indifferenziata tutte le sopracitate tipologie d'innovazione. Per questo motivo, ci siamo chiesti se una specifica tipologia di innovazione possa invece rappresentare un driver sufficiente per guidare un processo creativo contestualizzato. In altre parole, è possibile ed utile adattare il Design Thinking alla matrice qui descritta? Ad oggi, il nostro suggerimento ai designer e alle aziende che intendano innovare i propri prodotti, è quello di utilizzare percorsi d'innovazione coerenti che colleghino ciascuna tipologia di innovazione a strumenti e a modelli di ragionamento specifici.

#### ENGLISH

*The literature focused on innovation theories, technological innovation and product design, describes various types of innovation. After a first phase of conceptualization, in which product innovation was understood as strongly linked to improving performance and adding functionality (Cooper, 1990; Christensen, 2013; Eppinger and Ulrich, 1995), in the last ten years the Design literature contributed to significantly broaden the focus of the discourse. Today, this literature recognizes three main typologies of product innovation: i) aesthetic innovation; ii) innovation of use; iii) meaning innovation (Rampino, 2011). Although these three innovation types allow overlapping and complementarities, each of them also presents its own distinctive features (Rindova and Petkova, 2007).*

*In the aesthetic kind of innovation, it is the appearance of the product that differs significantly from competitive ones. The industries in the fashion and furnishing sectors are the most tied to this type of innovation. Instead, the innovation of use focuses on how a product can be manipulated by the user. Its roots can be traced down in ergonomics and Human Computer Interaction (HCI) studies. Products such as industrial equipment, appliances, objects for infants and kitchen tools are some of its main fields of application. Finally, the designer can redefine the meaning of the product, understood as the 'reason why' the product is purchased (Verganti, 2009, 2017). Meaning innovation relates to emotional and symbolic as-*



Fig. 5, 6 - Smoke Glass, designed by Joe Colombo for Arnolfo di Cambio; Anna G bottle screw, designed by Alessandro Mendini for Alessi.

pects: stories, brands, status symbols, communities and a sense of belonging are built around products. To date, this type of innovation appears trans-sectoral, ranging from fashion accessories to video games and office equipment. Starting from a systematic literature review, we have defined a conceptual model that relates the different strands of literature, and consequently, the three identified innovation typologies. The model is translated into a double-entry matrix whose axes are the two levers that represent the specific skills that the designer puts at the service of companies when designing a new product: the product's language and its mode of use.

**Literature Review** – For over thirty years, innovation theory has taken technological innovation as a priority field of investigation, describing it as the constant improvement of the functionality and performance of a physical object (Nelson and Winter, 1977; Cooper, 1990; Christensen, 2013). In this theoretical discourse, design is often relegated to the role of 'form giver', or to deal with elements considered ancillary to the innovation process (Eppinger and Ulrich, 1995).

In more recent years, the constant growth in the supply systems' of symbolic values and experiential contents (Holbrook and Hirschman, 1982), together with the increasingly massive use of design as a competitive lever in many sectors, has contributed to the emergence of an idea of innovation not driven solely by technology or by the market, but even by design itself (Verganti, 2008). Nevertheless, the pre-paradigmatic approach typical of design research (Cross, 1984, 1993, 2001, 2011; Cross, Dorst and Roozenburg, 1992) did not allow the formulation of a single theoretical model of design-driven innovation, nor it did allow the identification of a univocal construct useful to formulate a coherent theoretical framework around it. The creation of a univocal theoretical construction was made even more complicated by the following two factors: the continuous exchange that the design discipline maintains with neighbour disciplinary fields (e.g. innovation management, cultural anthropology and user studies, manufacturing technologies); the variety of labels used in the area of design innovation (Design-Driven Innovation, Design Centric Innovation, Design-led innovation or the broader Design Related Innovation).

Nevertheless, beyond the semantic variety, within the disciplinary field of design there is today a certain agreement among scholars in identifying three main product innovation typologies:

i) aesthetic innovation; ii) innovation of use; iii) meaning innovation (Rampino, 2011). These three innovation typologies rest on a number of theoretical contributions aimed at clarifying their basic principles, their specific field of intervention, their inspirational practices. Moreover, numerous scholars have structurally linked each innovation typology to specific industrial sectors. On the other hand, sporadic are the attempts to connect the three innovation typologies into a coherent framework. To fill this literature gap, we decided to first highlight the specificities of each innovation typology and then to connect them into a consistent framework.

**Aesthetic (or stylistic) Innovation** – The first type of innovation centres on the aesthetics of the product. It is the result of a new formal interpretation whose purpose is to make the product different, that is immediately recognizable and, consequently, attractive. To achieve this kind of innovation, the designer manipulates the product's morphological attributes, such as the shape, the relationship among parts, the colour, the finishing, the materials (Chen and Owen, 1997). Aesthetic innovation is typical to the sectors where product functionalities are already well defined and the role of technological innovation is limited. The fashion, furniture and furnishing sectors are archetypal in this respect: in them, periods of stylistic convergence alternate to periods of 'ferment' in style (Cappetta, Cillo and Ponti, 2006). Aesthetic innovation was also defined 'language innovation' (Verganti, 2003) and 'semiotic innovation' (Peirce, 1991), referring to the endless expressive possibilities of language. In this regard, we make reference to the text *Exercise in Style* by Raymond Queneau (1979), in which the same story is told ninety-nine times, each one in a different style. Similarly, designers have the ability to manipulate endlessly the stylistic codes of a product. The most widespread literature in the field of aesthetic innovation has focused on three specific areas: i) the dynamics of formation and diffusion of styles (Cappetta, Cillo and Ponti, 2006; Bandinelli et alii, 2013); ii) the research processes and the competitive strategies related to stylistic innovation (Tran, 2010; Cillo and Verona, 2008; Dell'Era et alii, 2011); iii) the relationship between aesthetic innovation and competitive branding policies (Karjalainen, 2007; Karjalainen and Snelders, 2010).

In the first area, the development of styles seems to be marked out by periods of stylistic effervescence – with a noticeable heterogeneity in the launch of new languages by companies – followed

by periods of languages' selection (often based on the response by the market) and convergence towards a limited number of expressive codes determining recurrent patterns known as 'trends'. Not surprisingly, the first theories on styles' evolution and diffusion emerged in the area of 'fashion studies' (Barthes, 1983). Today, such studies are common in several manufacturing ecosystems (e.g. furniture and furnishing, consumer electronics, automotive) recognizing that also in these areas the value generation can be connected to the introduction of new product languages. In general, the aesthetics of technical products becomes more important as technologies become mature (Fig. 1); this is because appearance offers companies an alternative way to differentiate themselves (Eisenman, 2007; Eppinger and Ulrich, 2005).

The second area of investigation concerns the design processes and the connected competitive strategies. In many sectors, product language is for companies a synonymous with competitive positioning and brand identity. There are companies that rely on stylistic heterogeneity to pick up the varied preferences of market segments, just as there are companies that invest into a homogeneous stylistic DNA, making it an element of recognition and differentiation (Dell'Era and Verganti, 2007; Simoni, Cautela and Zurlo, 2014). The choice between language's variety or coherence is the result of the company's approach to stylistic research (Cillo and Verona, 2008). There are indeed organizations whose language's experimentation processes are strongly 'identity based'. In many cases, these companies have been developed around the figure of a designer-entrepreneur. For this reason, the search for new languages is the result of a continuous sedimentation built on the company's memories and stylistic archives. On the other hand, there are 'market driven' companies whose language is marked out by leaps and (sometimes radical) variations from year to year. Production flexibility and a variable positioning that depends on market trends, are typical strengths of these companies.

Finally, in the third field of study, the main focus of analysis is the relationship between the brand language and the specific products' signs. Even if we agree that brands speak through the signs of their products (Semprini, 1999), we should recognize that, over the years, they tend to create a 'brand territory' that is almost independent from products. On the one hand, this territory represents a constraint to the development of new languages; on the other hand, it is the source of visual and aesthetic references (the so-called



Fig. 7 - Watches' Collection by Swatch.

Fig. 8 - Equipment for home fitness by Technogym.



'visual cues') to connote the language of any new product. There are indeed brands like Volvo, Ikea, Nokia, and Missoni (Fig. 2), in which the evolution of the products' language is strongly anchored to a system of invariant codes that are always present, even if updated and modernized (Karjalainen, 2007).

**Innovation of Use** – The second type of innovation relates to how much a product improves or modifies its usage, even with the addition of new functions, in comparison to products already existing on the market. Throughout the history of design, several authors emphasized that, when designing the form of a product, the designer's task is to make its functions and usage explicit (Dreyfuss, 1967; Papanek, 1983; Bürdek, 2005; Desmet and Hekkert, 2007). This topic is debated in specific literature strands in the fields of design, ergonomics and Human Computer Interaction (HCI). Analysing these three strands, two main and related concepts emerge: 'affordance' and 'usability'.

The concept of affordance was first introduced in 1979 by the American psychologist James Gibson in his famous book *An Ecological Approach to Visual Perception*. For this reason, the entire literature on affordance focused almost exclusively on visual stimuli. Gibson defines 'affordance' as the set of properties of an object (be it natural or artificial) that makes certain actions on it possible by an appropriately equipped organism. A classic example is that of a staircase that allows organisms equipped with legs to climb it up and down. As originally intended by Gibson, affordance focuses on the possibility of an action to be taken by an organism, regardless such action being clearly perceivable or not. If this approach is understandable in the field of psychology, which purpose is to analyse the state of affairs, it appears unfitting for the field of design, whose purpose is to modify such current state to improve it.

Gibson's concept of affordance was then expanded upon by Norman (1988), who was the first to make it relevant to the field of product design, and by Gaver (1991), who applied it to the design of human-machine interfaces. In order to overcome the limitations of the original concept, Gaver (1991) introduced the idea of 'perceptual information': the action on the object has not only to be 'possible', but also clearly 'perceptible' by the user. To this end, it is necessary for the designer to incorporate the needed perceptual information into the object. This way, the goal of 'ease of use' can be achieved. Later on, Norman made the distinction between Gibson's original concept of affordance and the concept adopted in the meantime by the field of design even more explicit, defining the latter as 'perceived affordance'.

The concept of usability, developed in the field of ergonomics, expands the idea of 'ease of use': usability concentrates not just on the ease of interaction between the product and the user, but also on the quality of the result achieved through such interaction. In order to reach usability, the action on the product has to be possible, well communicated and also effective, efficient and satisfying (Anselmi, 2004). A product's 'quality' of use depends therefore on the relationship that a specific user has with it, with its features, its mode of use, its safety and its reliability. In general, innovation of use is widely applied as a competitive

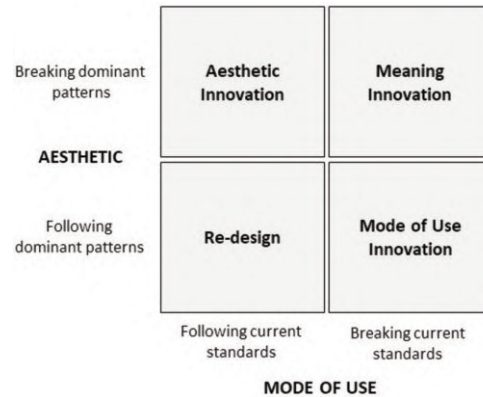


Fig. 9 - Matrix of Design Driven Innovation Typologies.

lever in the manufacturing sectors whose products provide intense interaction with the user: working and kitchen tools (Fig. 3), office equipment, products for childhood and so on. An Italian company that pays much attention to innovation of use is Inglesina, today an international leader in the production of strollers that can be opened and closed with just one hand. Another example of a company focusing on innovation of use is Foppa Pedretti: its range of products for domestic activities (e.g. ironing, washing and cleaning, feeding children, etc.) result from a careful observation of all the user's actions (Fig. 4). The result is a great attention to the usability of any product, during its entire cycle of use (Bettini and Micelli, 2006).

At this point, it is useful to highlight the difference between 'use' and 'function', two terms that are often intended as synonyms. The 'function' of a product concerns its operation, what the product is able to do, and therefore fully falls in the field of expertise of engineering. Instead, the concept of 'use' implies a cultural and social dimension that better falls in the field of expertise of design. Indeed, an innovation of use may not modify the function of the product, but only the way in which the user interacts with it. Norman (2004) defines 'behavioral' this level of design. An example useful to clarify this point is the Smoke glass (Fig. 5) designed by Joe Colombo. Here, the glass' function – i.e. containing a liquid – remains unvaried. What changes is the mode of use: the glass can be held with just two fingers, giving the possibility of holding a cigarette with the same hand. The cultural context in which this product was designed is the Sixties, when smoking was widely accepted and even considered a sign of emancipation. In today's western culture, which on the contrary places much emphasis on well-being and life quality, such a glass would not be welcomed. It is therefore important to emphasize that also this second innovation typology, such as aesthetic innovation, is strongly affected by cultural and social values.

**Meaning innovation** – Rewording the well-known statement «design is making sense of things» by Krippendorff (2005), recent studies in the field of innovation theories built a theoretical paradigm around design (Verganti, 2008; 2009; 2017). Next to already established innovation models, based on the idea that the drivers of product change can be either the market-pull innovation or the technology-push innovation (Dosi, 1982), a third model of

innovation, centered on the meaning of objects, emerged: the Design Driven Innovation (DDI). DDI does not limit itself to altering the mode of use, the technology or the aesthetics of a product. Instead, it modifies the product's meaning, defined by some scholars as the product's purchase motivation (i.e. the 'reason why') and by others as the essence of the use experience (Verganti, 2017). The most renowned literature on this innovation model focused attention on three main elements: 1) the relationship between the product's meaning and the business strategy; 2) the creation dynamics of product meaning; 3) the role of the designer in the DDI process.

The first field of study delineated the concept of DDI, resulting in design being regarded as a company's competitive and strategic lever (Kotler and Rath, 1984). Indeed, since the meaning of an object is linked to the consumer motivation to buy it, a change in motivation impacts on the competitive logic of companies, on their ways of competing and on the entire cultural registers of a manufacturing sector (Rindova, Dalpiaz and Ravasi, 2011). Companies like Swatch, Alessi or Technogym – to name just a few cases in support of this model – have created new meanings in their industries by acting on new drivers for purchasing and using goods. Alessi characterized its kitchen tools with new meanings, inspired by the toy industry and 'relational goods' (Fig. 6). Swatch moved the watch away from jewelry, repositioning it as a fashion accessory (Fig. 7). Finally, Technogym, dealing with the body building crisis of the early Nineties, differentiated gym equipment with new meanings related to physical and mental well-being (Fig. 8). Over time, the Design Driven approach to innovation permeated many sectors, rewriting the rules of the game, i.e. altering their competitive dynamics and the user engagement. Examples range from Philips Design (a company operating in various medical related sectors) to Intuit (a manufacturer of accounting software).

The second field of study on DDI focuses on the dynamics of creation of meaning. In this regard, it is interesting to underline the following: a) new meanings are created by users. In other words, it is not the company that creates new meanings through the DDI. The company's role is that of proposing interpretations that are alternative to the dominant cultural standards (Verganti, 2017). Such new readings may or may not be well received by the market; b) the generation of new meanings is rarely the result of the effort of a single organization. More often, it is the result of a collective process (i.e. 'design discourse') to which different 'voices' – often external to the industries where the meaning change is intended to happen – participate. These voices, being detached from the dominant cultural register, better succeed in reaching the roots of the objects' reason why, questioning it and proposing ways to overcome it.

Finally, the abovementioned collective process is connected to the third area of studies on Design Driven Innovation. Here, the DDI process is intended to be distant from the 'user centered design' approach, from the multiple generation of ideas and continuous iterations typical of Design Thinking (Brown, 2008; Martin, 2009), from 'abductive' thinking (Fann, 2012) and from the re-framing of the design problem (Dorst, 2011). Instead, the DDI process is characterized by a

hermeneutical form of thought, by a tendency to criticize the status-quo that brings design closer to art. This critical approach questions the reason why and the essence of objects, includes interpreters from outside the industrial sector, draws the information to innovate from the weak signals that come from society, even if not directly related to the object to be redesigned. Furthermore, in the DDI process users are involved 'at the end' and not 'during' the process itself, as testers of the envisioned new cultural codes.

To conclude, while in the two previous typologies of innovation the designer appears as the key actor, in this third innovation type the designer is called to translate the strategic indications coming from the entrepreneur or the top management in aesthetic and of use elements that convey the desired new meaning (Verganti, 2003). Therefore, the designer becomes responsible for the embodiment of a strategic vision into a material artifact. In this embodiment, s/he acts as a 'broker' of languages and cultural registers among different industries (Ravasi, Rindova, and Dalpiaz, 2012; Hargadon and Sutton, 1997).

Looking for a connection between the innovation typologies – In identifying the specificities of any innovation typology, the above mentioned strands of literature remained often autonomous, missing a coordinated effort in trying to explain the relationships between the three. In other words – as is often the case – the development of theories and models favored internal coherence to the detriment of inclusiveness and completeness (Kuhn, 2012). We here propose a conceptual model intended to relate the different strands of analyzed literature highlighting the connections between the three innovation types. Our model is a double-entry matrix with the following two axes: i) the language, which can be chosen by the firm and by the designer as the main element to be innovated or – on the contrary – can remain unvaried, conforming to the dominant style; ii) the mode of use, which can replicate what is offered by the products already on the market, or can be the object of a specific intention to innovate (Fig. 9).

The two axes of the matrix were determined for two reasons. The first one is that these are the designer's areas of expertise. In other words, differently from meaning innovation that often takes on a strategic and managerial stance, aesthetics and mode of use are the two areas of research and experimentation typical of the design discipline. The second reason is that we intend meaning innovation as a 'derived' innovation area. This is because meanings represent intangible entities that cannot be directly controlled by the designer. Moreover – in the light of recent studies – meaning innovation can be intended as the result of a combination of multiple areas of product development. All this led us to identify the following four areas of the matrix: 1) the re-design area; 2) the aesthetic (or style) innovation area; 3) the innovation of use area; 4) the meaning innovation area.

That of re-design is the non-innovation area. Its only objective is to increase the company's product portfolio through a stretching or 'trading up' of a product category (Cooper, Edgett and Kleinschmidt, 2001). In this area, the product portfolio is both the context and the main constraint of the design project, making the explo-



Fig. 10 - FiveFingers shoes by Vibram.

Next page. Fig. 11 - Santavase vase, designed by Denis Santachiara for Serralunga (2001).

ration of new languages or new modes of use of little interest. Any re-design is mainly guided by mere commercial logics, resulting from the emergence of a new market segment, to be addressed by an up-dated product version, or the emergence of a technological opportunity, that requires the product's re-design, without affecting significantly its form or mode of use. The main purpose of a re-design is indeed the extension of the product life-life (Otto and Wood, 1998).

Aesthetic innovation is an area of disruption of current stylistic codes. In this area, the aim of product innovation is the definition of a new product's language. This practice can have several driving factors: i) the introduction of a radical technological innovation (Rindova and Petkova, 2007; Simoni, Cautela and Zurlo, 2014; Cautela and Simoni, 2013) that the new product's language has the objective to signal, staging the superior product's performances; ii) the emergence of new socio-cultural models to which the new language gives voice, making evident the emerging cultural expressions coming from the worlds of art, visual culture, cinema and multimedia production; iii) the emergence of new economic models (such as the sharing or the circular economy). In this case, the new language takes on the role of inducing new social and cultural behaviors.

Innovation of use relates to the update of the product architecture, and – as said before – it concerns all those products in which the quality of use is a fundamental purchase lever, such as: work and kitchen tools, household appliances, professional and office equipment, baby products, medical products for the elderly and so on. In the history of design – in particular northern European – this was often considered the designer's primary area of intervention. We make reference to the well-known axiom 'form follows function', coined by the American architect Louis Sullivan at the end of the 19th Century and then became the leit-motiv of the modern movement. Based on this axiom, the form of the product has to be the result of choices based exclusively on functionality and use.

Since the 1980s, this tradition of functionalist has been absorbed into the user-centered design (UCD) movement. The term user-centered design, first introduced by the research group led by Donald Norman at the University of California, gained international notoriety with the publication of the book *User-Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction* (Norman and Draper, 1986). Based on UCD principles, the designer's role is to make it easier for the user to carry out any activity involving interaction with a

product, ensuring that the product does not allow neither suggest improper usages, and that the user does not have to make an effort to understand how to use the product correctly. The main driver of the design process becomes the direct observation of the user, or even – in more recent times – his/her involvement in a co-design process, so to grasp the not satisfied needs (Rubin, 1994; Abras, Maloney-Krichmar and Preece, 2004). Finally, meaning innovation is here intended as the result of the interaction of the two innovation areas described above, aesthetics and of use. The literature on meaning innovation explicitly identifies style (also referred to as product language) as the means that transfers the new meaning to the market (Verganti, 2008, 2009). In this literature strand, language is considered a fundamental tool to convey the new meanings of objects.

While embracing this perspective, the matrix proposes aesthetic innovation both as an end in itself, resulting from specific research and experimentation activities, and as a vector to affirm a change in meaning. The cases mentioned above – Swatch, Alessi and Technogym – exemplify a change in meaning that was conveyed by a change in language with respect to the signs dominating the respective industries. However, most of the cases analyzed in literature (Verganti, 2017) are not mentioned just for the close relationship between aesthetics innovation and the proposal of new meanings. In all the above-mentioned cases, to which other examples such as Nintendo Wii, Vibram Five Fingers (Fig. 10) and Yankee Candle can be added up, the way of using the product is also modified, in a broad sense. We can therefore affirm that the enabling of new meanings rarely passes exclusively through the proposal of a new style. In most cases, on the contrary, form and mode of use are used as complementary vectors to innovate the meaning of objects. Swatch, for instance, changed the occasion of use of a watch, no longer intended as a formal and 'immutable' object.

Starting from the Eighties, Swatch offers collections that follow the fashion styles, according to the idea that wearing a watch is like wearing a tie («watch as a tie», quoted in Verganti, 2017). Technogym introduced – in addition to new styles of machinery and tools – the proposition of new contexts in which to train (the home environment) and of new styles of training, related to fitness and well-being rather than to the overcome culture of body building. In the same way, Nintendo Wii is well-known not just for having innovated the graphic style of video games – making them caricatured – or the form of the console, but above all for having introduced a new way of engaging the user. This new way is social in nature – a vis-à-vis interaction with other players – and physical, with each game involving activities activating different parts of the body.

Therefore, in addition to recognizing aesthetic and of use innovation as autonomous areas, the matrix considers them as complementary: their combination generates the effect of producing innovation on a higher and strategic level, recognized in literature as meaning innovation. When discussing about innovation, it is important to remember that the novelty of a product does not always translate into an effective competitive advantage for the company. It is indeed well-known

*that, when the form of a product is highly unusual – resulting from the search for a new language or a new mode of use – the user may encounter difficulties in mapping it within an existing product's category. The most obvious consequence is the product being rejected. In this regard, Krippendorff (2005) cites the famous MAYA Principle*

*coined by Raimond Loewy, according to which the designer should always try to propose what is «Most Advanced Yet still Acceptable». This principle recognizes the presence of well-defined product categories and suggests that their boundaries can be movable, but this requires the collaboration of all the stakeholders involved in the 'de-*

*sign discourse' on the one hand, and an adequate strategic investment in communication by companies on the other.*

*Conclusions – In this article we aimed at taking stock of the situation on a topic, the role of design in product innovation processes, that today can*





count on a substantial number of references, not just in the field of design, but also in many related disciplinary fields. Starting from an analysis of the literature of the last thirty years, we identified the three most significant innovation typologies – aesthetics, of use and meaning – and then defined a conceptual model that connects them. The model is a double-entry matrix whose axes are the two complementary levers in the designer's professional expertise: the product's language and mode of use. To date, this reasoning is based on arguments and case studies taken from literature. It is our intention to consolidate it by collecting a significant number (30-40) of examples of meaning innovations, so to test their consistency with the proposed matrix.

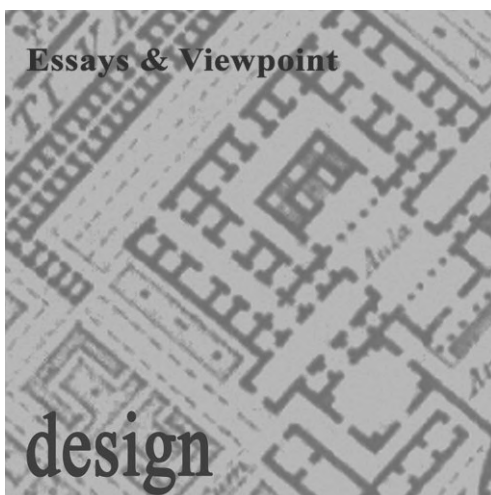
Finally, it is our intention to expand our reasoning, adding Design Thinking in to the picture. Design Thinking, intended as a structured approach to product innovation, covers today all the aforementioned innovation typologies in an undifferentiated manner. For this reason, we asked ourselves if a specific type of innovation could instead represent a sufficient driver to guide a contextualized creative process. In other words, is it possible and useful to adapt Design Thinking to our matrix? To date, our suggestion to designers and companies that intend to innovate their products, is to use coherent innovation paths, trying to link each innovation typology to specific tools and reasoning models.

## REFERENCES

- Abras, C., Maloney-Krichmar, D. and Preece, J. (2004), "User-centered design", in Bainbridge, W. (ed.), *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Sage Publications, Thousand Oaks, pp. 445-456.
- Anselmi, L. (2004), "La qualità d'uso del prodotto elettrodomestico", in Rampino, L. (ed.), *Sapere, immaginare, fare. Il design d'innovazione per l'elettrodomestico*, Edizioni POLI.design, Milano.
- Bandinelli, R. et alii (2013), "New product development in the fashion industry: An empirical investigation of Italian firms", in *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 5, pp. 5-31.
- Barthes, R. (1983), *The fashion system*, University of California Press, Berkeley.
- Bettiol, M. and Micelli, S. (2006), *The strategic role of design for the competitiveness of the Italian industrial system*. [Online] Available at: [https://pdfs.semanticscholar.org/a178/e5fa93bbb19a871e1aef22dde35b2c47961c.pdf?\\_ga=2.250636422.1807700463.1555362691-1890251487.1555255686](https://pdfs.semanticscholar.org/a178/e5fa93bbb19a871e1aef22dde35b2c47961c.pdf?_ga=2.250636422.1807700463.1555362691-1890251487.1555255686) [Accessed 7 April 2019].
- Brown, T. (2008), "Design thinking", in *Harvard Business Review*, vol. 86, pp. 84-94.
- Bürdek, B. E. (2005), *Design: History, theory and practice of product design*, Birkhäuser, Basel.
- Cappetta, R., Cillo, P. and Ponti, A. (2006), "Convergent designs in fine fashion: An evolutionary model for stylistic innovation", in *Research Policy*, vol. 35, pp. 1273-1290.
- Cautela, C. and Simoni, M. (2013), *Product design strategies in technological change*, McGraw-Hill, Milano.
- Chen, K. and Owen, C. L. (1997), "Form language and style description", in *Design studies*, vol. 18, pp. 249-274.
- Christensen, C. M. (2013), *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*, Harvard Business Review Press, Boston MA.
- Cillo, P. and Verona, G. (2008), "Search styles in style searching: Exploring innovation strategies in fashion firms", in *Long Range Planning*, vol. 41, pp. 650-671.
- Cooper, R. G. (1990), "Stage-gate systems: a new tool for managing new products", in *Business Horizons*, vol. 33, pp. 44-55.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J. and Kleinschmidt, E. J. (2001), *Portfolio management for new products*, Basic Books, Cambridge (MA).
- Cross, N. (2011), *Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work*, Berg, Oxford-New York.
- Cross, N. (2001), "Designerly Ways of Knowing: Design Discipline Versus Design Science", in *Design issues*, vol. 17, pp. 49-55.
- Cross, N. (1993), "Science and Design Methodology: a Review", in *Research in Engineering Design*, vol. 5, pp. 63-69.
- Cross, N. (1984), *Developments in Design Methodology*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Cross, N., Dorst, K. and Roozenburg, N. (eds) (1992), *Research in Design Thinking*, Delft University Press, Delft, Netherlands.
- Dell'Era, C. et alii (2011), "Language Brokering: stimulating creativity during the concept development phase", in *Creativity and Innovation Management*, vol. 20, pp. 36-48.
- Dell'Era, C. and Verganti, R. (2007), "Strategies of innovation and imitation of product languages", in *Journal of Product Innovation Management*, vol. 24, pp. 580-599.
- Desmet, P. M. and Hekkert, P. (2007), "Framework of product experience", in *International Journal of Design*, vol. 1, pp. 57-66.
- Dorst, K. (2011), "The core of 'design thinking' and its application", in *Design studies*, vol. 32, pp. 521-532.
- Dosi, G. (1982), "Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change", in *Research policy*, vol. 11, pp. 147-162.
- Dreyfuss, H. (1967), *Designing for people*, Paragraphic Books, New York.
- Eisenman, M. (2007), "Aesthetic innovation: Changing institutional logics in standardized high-technology industries", in *Technology, Innovation and Institutions Working Paper Series*, Technology Commercialization Centre at University of Alberta, Alberta, pp. 11-17.
- Eppinger, S. D. and Ulrich, K. T. (1995), *Product design and development*, Mc Graw Hill, New York.
- Fann, K. T. (2012), *Peirce's theory of abduction*, Springer Science & Business Media, New York.
- Gaver, W. W. (1991), "Technology affordances", in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, New Orleans, Louisiana, April 28 - May 2 1991*, ACM, New York, pp. 79-84.
- Gibson, J. J. (1979), *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston.
- Hargadon, A. and Sutton, R. I. (1997), "Technology brokering and innovation in a product development firm", in *Administrative science quarterly*, vol. 42, pp. 716-749.
- Holbrook, M. B. and Hirschman, E. C. (1982), "The experiential aspects of consumption: Consumer fantasies, feelings and fun", in *Journal of consumer research*, vol. 9, pp. 132-140.
- Karjalainen, T.-M. (2007), "It looks like a Toyota: Educational approaches to designing for visual brand recognition", in *International Journal of design*, vol. 1 pp. 67-81.
- Karjalainen, T.-M. and Snelders, D. (2010), "Designing visual recognition for the brand", in *Journal of Product Innovation Management*, vol. 27, pp. 6-22.
- Kotler, P. and Rath, G. A. (1984), "Design: A powerful but neglected strategic tool", in *Journal of business strategy*, vol. 5, pp. 16-21.
- Krippendorff, K. (2005), *The semantic turn: A new foundation for design*, CRC Press, New York.
- Kuhn, T. S. (2012), *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, London.
- Martin, R. (2009), *The design of business: Why design thinking is the next competitive advantage*, Harvard Business Press.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G. (1977), "In search of a useful theory of innovation", in *Research Policy*, vol. 6, pp. 36-76.
- Norman, D. A. (2004), *Emotional design*, Apogeo, Milano.
- Norman, D. A. (1988), *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books, New York.
- Norman, D. A. and Draper, S. W. (1986), *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*, CRC Press, New York.
- Otto, K. N. and Wood, K. L. (1998), "Product evolution: a reverse engineering and redesign methodology", in *Research in Engineering Design*, vol. 10, pp. 226-243.
- Papanek, V. (1983), *Design for human scale*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Peirce, C. S. (1991), *Peirce on signs: Writings on semiotic*, University of North Carolina Press Books.
- Queneau, R. (1983), *Esercizi di stile*, Einaudi, Torino.
- Rampino, L. (2011), "The innovation pyramid: A categorization of the innovation phenomenon in the product-design field", in *International Journal of Design*, vol. 5, pp. 3-16.
- Ravasi, D., Rindova, V. and Dalpiaz, E. (2012), "The cultural side of value creation", in *Strategic Organization*, vol. 10, pp. 231-239.
- Rindova, V., Dalpiaz, E. and Ravasi, D. (2011), "A cultural quest: A study of organizational use of new cultural resources in strategy formation", in *Organization Science*, vol. 22, pp. 413-431.
- Rindova, V. P. and Petkova, A. P. (2007), "When is a new thing a good thing? Technological change, product form design, and perceptions of value for product innovations", in *Organization Science*, vol. 18, pp. 217-232.
- Rubin, J. (1994), *Handbook of usability testing*, Wiley, New York.
- Semprini, A. (ed.) (1999), *Il senso delle cose: i significati sociali e culturali degli oggetti quotidiani*, Franco Angeli, Milano.
- Simoni, M., Cautela, C. and Zurlo, F. (2014), "Product design strategies in technological shifts: An explorative study of Italian design-driven companies", in *Technovation*, vol. 34, pp. 702-715.
- Tran, Y. (2010), "Generating stylistic innovation: a process perspective", in *Industry and Innovation*, vol. 17, pp. 131-161.
- Verganti, R. (2017), *Overcrowded: designing meaningful products in a world awash with ideas*, MIT Press, Cambridge (MA).
- Verganti, R. (2009), *Design driven innovation: changing the rules of competition by radically innovating what things mean*, Harvard Business Press.
- Verganti, R. (2008), "Design, meanings, and radical innovation: A metamodel and a research agenda", in *Journal of product innovation management*, vol. 25, pp. 436-456.
- Verganti, R. (2003), "Design as brokering of languages: Innovation strategies in Italian firms", in *Design Management Journal / Former Series*, vol. 14, pp. 34-42.

<sup>a</sup> CABIRIO CAUTELA, Innovation Economist and PhD in Economics and Business Management, is an Associate Professor at Design Department, Politecnico di Milano (Italy), where he teaches Strategic Design and Design Management. Mob. +39 347/87.57.599 E-mail: cabirio.cautela@polimi.it

<sup>b</sup> LUCIA RAMPINO, Architect and PhD in Industrial Design, is an Associate Professor at Design Department, Politecnico di Milano (Italy), where she teaches Product Design and Design Thinking. Mob. +39 335/54.56.717. E-mail: lucia.rampino@polimi.it



## CARATTERE UNIVERSALE INNOVAZIONE SENZA STILE UNIVERSAL TYPEFACE INNOVATION WITHOUT STYLE

Dario Russo<sup>a</sup>

### ABSTRACT

*Il Bauhaus (1919-1933) ha segnato la storia. Questa scuola fu animata da alcuni degli artisti-progettisti più rilevanti del Novecento, da Gropius a Kandinskij, da Itten a Moholy-Nagy, non riconducibili a un approccio univoco. Eppure, l'idea del Bauhaus, che ha innervato il dibattito e la pratica del progetto in Europa e negli USA (e non solo) per decenni, si è risolta in una sorta di International Style che, nella tipografia, corrisponde al carattere Universal di Herbert Bayer (1925). Il presente articolo mira a evidenziare come il carattere universale, che raffigura per noi oggi lo 'stile' della Modernità, fu in principio innovazione allo stato puro: una configurazione volta all'effetto, al massimo risultato col minimo sforzo, dal punto di vista sia economico e tecnico-produttivo sia funzionale ovvero leggibilità e percezione visiva; e come il dato più interessante non sia la forma in sé – riproposta, uguale a se stessa, per quasi un secolo – ma il principio progettuale che la sottende.*

The Bauhaus (1919-1933) has marked history. This school was animated by some of the most significant Twentieth-century artist-designers, from Gropius to Kandinskij, from Itten to Moholy-Nagy, not related to an unambiguous approach. However, the idea of the Bauhaus, which innervated the debate and the practice of the project in Europe and in the USA (and beyond) for decades, has resulted into some kind of International Style which, in typography, corresponds to the Universal typeface of Herbert Bayer (1925). This article aims to highlight how the universal typeface, that today represents the 'style' of Modernity, was in the beginning innovation in its purest: a configuration aimed at effect, to achieve maximum result with minimum effort, both from an economic and technical-productive, and from a functional point of view, readability and visual perception; and how the most interesting aspect is not the form itself – re-proposed, equal to itself, for almost a century – but its underlying design principle.

### KEYWORDS

*innovazione, tipografia, grafica, storia, sperimentazione*  
innovation, typography, graphic design, history, experimentation

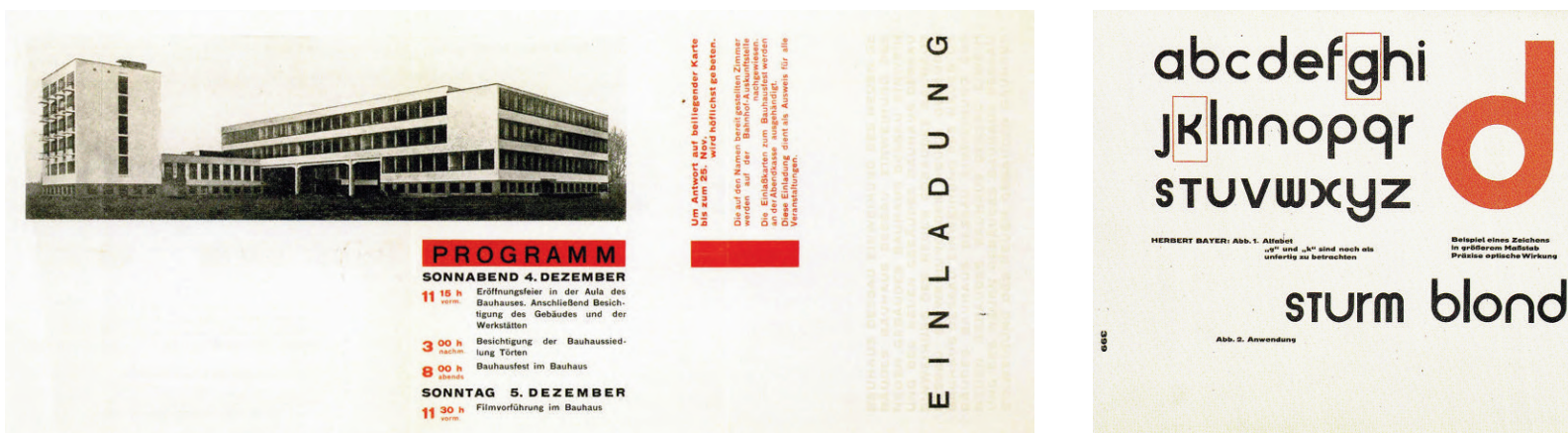
Perché mai dovremmo studiare il Bauhaus e dibattervi ancora dopo 100 anni? Certamente, già da un pezzo, il Funzionalismo ha perso ogni autorevolezza, e non sembra interessante, adesso, inseguire un'utopia abbondantemente esaurita. Allora perché il Bauhaus continua a esercitare una forte attrattiva? Indubbiamente, per la visione sinottica, un approccio al progetto multidisciplinare, caleidoscopico. Ancora oggi il Bauhaus rappresenta un polo magnetico di conoscenze e tecniche che attraversano il Novecento e stanno alla base della cultura visiva occidentale. Mentre i nostri Corsi universitari sono sempre più Corsi di Studio e sempre meno Corsi di Studi e il sapere è sistematicamente parcellizzato e specializzato (sul modello statunitense), un secolo fa il Bauhaus raggiungeva risultati innovativi e sorprendenti sperimentando coraggiosamente, senza preclusioni disciplinari, con «a practise still embracing multiple meaning» (Toth, 2018, p. 2). In questa prospettiva, il presente articolo è dedicato alla figura di Herbert Bayer, passato alla storia come il-grafico-del-Bauhaus, la cui opera è per noi, benché in parte superata, ancora attuale nei suoi principi. Ci occuperemo quindi di tipografia, in particolare del suo controverso mono-alfabeto, descrivendone il carattere innovativo, i suoi pregi e i suoi limiti, fino all'odierna declinazione digitale e al paradosso che ne consegue.

*Scenario* – Prima di addentrarci nel tema occorre, molto sinteticamente, tracciare alcune premesse utili a comprendere le circostanze e il contesto in cui l'impresa di Bayer raggiunse autentiche punte d'innovazione. Com'è noto, Bayer, austriaco, si formò nel Bauhaus di Weimar tra il 1921 e il 1923, con figure carismatiche quali Johannes Itten, Paul Klee e Wassily Kandinsky. Fu la fase dominata dall'approccio mistico-espressionista all'insegna del mito romantico dell'opera d'arte totale: qualcosa di molto diverso rispetto all'idea che abbiamo oggi del Bauhaus quale simbolo della Modernità, del rapporto tra le nuove tecniche e il progetto e laboratorio sperimentale di prototipi per l'industria. Nel 1923, alla svolta di tipo funzionalistico-razionalista molto contribuì l'influenza di Theo van Doesburg, l'instancabile propugnatore del De Stijl, che si trasferì a Weimar per due anni<sup>1</sup>. Tale passaggio – nonostante i rapporti tra De Stijl e Bauhaus siano piuttosto controversi – può essere condensato nella celebre formula di Gropius: «Arte e tecni-

ca: una nuova unità! La tecnica non ha bisogno di arte, ma l'arte ha molto bisogno di una tecnica» (Gropius, 1924, p. 137).

Una delle novità più rilevanti del 1923 fu senz'altro l'affidamento del corso propedeutico (precedentemente tenuto da Itten) al costruttivista ungherese László Moholy-Nagy. Non meno decisiva fu, due anni dopo, nel Bauhaus di Dessau, l'integrazione nel corpo docente dei migliori allievi della Scuola una volta divenuti 'giovani maestri' (Jungmeister): Josef Albers affiancò Moholy-Nagy nel corso propedeutico; Marcel Breuer fu messo a capo del Laboratorio di arredamento; Joost Schmidt, di modellistica; Gunta Stözl, di tessitura; e Bayer, appunto, dell'allora molto innovativo Laboratorio di tipografia. In questo quadro generale, la formazione olistica della Scuola si rivelò quanto mai utile, inclusi gli insegnamenti 'fondamentali' di Itten, Kandinskij e Klee su forma e colore (non necessariamente finalizzati al carattere tipografico)<sup>2</sup>. Bayer, infatti, era in grado di padroneggiare le più innovative tecniche di comunicazione, spaziando in ambiti disciplinari diversi, non senza approfondimenti sulla psicologia della percezione. In soli sei mesi, il suo Laboratorio divenne un punto di riferimento irrinunciabile per le aziende che finanziavano la Scuola. Qui gli studenti potevano contare su concrete opportunità sia di sperimentazione nuda e cruda sia di tipo professionale.

*Il carattere universale* – Tra il 1925 e il 1926, Bayer mise a segno il suo capolavoro tipografico: il carattere Universal, un mono-alfabeto tendente all'idea platonica della scrittura, l'immagine minima e rarefatta di ogni singola lettera. L'idea di Bayer certo non era quella di configurare un carattere 'bello' (calligrafico) ma visivamente efficace: «La tipografia è un'arte di servizio, non una bella arte, per quanto si tratta di una disciplina pura ed elementare. Non è espressione di sé entro un'estetica predeterminata, ma è condizionata dal messaggio che visualizza» (Bayer, 1967, p. 350). Il carattere 'universale' era una scrittura essenziale, ridotta, basata sulla geometria elementare. Ogni lettera fu costruita in modo razionale, su una griglia quadrata, con segmenti verticali e orizzontali e con archi di cerchio e larghezza uniforme. Il carattere di Bayer incorporava «the notion that a single typeface, reduced to its minimal components, could most efficiently meet the need of a universal culture» (Lupton, 2006). In altre parole, poiché le let-



Figg. 1, 2 - Invitation to the inauguration of the Bauhaus building in Dessau (Herbert Bayer, 1926); Universal typeface (Herbert Bayer, 1925).

tere erano costituite da forme semplici, geometriche e modulari – in una parola ‘lineari’ – il testo che ne scaturiva doveva essere intrinsecamente chiaro; da qui, il conseguente passaggio logico: più è semplice la forma del testo più è semplice la sua lettura, quindi la leggibilità è assicurata dalla linearità del carattere. L’ennesima dimostrazione che nel design il moderno coincide col classico.<sup>3</sup>

Quando negli anni Venti Bayer disegnò questo carattere, in Germania era in voga la scrittura gotica: «l’incarnazione visiva dell’identità nazionale tedesca fin dai tempi di Lutero» (Shaw and Bain, 1998, p. 14). Per di più, il tedesco scritto si caratterizzava – ieri come oggi – per l’iniziale maiuscola di tutti i sostantivi; un testo, dunque, fortemente articolato. Al contrario, l’idea di Bayer – tratta dal volume *Sprache und Schrift* (Lingua e Scrittura) di Walter Porstmann (1920) e dai suoi principi di economia della scrittura – fu di usare soltanto l’alfabeto minuscolo, e non il maiuscolo in quanto inutile e quindi superfluo. «In restricting ourselves to lower-case letters our type loses nothing, but becomes more easily read, more easily learned, substantially more economic. Why is the for one sound, for examples a, two signs, A and a? One sound, one sign. Why two alphabets for one word, why double the number of signs, when half achieve the same?» (Bayer cit. in Hollis, 1994, p. 54). ‘Scriviamo in minuscolo, così risparmiamo tempo’ fu il motto del Bauhaus di Dessau. Una mossa, certo, innovativa, non meno tuttavia azzardata.

Fu per questo – racconta Ute Brüning (1999) – che Marianne Brandt, allieva del Bauhaus, rischiò di essere bastonata da un gruppo di tipografi in visita al Bauhaus, i quali si sentirono personalmente offesi. Del resto, per quanto questa reazione possa sembrare smisurata, è pur vero che, nella Germania di quegli anni, il mono-alfabeto doveva suonare come un’enorme provocazione. Era una rottura verticale, basata su ragioni stringenti e oggettive, come pure incuranti di una tradizione antica, difficile, difficilissima da accettare dai tipografi tedeschi tradizionalistici. Tuttavia, come osserva Hans M. Wingler (1987, p. 563), per quanto l’Universal «in tutte minuscole» subì non poche critiche, «bisogna riconoscere che presentava vantaggi dal punto di vista estetico e che offriva notevoli possibilità al grafico tendente al raggiungere una spiccata unitarietà della composizione». L’Universal di Bayer era universale a 360 gradi. Come osserva Chiara Barbieri (2012, p. 143), «le diverse accezioni dell’aggettivo ‘universale’ rifletto-

no entrambe le principali caratteristiche di questo alfabeto: da un lato ‘universale’ può essere inteso come ‘internazionale’, riferendosi al rifiuto di Bayer di qualsiasi influenza in termini di stile, tradizione o cultura; dall’altro, ‘universale’, contrapposto a ‘particolare’ e ‘contingente’, significa ‘fondamentale’, ‘oggettivo’ e ‘senza tempo’, con riferimento alla semplificazione plastica della forma delle lettere a vantaggio della leggibilità e alla rimozione delle caratteristiche soggettive e ornamentali. Infine, l’Universal è un perfetto esempio della necessità avvertita da Bayer di un alfabeto fatto solo di lettere minuscole».

La tesi di Bayer sulla superiorità tipografica del carattere ‘universale’ e del mono-alfabetico fu sostenuta e rilanciata dal grande Jan Tschichold ne *Die Neue Typographie*, un saggio del 1928 (tradotto in inglese soltanto nel 1995 e non ancora in italiano), considerato una sorta di Bibbia della tipografia internazionale e riferimento teorico-pratico per i decenni successivi (Scuola Svizzera e Movimento moderno). Qui, in accordo con le affermazioni di Bayer, si evince che il principio della Nuova Tipografia è la chiarezza, quindi la leggibilità: «The New Typography is distinguished from the old by the fact that its first objective is to develop its visible form out of the functions of the text» (Tschichold, 1995, pp. 66, 67). Inoltre si legge: «None of the typefaces to whose basic form kind of ornament has been added (serif in roman type, lozenge shapes and curlicues in fraktur) meet our requirements for clarity. Among all the types that are available, the so-called ‘Grotesque’ (sanserif) or ‘black letter’ (‘skeleton letters’ would be a better name) is the only one in spiritual accordance with our time» (Tschichold, 1995, p. 73). Conseguentemente, a proposito del monoalfabeto, Tschichold (1995, p. 80) afferma: «A the same time as economic advantages, the use of minuscule would give us a stylistically faultless letter, so scientific advantage would be combined with aesthetic». Non a caso, tra gli esempi virtuosi della Nuova Tipografia, raccolti nella seconda metà del libro, Tschichold riporta alcuni lavori di Bayer e a pagina 124 la carta da lettera del Bauhaus, progettata nel 1925, standardizzata e contrassegnata da norme e chiarezza, col mono-alfabeto universale.

*La Scuola svizzera* – L’eredità dell’Universal di Bayer, della Nuova Tipografia di Tschichold fu raccolta, negli anni Trenta del secolo scorso, dai maestri della Scuola svizzera (Stile svizzero), che

detto le coordinate in materia tipografica fino agli anni Sessanta-Settanta. Si trattava di una metodologia razionalista, sistematica, volta a un’organizzazione chiara ed efficace dell’informazione, con uso oggettivo di testo e immagini. Era uno stile fondamentalmente tipografico, che integrava le principali caratteristiche moderniste: griglia modulare (di derivazione matematica); massima semplificazione formale (tabula rasa di ogni decorazione); caratteri senza grazie (lineari, minimali); impostazione asimmetrica (composizione del testo a bandiera con allineamento a sinistra); ampi spazi bianchi (in contrasto con quelli pieni per equilibrare il campo visivo); fotografia ‘obiettiva’ (immagini realiste, quasi sempre in bianco e nero).

Sul piano della pratica progettuale, come pure su quello della teoria, la Scuola svizzera affondava le radici nel Costruttivismo russo e nel *De Stijl* (lo stile universale). Gli svizzeri Théo Ballmer e Max Bill – entrambi allievi del Bauhaus – rappresentarono il collegamento ideale tra le Avanguardie Storiche (soprattutto Costruttivismo russo e *De Stijl*) e la grafica svizzera postbellica. Ballmer, allievo di Gropius, Klee e Hannes Meyer, pose come fondamento la griglia aritmetica basata su allineamenti ortogonali (De Stil). Bill, formatosi con Gropius, Meyer, Moholy-Nagy e Albers, formulò una ‘grafica oggettiva’, organizzata su gabbie geometriche e strutturata in modo gerarchico.<sup>4</sup>

La scuola svizzera si sviluppò intorno a due centri nevralgici: Basilea e Zurigo. Emil Ruder, nel suo corso di tipografia all’Allegemeine Gewerbeschule di Basilea, sostenne l’efficacia dei caratteri lineari argomentando che più è semplice la forma del testo meno il lettore si distrae dal contenuto<sup>5</sup>. Negli anni Quaranta, sempre a Basilea, Armin Hofmann teorizzò la massima riduzione possibile attraverso una forma grafica elementare, fatta di punto, linea e superficie<sup>6</sup>. Nel 1959, a Zurigo, Carlo L. Vivarelli, Richard P. Lohse, Josef Müller-Brockmann e Hans Neuburg fondarono la rivista trilingue *Neue Grafik* (Nuova Grafica) con l’intento di ‘creare una base internazionale per la discussione della grafica moderna e delle arti applicate’. Ne ‘Il progettista grafico e i suoi problemi progettuali’ del 1961, Müller-Brockmann teorizzò il principio della griglia quale sistema ordinatore fondata su modulazioni tipometriche<sup>7</sup>. L’autorità della Scuola svizzera fu poi rafforzata dallo straordinario successo che ebbero due caratteri lineari: l’Helvetica di Edouard Hoffman e Max Miedinger (1961) e l’Univers di Adrian Frutiger (1954) – ancora una

volta la precisa intenzione di affermare un carattere universale, valido sempre e ovunque, come base oggettiva della tipografia. Negli anni Sessanta-Settanta, i postulati della Scuola svizzera furono messi in discussione.

*Si legge meglio quel che leggiamo più spesso* – È proprio vero che più è semplice la forma di un carattere e più è semplice la leggibilità del testo? A quanto pare, non del tutto o non fino in fondo. Intorno agli anni Sessanta, infatti, in un clima di contestazione generale e riorganizzazione incondizionata dello scibile culturale, il diktat della maggiore leggibilità dei caratteri lineari venne meno. Tra gli specialisti e i cosiddetti font designer, che precedentemente avevano sostenuto la superiorità tecno-estetica del mono-alfabeto lineare, si fece strada l'idea che un carattere contrassegnato da forme elementari non sia, in forza di ciò, più semplice da leggere di altri caratteri dalle forme più complesse. I caratteri lineari (senza grazie), certo, possono essere molto semplici da leggere – come e più di quelli romani (con grazie) – ma soltanto a determinate condizioni.

Nel 1963, la critica maggiore fu mossa dall'interno. Josef Albers (2009, pp. 19, 20) – protagonista del Bauhaus di Dessau e anche lui, negli anni Venti, progettista di caratteri tipografici elementari ('lettere stencil' Schablonenschrift, 1923, e 'lettere combinatorie' Kombinationschrift, 1926) – affermò senza mezzi termini che la convinzione per la quale 'più la forma di una lettera è semplice, più è semplice la sua lettura' «era un'ossessione del costruttivismo nascente, anzi divenne quasi un dogma che tuttora viene rispettato dai tipografi 'modernisti'. Si è dimostrata l'erroneità di questa nozione, dal momento che durante la lettura noi non leggiamo lettere ma parole, parole come unità, 'parole-immagini'. Lo si è scoperto in psicologia, in particolar modo nella psicologia della Gestalt. L'oftalmologia ha inoltre rivelato che più le lettere sono diverse le une dalle altre, più semplice è la loro lettura». In altre parole, il nostro occhio mette a fuoco non le singole lettere una dopo l'altra ma parole o gruppi di lettere, che riusciamo a leggere facilmente quando le differenze tra le lettere li rendono facilmente distinguibili. Ciò chiarirebbe come mai i testi composti soltanto con caratteri maiuscoli siano oggettivamente difficili da leggere: per via dell'eguale altezza delle lettere. Conseguentemente, secondo Albers, i caratteri lineari sono più difficili da leggere di quelli romani, perché «producono 'parole-immagini' scadenti». Ecco perché «una lettura chiara dipende dal riconoscimento del contesto».

Nel 1975, perfino Tschichold, padre della Nuova Tipografia, ribadì la posizione critica di Albers rispetto a quanto negli anni Venti teorizzato – da lui e nel Bauhaus – abbondantemente caldeggiato e applicato con precisione. Per Tschichold i caratteri lineari sono più leggibili di quelli romani. Come quella di Albers, la sua è una specie di confessione: «Cinquant'anni di sperimentazione con molti caratteri nuovi e inusuali hanno permesso di stabilire che i migliori caratteri tipografici sono quelli classici [...] oppure la reincarnazione moderna di questi caratteri o, ancora, i nuovi caratteri che non si differenziano troppo da i moduli classici. Questa è una lezione tardiva e pagata a caro prezzo, ma pur sempre valida» (Tschichold, 2003, p. 13). E non finisce qua. «La cosiddetta Nuova Tipografia appar-

ve nel 1925: predicava semplicità radicale. [...] Attribui la confusione generale del settore solamente alla moltitudine dei caratteri e pretese di aver individuato la soluzione nel carattere senza grazie, eleggendolo a carattere del nostro tempo. [...] Il carattere lineare e solo apparentemente la forma di scrittura più semplice: è una forma forzatamente semplificata per i bambini e, per gli adulti, è più difficile da leggere del carattere romano, le cui grazie non sono mai state intese come elementi ornamentali» (Tschichold, 2003, p. 15).

Negli anni Ottanta, in piena sperimentazione digitale, Zuzana Licko affermò che i caratteri tipografici non sono molto o poco leggibili di per sé, ma «you read best what you read the most» (Licko cit. in Russo, 2006, pp. 27, 120)<sup>8</sup>. È dunque la nostra familiarità con un certo tipo di carattere a renderlo leggibile. E siccome abbiamo letto molti testi con caratteri romani fin dalla più tenera età, abbiamo affinato una certa capacità di distinguerli sulla carta come pure su ogni supporto visivo. Già da qualche tempo, però, la lettura dei testi si svolge sempre più su schermi che altrove; e qui si trovano soprattutto caratteri lineari, da Wikipedia ai social network. Il primato della leggibilità dei caratteri romani sembra allora essere, ancora una volta, segnato. Che cosa accadrà – e sta già accadendo – quando i testi più largamente letti nell'intero globo terraqueo saranno i post su Facebook o altro genere d'interconnessione social?

**Conclusioni** – Un tema interessante che il mono-alfabeto porta con sé è poi quello della 'universalità', da cui il nome Universal. L'universalità del carattere di Bayer non consiste soltanto nelle forme ridotte all'osso e quindi immediatamente accessibili. L'universalità è anche – e soprattutto – la precisa intenzione di mettere a segno una forma di scrittura davvero democratica, non caratterizzata da nazionalismi e status: il contrario, negli anni Venti, del gotico – Black Letter – intimamente legato alla Germania e ai Paesi nordeuropei. Per cogliere lo

spirito del progetto di Bayer – la vera innovazione – non avrebbe oggi molto senso ricondurre su schermo, in digitale, quelle forme formalmente ridotte e geometricamente configurate; sarebbe come annullare di colpo 100 anni di storia. Più interessante è invece considerare altre esperienze, recenti, che mirano a raggiungere lo stesso risultato: l'universalità in termini di reale possibilità di espansione di utilizzo. In questo senso, ad esempio, un progetto coraggioso è il carattere Balkan (2012): un 'sistema tipografico' che collega l'universo latino a quello cirillico. Più precisamente, si tratta di un sans serif in maiuscolo, pensato per i titoli, con due versioni: una con lettere in latino e l'altra in cirillico; le lettere comuni – ecco dunque – (A, E, J, K, ecc.) e i numeri occupano l'altezza di due righe; caratteristica che spezza il ritmo frammentando la riga tipografica. Ora, benché la resa formale sia per certi versi antitetica all'Universal di Bayer – perché si usa soltanto il maiuscolo anziché soltanto il minuscolo e perché l'altezza doppia di certe lettere determina un andamento visivo simile alla compresenza di maiuscolo-minuscolo – ciò che è coerente con l'innovazione di Bayer sta nel «sistema creativo per trascendere le barriere culturali» e nelle parole dei suoi stessi progettisti Marija Juza e Nikola Djurek: «Con questo progetto siamo voluti andare oltre la storia e la politica per creare un sistema che raggruppasse tutte le differenze e le contraddizioni in un insieme di elementi familiari – un sistema tipografico che depoliticizza, demistifica e riconcilia le lettere per il bene dell'educazione, della tolleranza e, soprattutto, della comunicazione» (cit. in Olocco, 2012, p. 113).

L'anno scorso, per celebrare il Centenario del Bauhaus, è stata lanciata l'operazione Adobe Hidden Treasures: Bauhaus Dessau, volta alla progettazione digitale di cinque caratteri ispirati ai 'tesori tipografici' custoditi nella Bauhaus Dessau Foundation; un'operazione didattica indubbiamente interessante con il coinvolgimento degli studenti dell'attuale Bauhaus e la supervisione del grande maestro di font design Erik Spiekermann. I primi due sono dedicati a Joost Schmidt e a Xanti Schawinsky: Joschmi e Xants<sup>9</sup>. «The students at the Bauhaus were given exercises to draw letterforms, not to design typefaces – spiega Spiekermann – [...]. The tools did not exist to do so at a school in 1928. So we imagined what the students would have done had they had computers and type design software» (Quite, 2018). L'intenzione del progetto – il redesign di una centenaria eccellenza – è appunto didattica, dimostrativa, celebrativa... certamente un formidabile stimolo per gli studenti, ma non è certo oggi un'innovazione tipografica: non punta al futuro, come ha fatto Bayer, ma al passato.

A tal proposito, vale la pena di notare che anche il carattere di Bayer è stato digitalizzato, nel 1993, ma non si chiama più Universal; per gli utenti della Apple è stato ribattezzato Bauhaus 93. Ciò dimostra come il nome della Scuola sia stato strategicamente impiegato a fini promozionali e commerciali, assumendo la funzione simbolica di uno 'stile': lo Stile Bauhaus, appunto; concetto, questo, del tutto estraneo allo spirito del Bauhaus – vero – e che Gropius ha sempre negato e anche strenuamente combattuto. Un paradosso rilevato da più parti – fin dagli anni Venti e all'interno della Scuola – e ribadito recentemente da Chiara Barberi (2012, p. 152): «Negli anni Venti, la regolarità formale e la stabilità razionalizzata del linguaggio visivo



Fig. 3 - Prospectus for Die Neue Typographie (Jan Tschichold, 1928).

omogeneizzante di Bayer costituivano un simbolo di radicale cambiamento, ricco di potenzialità rivoluzionaria. Oggi, invece, i designer utilizzano lo 'stile Bauhaus' per incarnare l'autorità e affermare la stabilità dell'azienda».

La nostra tesi, dunque, è che queste operazioni di riformulazione digitale di caratteri prima del digitale sono interventi di tipo 'stilistico' o, nel migliore dei casi didattico-conoscitivo, come abbiamo visto, o ancora celebrativo, ma non hanno molto a che vedere con l'innovazione. Per quanto possa essere interessante, infatti, studiare quelle soluzioni tipografiche, senza nulla togliere alla loro indiscutibile importanza storica, l'aggiornamento per il web non ridà al carattere bayeriano l'universalità alla quale aspirava il suo progettista: l'Universal – digitale o meno – oggi non è più economico, funzionale, innovativo. È appunto un paradosso: l'Universal rifatto è il contrario del progetto di Bayer, che negli anni Venti non citava niente ed era innovazione tipografica allo stato puro. «I principi che possono essere individuati nelle opere del passato ci appartengono; non altrettanto i risultati. Significherebbe scambiare il fine con i mezzi», ci ricorda il grande Owen Jones (cit. in Pasca and Pietroni, 2001, p. 182). Ecco perché, se vogliamo es-

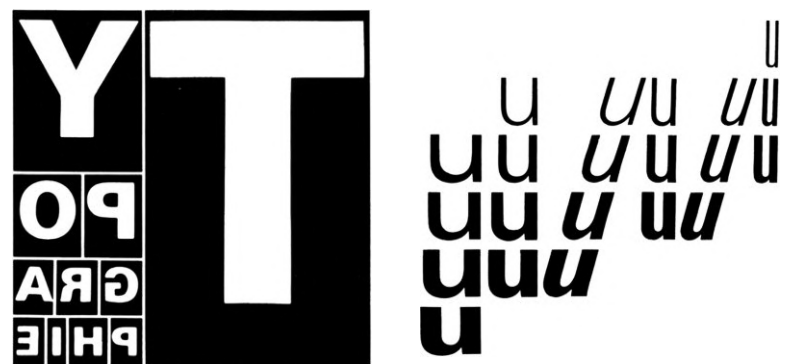
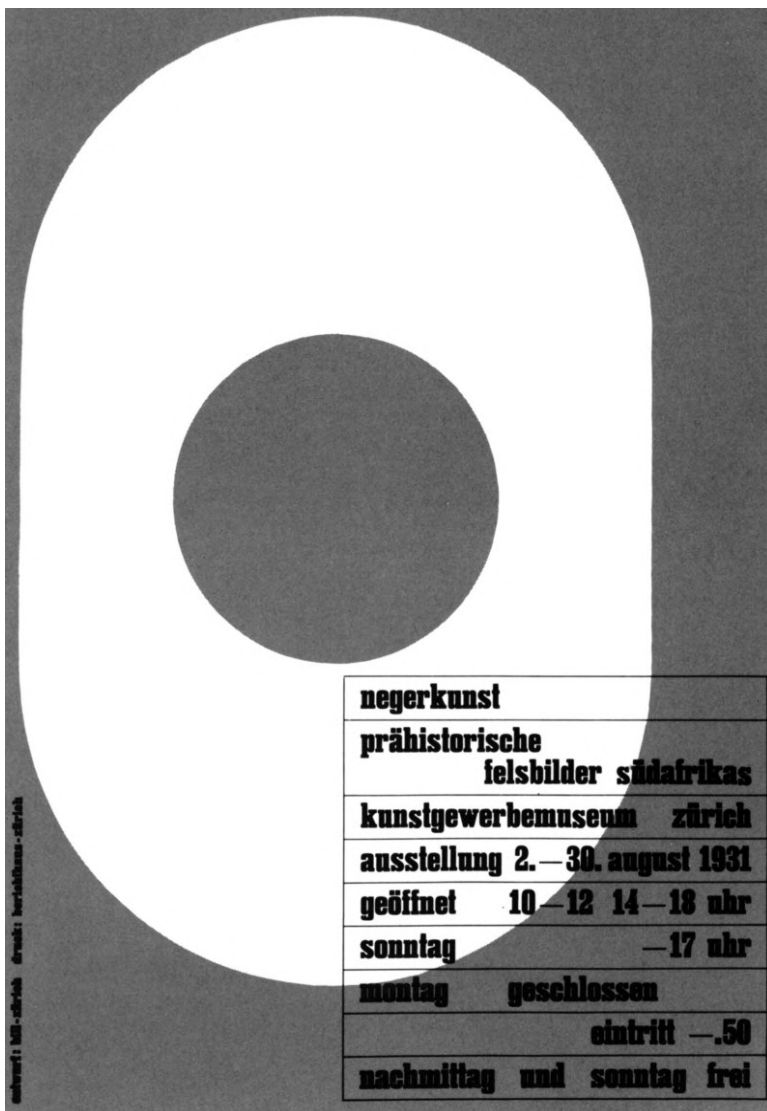
sere innovativi, non possiamo replicare il carattere universale di Bayer di 100 anni fa: perché oggi non sarebbe innovazione ma ripetizione acritica di quanto conviene invece ripensare e riconfigurare di continuo. È ancora interessante, nel Terzo Millennio, la ricerca di un carattere universale? Probabilmente no. Era interessante negli anni Venti del Novecento e nell'ambito di un movimento – moderno – alla ricerca di soluzioni 'definitive'. Oggi gli studi vertono più sulla ricerca della consapevolezza storica e sui linguaggi che, dinamicamente, si trasformano sullo schermo. Ma chiediamoci per assurdo: qual è la scrittura universale del nostro tempo? Certamente Bayer azzarderebbe il suo font, ma non sarebbe l'Universal degli anni Venti.

**ENGLISH**

*Why should we study the Bauhaus and debate about it still 100 years after? Certainly, long before now, Functionalism has lost all authority, and it does not seem interesting, now, to pursue an utterly exhausted utopia. So why does the Bauhaus still have a strong appeal? Undoubtedly, for the synoptic view, a multidisciplinary, kaleidoscopic approach to the project. Even today the Bauhaus represents a magnetic pole of knowledge and*

*techniques that cross the Twentieth century and are the basis of western visual culture. While today our university Courses are more and more Courses of study and much less Courses of studies and knowledge is systematically portioned and specialized (on the American model), a century ago the Bauhaus achieved innovative and surprising results by bravely experimenting, without any form of disciplinary preclusions, with «a practice still embracing multiple meaning» (Tóth, 2018, p. 2). In this perspective, this article is dedicated to the figure of Herbert Bayer, went down in history as the-Bauhaus-graphic designer, whose work is for us, although partly outdated, still current in its principles. So we will deal with typography, particularly with his controversial mono-alphabet, describing the innovative typeface, its merits and its limits, up to contemporary digital declination and its consequent paradox.*

Scenario – Before going into the subject, to understand the circumstances and the context in which Bayer's mission achieved authentic innovation tips, some useful premises must be drawn very briefly. As is known, the Austrian Bayer, trained at the Weimar Bauhaus between 1921 and 1923, with



Figg. 4-7 - Exhibition poster (Max Bill, 1931); Cover of Typographie (Emil Ruder, 1967); Univers typeface, Deberny and Peignot (Adrian Frutiger, 1955); Réclame based on grid with square module (Josef Müller-Brockmann).

charismatic figures such as Johannes Itten, Paul Klee and Wassily Kandinsky. This phase was dominated by the mystical-expressionist approach in the spirit of the romantic myth of the total work of art: something very different from the idea we have today of the Bauhaus as a symbol of Modernity, of the relationship between the new techniques and the project and experimental laboratory for industrial prototypes. In 1923, the influence of Theo van Doesburg, the indefatigable proponent of *De Stijl*, who moved to Weimar for two years<sup>1</sup>, contributed significantly to the functionalist-rationalist shift. This passage – despite the slightly controversial relation between *De Stijl* and Bauhaus – can be condensed in the famous Gropius formula: «Art and technique: a new unity! The technique doesn't need art, but art has a great need for a technique» (Gropius, 1924, p. 137).

One of the most important innovations of 1923 was certainly the awarding of the preparatory course (previously held by Itten) to the Hungarian constructivist László Moholy-Nagy. No less decisive was, two years later, in the Bauhaus of Dessau, the integration into the teaching staff of the best students of the School once they became 'young masters' (*Jungmeister*): Josef Albers worked alongside Moholy-Nagy in the preparatory course; Marcel Breuer was put in charge of the furnishing Laboratory; Joost Schmidt, in charge of modeling; Gunta Stölzl, in charge of weaving; and Bayer, in fact, was put in charge of the typography laboratory, very innovative back then. In this general framework, the holistic formation of the School proved to be very useful, including the 'fundamental' teachings of Itten, Kandinskij and Klee about form and color (not necessarily aimed at typography)<sup>2</sup>. In fact, Bayer was able to master the most innovative communication techniques, ranging in different disciplinary fields, not without in-depth analysis of the psychology of perception. In just six months, his laboratory became an indispensable reference point for the companies that financed the school. Here the students could count on concrete opportunities of experimentation both raw and professional.

Universal typeface – Between 1925 and 1926, Bayer scored his typographic masterpiece: the Universal font, a mono-alphabet tending to the Platonic idea of writing, the minimal and rarefied image of every single letter. Surely the idea of Bayer was not to configure a 'beautiful' typeface (calligraphic) but visually effective: «Typography is a service art, not a fine artform, it is a pure and elementary discipline. It is not a self-expression within a predetermined aesthetic, but is conditioned by the message it displays» (Bayer, 1967, p. 350). The 'universal' typeface was an essential writing, a write reduced, based on elementary geometry. Each letter was constructed in a rational way, on a square grid, with vertical and horizontal segments and with arcs of circle and uniform width. Bayer's typeface incorporated «the notion that a single typeface, reduced to its minimal components, could most efficiently meet the need of a universal culture» (Lupton, 2006). In other words, since the letters consisted of simple, geometric and modular forms – in a word 'minimal' – the resulting text had to be intrinsically clear; from here, the consequent logical step: the more simple is the form of the text, the easier will be its reading, therefore the read-

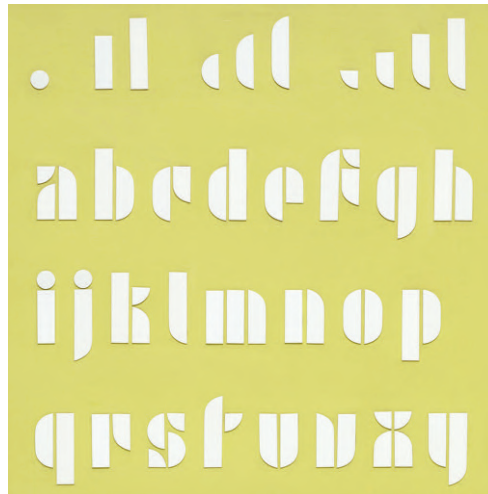


Fig. 8 - Kombinationsschrift (Josef Albers, 1926).

ability is assured by the minimalism of the typeface. The umpteenth demonstration that in design the modern coincides with the classic.<sup>3</sup>

When Bayer drew this font in the Twenties, Gothic writing was in vogue in Germany: «the visual embodiment of German national identity since the time of Luther» (Shaw and Bain, 1998, p. 14). Furthermore, written German was characterized – yesterday as today – by the capital letter of all nouns; a text, therefore, highly articulated. On the contrary, Bayer's idea – taken from the volume *Sprache und Schrift (Languages and Writing)* by Walter Porstmann (1920) and from his principles of writing economy – was to use only the lower-case alphabet, and not the upper case as useless and therefore superfluous. «In restricting ourselves to lower-case letters our type loses nothing, but becomes more easily read, more easily learned, substantially more economic. Why is the for one sound, for examples a, two signs, A and a? One sound, one sign. Why two alphabets for one word, why double the number of signs, when half achieve the same?» (Bayer cit. in Hollis, 1994, p. 54). 'We write in lower-case letters, so we save time' this was the Bauhaus's motto in Dessau. Certainly, an innovative move, however no less risky.

It was for this – says Ute Brüning (1999) – that Marianne Brandt, a student of the Bauhaus, risked being beaten by a group of printers visiting the Bauhaus, who felt personally offended. Moreover, as this reaction may seem unmeasured, it is true that, in the Germany of those years, the mono-alphabet had to be seen as a huge provocation. It was a vertical break, based on stringent and objective reasons, as well as heedless of an ancient, difficult tradition, very hard to accept by traditionalist German printers. However, as noted by Hans M. Wingler (1987, p. 563), although the Universal «in all lower-case» suffered not a few criticisms, «it should be recognized that it had advantages from the aesthetic point of view and offered considerable possibilities to the designer who aims to reach a marked unity of the composition». Bayer's Universal was universal at 360 degrees. As Chiara Barbieri (2012, p. 143) observes, «the different meanings of the adjective 'universal' reflect both the main characteristics of this alphabet: if on the one hand 'universal' can be interpreted as 'international', referring to Bayer's refusal of any influence in terms of style, tradition or culture, on the

other hand 'universal', as opposed to 'particular' and 'contingent', means 'fundamental', 'objective' and 'timeless', with reference to the plastic simplification of the shape of the letters to the advantage of readability, and to the removal of subjective and ornamental features. Finally, the Universal is a perfect example of the need perceived by Bayer of an alphabet made only of small letters».

Bayer's thesis about the typographical superiority of the 'universal' typeface and of the mono-alphabetic was supported and relaunched by the great Jan Tschichold in *Die Neue Typographie*, a 1928 essay (translated into English only in 1995 and not yet in Italian), considered a sort of Bible of the international typography and theoretical-practical reference for the following decades (Swiss School and Modern Movement). Here, in accordance with Bayer's assertions, it is evident that the principle of the New Typography is clarity, so readability: «The New Typography is distinguished from the old by the fact that its first objective is to develop its visible form out of the functions of the text» (Tschichold, 1995, pp. 66, 67). It is also reported: «None of the typefaces to whose basic form kind of ornament has been added (serif in roman type, lozenge shapes and curlicues in fraktur) meet our requirements for clarity. Among all the types that are available, the so-called 'Grotesque' (sans-serif) or 'black letter' ('skeleton letters' would be a better name) is the only one in spiritual accordance with our time» (Tschichold, 1995, p. 73). Consequently, regarding the mono-alphabet, Tschichold (1995, p. 80) states: «A the same time as economic advantages, the use of minuscule would give us a stylistically faultless letter, so scientific advantage would be combined with aesthetic». Not by chance, among the virtuous examples of the New Typography, collected in the second half of the book, Tschichold reports some Bayer's works and, on page 124, the letter paper of the Bauhaus, designed in 1925, standardized and marked by norms and clarity, with universal mono-alphabet.

The Swiss School – The legacy of Bayer's Universal, of Tschichold's New Typography was collected, in the Thirties of the last century, by the masters of the Swiss School (Swiss style), which dictated the coordinates in typographic matter up to the Sixties-Seventies. It was a rationalist, systematic methodology, aimed at a clear and effective organization of information, with an objective use of text and images. It was a basically typographic style, which integrated the main modernist characteristics: modular grid (of mathematical derivation); maximum formal simplification (tabula rasa of each decoration); sans-serif (minimal); asymmetric setting (composition of left text-alignment); large white spaces (as opposed to full ones, to balance the visual field); 'objective' photography (realistic images, generally in black and white).

In terms of design practice as well as theory, the Swiss School had its roots in Russian Constructivism and in *De Stijl* (the universal style). The Swiss Théo Ballmer and Max Bill – both students of the Bauhaus – represented the ideal connection between the Historical Avantgardes (especially Russian Constructivism and *De Stijl*) and the post-war Swiss graphics. Ballmer, pupil of Gropius, Klee and Hannes Meyer, set down as basis the arithmetic grid based on orthogonal alignment

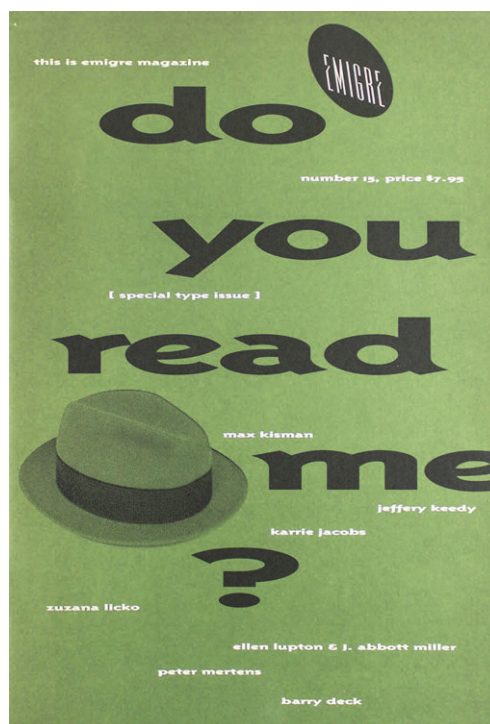
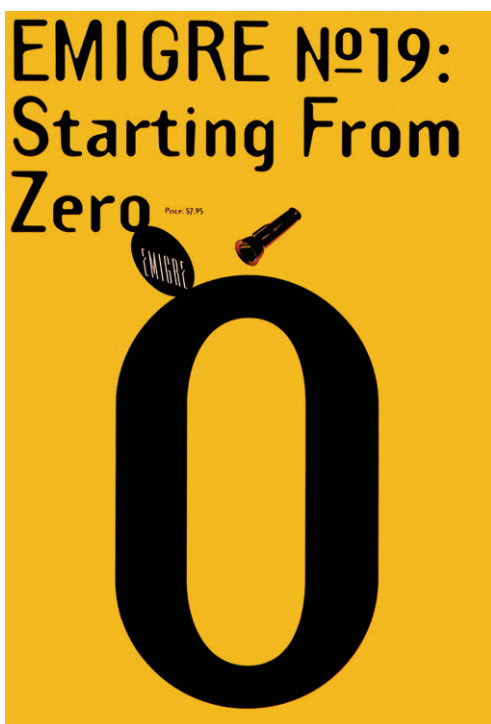


Fig. 9-11 - Totally Gothic font, Emigre Fonts (Zuzanna Licko, 1991); Template Gothic font, Emigre Fonts (Barry Deck, 1991); Cover of Emigre, 1990.

(De Stil). Bill, trained with Gropius, Meyer, Moholy-Nagy and Albers, formulated an 'objective graphic, organized on geometric grids and hierarchically structured'.<sup>4</sup>

The Swiss school developed around two nerve centers: Basel and Zurich. Emil Ruder, in his typography course at the Allegemeine Gewerbeschule in Basel, supported the effectiveness of sans serif by arguing that the more simple is the form of the text the less the reader gets distracted from the content<sup>5</sup>. In the Forties, still in Basel, Armin Hofmann theorized the maximum possible reduction through an elementary graphic form, made of point, line and surface<sup>6</sup>. In 1959, in Zurich, Carlo L. Vivarelli, Richard P. Lohse, Josef Müller-Brockmann and Hans Neuburg founded the trilingual magazine *Neue Grafik* (New Graphics) with the aim of 'creating an international base where to discuss about modern graphics and applied arts'. In 'The graphic Artist and his design problems' of 1961, Müller-Brockmann theo-

rized the principle of grid as an ordering system based on typometric modulations<sup>7</sup>. The authority of the Swiss School was then strengthened by the extraordinary success that had two sans serif font: the Helvetica by Edouard Hoffman and Max Miedinger (1961) and the Univers by Adrian Frutiger (1954) – once again the precise intention of affirming a Universal typeface valid always and everywhere, as objective basis of typography. In the Sixties-Seventies, the postulates of the Swiss School were called into question.

We read better what we read more often – Is it really true that the more simple is the shape of a typeface, the easier is the readability of the text? Apparently, not quite completely. In fact, around the Sixties, in a climate of general contestation and unconditional reorganization of cultural knowledge, the diktat of the greater legibility of sans serif disappeared. Among the specialists and the so-called font designers, who had previously supported the

techno-aesthetic superiority of the minimal mono-alphabet, arose the idea that a typeface marked by elementary forms is not, by virtue of this, easier to read than others typefaces with more complex shapes. The sans-serif, of course, can be very simple to read – like or more than the serif ones – but only under certain conditions.

In 1963, the main criticism was expressed from the inside. Josef Albers (2009, pp. 19, 20) – protagonist of the Bauhaus of Dessau, and designer of elementary typefaces in the Twenties ('stencil letters' Schablonenschrift, 1923, and 'combinatorial letters' Kombinationsschrift, 1926) – bluntly stated that the belief that 'the more the form of a letter is simple, the easier is its reading' «was an obsession of the nascent constructivism, indeed it almost became a dogma that is still respected by 'modernist' printers. The wrongness of this notion has been demonstrated, since the fact that during the reading we do not read letters but words, words as units, 'words-images'. This was discovered in psychology, especially in Gestalt psychology. The ophthalmology has also revealed that the more the letters are different from each other, the easier it is to read them». In other words, our eyes focus not on the individual letters one after the other, but on words or groups of letters, which we can easily read when the differences between the letters make them easily distinguishable. This would clarify why texts composed only with capital typefaces are objectively hard to read: due to the equal height of the letters. Consequently, according to Albers, sans serif are more difficult to read than serif ones, because «they produce poor 'words images'». This is why «a clear reading depends on the recognition of the context».

In 1975, even Tschichold, father of the New Typography, reaffirmed the critical position of Albers regarding what it was theorized in the Twenties – by him and generally in Bauhaus – strongly supported and applied with precision. For Tschichold the sans serif are more readable than the serif ones. As well as for Albers, his is a kind of confession: «Fifty years of experimentation with many new and unusual typefaces have allowed us to establish that the best typographical typefaces are the classic ones [...] or the modern reincarnation of these typefaces or, even, the new typefaces that do not differ too much from the classical modules. This is a late and barely lesson, but still valid» (Tschichold, 2003, p. 13). And it doesn't end there. «The so-called New Typography appeared in 1925: it preached radical simplicity. [...] He attributed the general confusion of the sector only to the multitude of typefaces and claimed to have identified the solution in sans-serif, electing it to typeface of our time. [...] The sans-serif is only apparently the simplest form of writing: it is a forcibly simplified form for children and, for adults, it is more difficult to read than the sans, whose serif were never intended as ornamental elements» (Tschichold, 2003, p. 15).

In the Eighties, in the middle of the digital experimentation, Zuzana Licko stated that typefaces are not more or less legible in themselves, but «you read best what you read the most» (Licko cit. in Russo, 2006, pp. 27, 120)<sup>8</sup>. It is therefore our familiarity with a certain type of typeface that makes it readable. And since from earliest age we have read many texts with serif, we have refined a certain ability to distinguish them on paper as well as on every visual support. For some time, however, the

reading of the texts is taking place more and more on screens than elsewhere; and here we find mainly sans serif from Wikipedia to social networks. The primacy of the readability of serif, then, once again seems then to be marked. What will happen – and it is already happening – when the most widely read texts throughout the entire globe will be posts on Facebook or other kind of social interconnection?

Conclusions – An interesting issue that the monospace brings with it is then the one of ‘universality’, hence the name Universal. The universality of Bayer’s typeface does not consist only in the (basic) forms reduced to the bone and therefore immediately accessible. Universality is also – and above all – the precise intention to achieve a truly democratic form of writing, not characterized by nationalism and status: the opposite, in the Twenties, of the Gothic – Black Letter – intimately linked to Germany and to the Northern European countries. To capture the spirit of Bayer’s project – real innovation – it would not make much sense today to bring back on screen, in digital, those formally reduced and geometrically configured forms; it would be like canceling 100 years of history. More interesting is instead to consider other experiences, recent, that aim to achieve the same result: universality in terms of real possibility of expansion of use. In this sense, for example, a courageous project is the Balkan typeface (2012): a ‘typographic system’ that links the latin universe to the cyrillic one. More precisely, it is a capital sans serif, designed for titles, with two versions: one with latin letters and one with cyrillic letters; the common letters – so here – (A, E, J, K, etc.) and the numbers occupy the height of two lines; feature that breaks the rhythm by fragmenting the typographic line. Now, although the formal rendering is in some ways antithetical to Bayer’s Universal – because only the capital letters are used instead of only the lowercase and because the double height of certain letters determines a visual pattern similar to the presence of uppercase-lowercase – what is consistent with the innovation of Bayer is in the «creative system to transcend cultural barriers», and in the words of its own designers Marija Juza and Nikola Djurek: «With this project we wanted to go beyond history and politics to create a system that grouped together all the differences and contradictions in a set of familiar elements – a typographical system that depoliticises, demystifies and reconciles letters for the sake of education, tolerance and, above all, communication» (cit. in Olocco, 2012, p 113).

Last year, to celebrate the Centenary of the Bauhaus, it was launched the operation Adobe Hidden Treasures: Bauhaus Dessau, aimed at the digital design of five fonts inspired by the ‘typographical treasures’ kept in the Bauhaus Dessau Foundation; undoubtedly an interesting didactic operation with the involvement of the students of the current Bauhaus and the supervision of the great master of design font Erik Spiekermann. The first two are dedicated to Joost Schmidt and Xanti Schawinsky: Joschmi and Xants<sup>9</sup>. «The students at the Bauhaus were given exercises to draw letterforms, not to design typefaces – explains Spiekermann – [...]. The tools did not exist to do so at a school in 1928. So we imagined what the students would have done had they had computers and type design software» (Quite, 2018). The intention of

the project – the redesign of a century-old excellence – is indeed didactic, demonstrative, celebratory ... certainly a formidable stimulus for the students, but certainly today is not a typographic innovation: it does not point to the future, as Bayer did, but to the past.

In this regard, it is worth noting that also Bayer’s typeface was digitized, in 1993, but is no longer called Universal; for Apple users it was renamed Bauhaus 93. This shows how the name of the School was strategically used for promotional and commercial purposes, taking on the symbolic function of a ‘style’: the Bauhaus Style, in fact; concept, this one, completely foreign to the – true – spirit of the Bauhaus and that Gropius has always denied and even strenuously fought. A paradox detected from several standpoints – since the Twenties and inside the School – and recently confirmed by Chiara Barberi (2012, p. 152): «In the Twenties, the formal regularity and the rationalized stability of Bayer’s homogenizing visual language were a symbol of radical change, full of revolutionary potential. Today, instead, designers use the ‘Bauhaus style’ to embody authority and affirm the stability of the company».

Our thesis, therefore, is that these operations of digital reformulation of typeface preceding digital are ‘stylistic’ interventions or, at best, educational-cognitive, as we have seen, or still celebratory, but they do not have much to do with innovation. In fact, however interesting to study those typographic solutions might be, without detracting from their unquestionable historical importance, the update for the web does not restore the Bayerian typeface to the universality which its designer aspired to: today the Universal – digital or not – is no longer economic, functional, innovative. It is indeed a paradox: the redone Universal is the opposite of the Bayer project, which in the Twenties didn’t quote anything and was pure typographic innovation. «The principles that can be identified in the works of the past belong to us; not the results as well. It would mean to exchange the end with the means, the great Owen Jones reminds us (cit. in Pasca and Pietroni, 2001, p. 182). That’s why, if we want to be innovative, we cannot replicate the Bayer’s 100-years-ago universal typeface: because today it would not be innovation but an uncritical repetition of what should, instead, continuously rethink and reconfigure. Is the search for a universal typeface still interesting in the Third Millennium? Probably not. It was interesting in the Twenties of the 20th century and in the context of a – modern – movement in search of ‘definitive’ solutions. Today studies focus more on the search for historical awareness and on the languages that dynamically transform on the screen. But let us ask ourselves, ad absurdum: what is the universal writing of our time? Certainly Bayer would venture his font, but it would not be the Universal of the Twenties.

#### NOTES

1) On the influence of De Stijl and ‘Theo van Doesburg in the Bauhaus circuit’, cfr. Zevi, 1974, pp. 15-74. «In Weimar I literally upset everything – van Doesburg writes to Kok in 1921 – Every evening I spoke with the students instilling the poison of the new spirit» (p. 39). He is echoed by J. J. P. Oud: «The imprint of our De Stijl group is marked in an aspect of the Bauhaus. The square-

ism is here, although often plagiarized without intelligence» (p. 36).

2) The importance of the three Bauhaus masters in the field of subsequent visual communication, and in particular on color, was fundamental. Their texts, even today, are considered milestones of visual design. The most important: Itten, 2010 [orig. ed. 1961]; Kandisky, 2003 [orig. ed. 1926]; Klee, 1959 [orig. ed. 1956].

3) In the Bauhaus, as Bürdek (1992, p. 34) observes, «the objective conditions of the design and the essential lines of the developing design theory had to be defined through the methods of the search for ‘the essence’ and ‘the analysis of the function’». Bayer was convinced that it was necessary to focus on just one «‘universal typeface’ valid for printing and typing and manual writing. It was a series of signs [...] standardized in (the) lower case, with a sign as continuous as possible similar to the one of the cantilever chair by Breuer. They were born from the analysis of the roman ‘capitalis’, progenitor of all ‘antiqua’ typefaces: separating these letters from their thickness remained in fact only the geometric ‘skeleton’ of a sans-serif. A vision that stimulated the imagination, as discovered by Rudolf von Larisch and Fritz Helmut Ehmske, who advised us to take as a model the beauty and geometry of Capitalis in the design of new typefaces. Jokingly Bayer also pointed to the opposite way when in 1930 he wrote an article for the Uhu magazine entitled Zieh dich aus – und Du bistri Grieche (Undress and you will be-



Figg. 12, 13 - Balkan font (Marija Juza and Nikola Djurek, 2012).





Figg. 14-16 - Adobe Hidden Treasures, fonts inspired by Bauhaus: Joschmi e Xants, 2018.

come an ancient greek)» (Brüning, 1999, p. 336). On the relationship between Beauty, Form and Function in Typography, see also Hartnett (2018).

4) Bill's essay on the mathematical approach to art (Die Mathematische Denkweise in the Kunst unserer Zeit) was published in *Werk* (n. 3, August 1949), and reported by Tomás Maldonado in his monograph about Bill: «I am convinced that it is possible to create an art form based on a mathematical approach. [...] The difference between the traditional conception of art and this one here indicated is very similar to the one between the laws of Archimedes and the postulates of Einstein and other modern physicists» (Bill, cit. in Maldonado, 1955, p. 59). This approach will characterize the Hochschule für Gestaltung of Ulm (or design high School), directed by Bill himself from 1953 to 1956.

5) Ruder's prescriptions are widely documented in his famous manual. Cfr. Ruder, E. (1967), *Typographie: ein Gestaltungslehrbuch*, Niggli, Teufen.

6) Cfr. Hofmann, 1961. The reference is obviously to the famous essay by Kandinsky of 1926 (2003).

7) «The grid divides an available surface into a series of proportioned parts, and thus it forms an optical structure for graphic research: letter, photography, design and color. Grids are ordering systems. A rational composition will always be more persuasive than an advertising image due to chance» (Müller-Brockmann, 1983, p. 80).

8) Developing this thesis, Eike König, founder of Hort (one of the most authoritative graphic design studio in the world), for a 2013 project chooses the Courier – which reminds the writing of typewriters thus preserving a retro flavor – motivating the choice in terms of universality and planetary democracy: «t's for every computer in the world, it's free: that's democracy» (cit. in Hartnett, 2018, p. 3); in the same way, the complementary font is here the Arial: «Based on the basis of anyone with a computer» (Hartnett, 2018, p. 3).

9) In this regard, it will not go unnoticed that Schawinsky, in transit through Italy in 1933 following the racial laws, collaborated with Antonio Boggeri on the Olivetti communication, designing, among other things, the second logo of the Ivrea company characterized by the initial lowercase letter ('o').

#### REFERENCES

Albers, J. (2009), *Interazione del colore. Esercizi per im-*

*parare a vedere* [orig. ed. *Interaction of Color*, 1963], il Saggiatore, Milano.

Barbieri, C. (2012), "Combinazioni di pezzi semplici. L'alfabeto universale del Bauhaus | A Combination of Simple Elements: The Universal Alphabet of the Bauhaus", in *Progetto grafico*, n. 22, pp. 140-155.

Brüning, U. (1999), "Herbert Bayer", in Fiedler, J. and Feierabend, P. (eds), *Bauhaus*, Könemann, Köln, pp. 332-339.

Bürdek, B. E. (1992), *Design. Storia, teoria e prassi del disegno industriale* [orig. ed. *Design: Geschichte, Theorie und Praxis der Produktgestaltung*, 1991], Mondadori, Milano.

Gropius, W. (1924), "Breviario per i membri del Bauhaus (abbozzo)", in Wingler, H. M. (ed.) (1987), *Il Bauhaus. Weimar Dessau Berlino 1919-1933*, [orig. ed. *Das Bauhaus*, 1962], Feltrinelli, Milano, p. 137.

Hartnett J. P. (2018), "Beauty, Form and Function in Typography". [Online] Available at: <http://www.typoday.in/2018/index.html> [Accessed 3 March 2019].

Hofmann, A. (1961), *Manuel de création graphique*, Niggli, Teufen.

Hollis, R. (1994), *Graphic Design. A Concise History*, Thames and Hudson, London.

Kandinsky, W. (2003), *Punto, linea, superfici. Contributo all'analisi degli elementi pittorici* [orig. ed. *Punkt und Linie zu Fläche*, 1926], Adelphi, Milano.

Klee, P. (1959), *Teoria della forma e della figurazione* [orig. ed. *Das bildnerische Denken*, 1956], Feltrinelli, Milano.

Itten, J. (2010), *Arte del colore. Esperienza soggettiva e conoscenza oggettiva come vie per l'arte* [orig. ed. *Kunst der Farbe*, 1961], il Saggiatore, Milano.

Lupton, E. (2006), "Univers Strikes Back". [Online] Available at: [http://www.designwritingresearch.org/free\\_samples/aTypi\\_Talk.doc](http://www.designwritingresearch.org/free_samples/aTypi_Talk.doc) [Accessed 3 March 2019].

Maldonado, M. (1955), *Max Bill*, Nuova Vision, Buenos Aires.

Müller-Brockmann, J. (1961), *Gestaltungsprobleme des Grafikers*, Niggli, Teufen.

Olocco, R. (2012), "Un carattere oltre la balcanizzazione | A Typeface Beyond Balkanization", in *Progetto grafico*, n. 22, pp. 108-113.

Quito, A. (2018), "Get Ready for the Bauhaus Centennial Festivities – and it All Starts with These Fonts". [Online] Available at: <https://qz.com/quartz/1314728/adobes-hidden-treasures-bauhaus-dessau-project-offers-five-new->

[bauhaus-inspired-fonts/?fbclid=IwAR0AAmZZpo3RFzpjYcMUCoYqI4jSSGA7x4MAKQ28nOXh0mENhODNF4qdsNQ](http://bauhaus-inspired-fonts/?fbclid=IwAR0AAmZZpo3RFzpjYcMUCoYqI4jSSGA7x4MAKQ28nOXh0mENhODNF4qdsNQ) [Accessed 3 March 2019].

Pasca, V. and Pietroni, L. (2001), *Christopher Dresser, Il primo industrial designer 1834-1904*, Lupetti, Milano.

Porstmann, W. (1920), *Sprache und Schrift*, Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure, Berlin.

Ruder, E. (1967), *Typographie: ein Gestaltungslehrbuch*, Niggli, Teufen.

Russo, D. (2006), *Free Graphics. La grafica fuori delle regole nell'era digitale*, Lupetti, Milano.

Shaw, P. and Bain, P. (1998), "Introduction. Blackletter vs. Roman: Type as Ideological Surrogate", in Shaw, P. and Bain, P. (eds), *Type and National Identity*, Princeton Architectural Press, New York, pp. 10-15.

Spencer, H. (1969), *Pioneers of modern typography*, Lund Humphries, London.

Tóth, E. (2018), *Design and Visual Culture from the Bauhaus to Contemporary Art, Optical Deconstructions*, Routledge, New York-London.

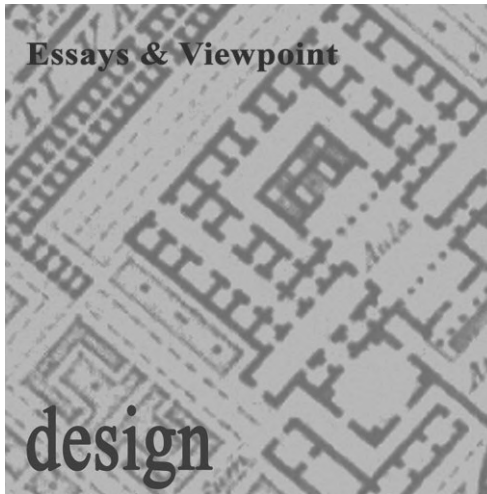
Tschichold, J. (1995), *The New Typography. A Handbook for Modern Designers* [orig. ed. *Die neue Typographie. Ein Handbuch für zeitgemäss Schaffende*, 1928], University of California Press, Berkeley-Los Angeles-London.

Tschichold, J. (2003), *La forma del libro* [orig. ed. *Ausgewählte Aufsätze über Fragen der Gestalt des Buches und der Typographie*, 1975], Sylvestre Bonnard, Milano.

Wingler, H. M. (ed.) (1987), *Il Bauhaus. Weimar Dessau Berlino 1919-1933* [orig. ed. *Das Bauhaus*, 1962], Feltrinelli, Milano.

Zevi, B. (1974), *Poetica dell'architettura neoplasticista. Il linguaggio della scomposizione quadrimensionale*, Einaudi, Torino.

<sup>a</sup> DARIO RUSSO, Architect and PhD, is Associate Professor of Industrial Design at the Department of Architecture of the University of Palermo (Italy), where he coordinates the Degree Course in Industrial Design. He has published several essays on design and visual communication, including 'Free Graphics' and 'The design of our times'. Mob. +39 392/35.11.793. E-mail: [dario.russo18@unipa.it](mailto:dario.russo18@unipa.it)



## HARDESIGN VS SOFTDESIGN

Raffaella Fagnoni<sup>a</sup>, Chiara Olivastri<sup>b</sup>

### ABSTRACT

*La riflessione sull'innovazione parte dalla dicotomia fra la componente forte e quella leggera del progetto, da una parte contrapposte, dall'altra complementari. Hard è il processo basato sul modello consumistico, Soft è più sostenibile. Hard è la dimensione del possesso, Soft è quella dell'accesso e della condivisione. Hard è il processo top down e Soft è quello bottom up che valorizza l'innovazione sociale. Gli strumenti del progetto non sono protocolli da applicare, devono adattarsi, customizzarsi ai bisogni espressi dalle persone che si attivano nella strutturazione di risposte. Il ruolo dei designer è oggi quello di affrontare le sfide del nostro tempo a cui i modelli utilizzati nel secolo scorso non sono in grado di dare risposta. È quello di rispondere al cambiamento del mondo performando il cambiamento nel progetto.*

Our thought on innovation starts from the dichotomy between the strong and the light design's components: on the one hand opposed, on the other complementary. Hard is the process based on the consumerist model, Soft is more sustainable. Hard is the dimension of possession, Soft is that of access and sharing. Hard is the top-down process and Soft is the bottom-up process that values social innovation. The project tools are not records to be applied. They must adapt, be customized to the needs expressed by the people who are activating themselves in the structuring of answers. The role of designers today is to face our time challenges, to which the models used in the last century are unable to respond. It is to answer to the world's change by performing the change in the project.

### KEYWORDS

*design dei servizi, innovazione sociale, co-design, design dei processi, prodotto-servizio*

service design, social innovation, co-design, design as a process, product-service

Facciamo parte delle ultime generazioni ancora capaci di distinguere chiaramente cosa significhi vivere off-line e on-line. La proliferazione di innovazioni nel campo delle tecnologie e del digitale che ha cambiato i processi produttivi è entrata ormai pesantemente nel nostro quotidiano, molte delle cose con cui abbiamo a che fare sono diverse rispetto a pochi anni fa. La maggior parte delle innovazioni nel campo degli oggetti è costituita da repliche e il lavoro dei designer spesso consiste nel modificare ciò che altri hanno elaborato in precedenza. Tuttavia, come afferma già nel 2015 Alice Rawsthorn<sup>1</sup>, ex direttore del Design Museum di Londra, giornalista e critica del design per l'International New York Times, oggi le discipline del progetto legate alle nuove tecnologie e al design dei servizi sono più importanti dei prodotti di arredo.

Innovazione è produrre trasformazioni che generino valore e denaro. È un fattore chiave per il rinnovamento dei prodotti e dei processi che costituisce una spinta al consumo. È l'introduzione di un miglioramento, spesso legato ai progressi delle tecniche e delle tecnologie: è la nostra stessa natura (di esseri imperfetti con tecnologie imperfette) che ci spinge all'innovazione con una tensione progressiva verso la compiutezza (Mancini, 2017). Questa progressione continua, secondo Gianmario Verona (2018), ci porta a parlare di innovazioni, al plurale, che si diffondono innescando circoli virtuosi e inducendo a loro volta altre innovazioni. Lo sviluppo progressivo delle tecnologie digitali ha portato in breve tempo a connettere persone, sistemi, comunità, prodotti e servizi, generando un enorme potenziale di trasformazioni, con l'obiettivo di raggiungere prestazioni e performance in continua espansione. Il concetto di servitizzazione risale agli anni Ottanta e viene elaborato come processo di arricchimento e diversificazione dell'offerta per cui un prodotto non viene più proposto da solo, ma offerto in combinazione con un servizio (Cinquini, Minin and Varaldo, 2011). Il fenomeno di erogazione di servizi digitali (Vendrell-Herrero et alii, 2017) è in continua espansione, con un'influenza diretta sulla progettazione che richiede un aumento delle competenze «per misurarsi con un mondo caratterizzato da digital ubiquity e ubiquitous computing» (Lombardi, 2018, p. 4).

Il contesto del progetto contemporaneo è caratterizzato da una lenta e graduale trasformazione iniziata in maniera incontrollabile con il passaggio

dall'analogico al digitale. In meno di trent'anni, è cambiato il mondo, proprio a causa di questa tensione continua per migliorare le potenzialità degli oggetti del nostro quotidiano. È cambiato il sistema delle relazioni fra le cose e le persone, trasformando interi settori dell'economia e della cultura, con influenze pesanti sul modo di vivere, sulla società, sui mercati. Questo contesto si ripercuote palesemente anche sul lavoro dei designer e sulla disciplina stessa del design. Tradizionalmente orientato principalmente verso la cultura del prodotto materiale (Hardesign), il design si è recentemente proiettato verso il progetto di beni più «leggeri» come i servizi o gli eventi che generano esperienze (Softdesign), spostando i bisogni degli utenti dal possesso diretto alla pratica dell'accesso, tramite l'uso condiviso. Il Softdesign ha priorità diverse da quelle del passato. Mentre l'Hardesign era – ed è ancora oggi – rivolto al prodotto (materiale o immateriale) e al profitto che ne deriva, il Softdesign è orientato a intervenire nei processi decisionali e relazionali di organizzazioni, sistemi e istituzioni.

Come sosteneva già Maldonado, nel suo riesame del prodotto industriale, gli oggetti che oggi ci troviamo di fronte sono caratterizzati dal fatto che la componente virtuale è la sostanza, mentre la forma, ridotta al minimo, ne è il supporto (Maldonado, 2011). Dare forma agli oggetti, allora, porta «all'accavallamento tra la progettazione di oggetti e la progettazione comunicativa» (Maldonado, 2011, p. 75) facendo riferimento ai concetti di interfaccia (Anceschi, 1993; Bonsiepe, 1995) e di interazione (Zannoni, 2018). Al fenomeno del passaggio dalla produzione materiale alla produzione immateriale si collega la crisi del fordismo. Nel modello fordista le strutture aziendali dedicate all'innovazione, alla ricerca e sviluppo (RD), erano centralizzate; nel modello postfordista, invece, queste si diffondono e si sfuoca la distinzione fra concezione ed esecuzione; i processi di innovazione sono a intelligenza distribuita e l'organizzazione del lavoro segue modelli più flessibili. Tale transizione ha portato alla delocalizzazione produttiva, con la conseguente dispersione di capitale economico, culturale, sociale, e anche di competenze, che si sono così dirottate verso il mondo della comunicazione e dei servizi.

La trasformazione progressiva dei prodotti secondo la logica forma-merce (Celaschi, 2000), sempre più smaterializzati, porta a cambiare il nostro modo di consumare offrendo esperienze alter-

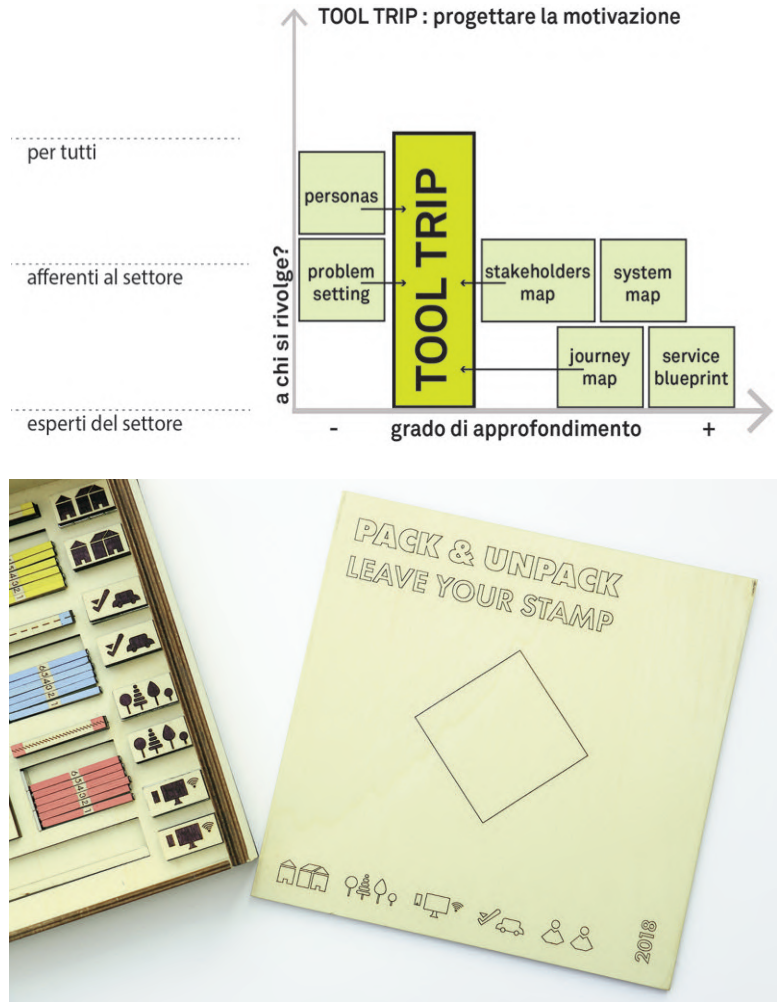
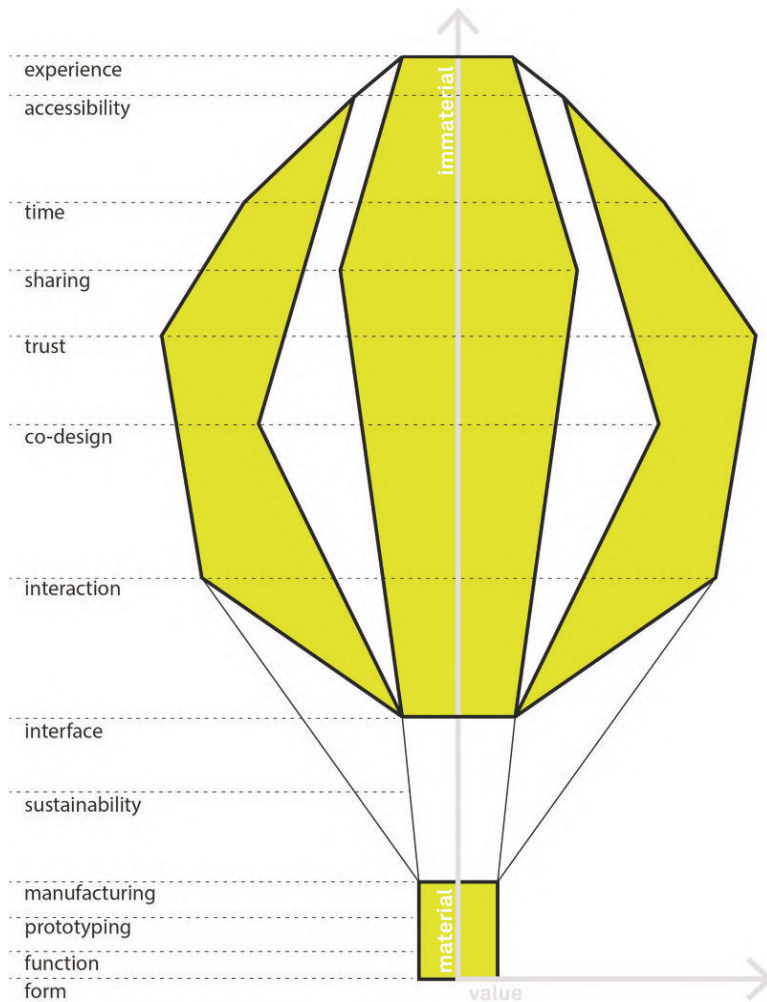


Fig. 1, 2 - Hardesign vs Softdesign scheme; Tool-Trip scheme (credit: R. Fagnoni and C. Olivastri, 2019).

Fig. 3 - Pack & Unpack, from the graduation thesis of Giovanna Tagliasco (credit: G. Tagliasco, 2018).

native legate alla sfera della sharing economy e creando nuove logiche collaborative e di mercato. Il valore attribuito al prodotto passa all'esperienza: come sostiene Perniola (2004), al raggiungimento del piacere nell'acquisto e nella proprietà del bene materiale, si è sostituito il mantenimento dell'eccitazione nell'immediatezza dell'esperienza, spostando il focus dall'oggetto al soggetto. Quali sono le ripercussioni sul progetto, sulle attività dei progettisti, sulla disciplina del design?

Da una parte ci sono i sostenitori delle teorie forti e storiche del product design che vedono nelle derive contemporanee della disciplina lo sciamante progettante debole, che usa il concetto di design in maniera demagogica proponendo soluzioni di ogni tipo. Considerano questa tendenza come una perdita dei connotati del design rivolto verso attitudini e competenze di tipo organizzativo-gestionale con un'ottica operazionista (Cristallo, 2015) in cui i designer sono relegati a meri applicatori di schemi e modelli processuali, mappatori di dati, privi tuttavia delle competenze per agire come progettisti-registi (Pasca, 2010). Dall'altra ci sono coloro che estendono il campo e il concetto di prodotto al dare forma a nuove relazioni tra oggetti e soggetti, attivando processi collaborativi, proponendo e sfruttando i metodi del design thinking o della user-experience, per i quali il design dei servizi è prassi, insieme al progetto di sistemi e strategie di rete. Sostengono economie basate sullo sviluppo di pic-

cole start-up, alimentate dai processi dal basso che vedono la soluzione di problemi del nostro quotidiano attraverso le economie collaborative in cui il design agisce come attivatore di nuove esperienze e come guida esperta in un mondo in cui tutti progettano (Manzini, 2015).

*Hardesign vs Softdesign* – L'oggetto del design, a cui è tradizionalmente riferito il termine prodotto, è diventato un sistema che nel tempo si è esteso e complessificato, è un ibrido di elementi tangibili e intangibili, un insieme di interazioni fisiche e sociali che veicolano esperienze. L'estensione di cui parla Manzini (2010) è declinata in più fattori, si parla del passaggio dalla componente materiale a quella immateriale e di un ampliamento del valore e del significato che il progetto riesce a restituire alla società. È come se si aprisse un ventaglio di possibilità che vanno oltre il binomio forma e funzione per spingersi a un livello strategico dove è possibile creare un impatto sociale profondo (Penin, 2018). Hardesign e Softdesign, che sembrano scaturire come approcci antagonisti, in realtà sono parti necessarie e complementari di un processo evolutivo. Con un certo equilibrio sono capaci di staccarsi dal piano materiale e bidimensionale per innalzarsi verso plusvalori sociali, ambientali ed economici.

La componente Soft è quella flessibile, leggera, che si adatta più velocemente ai cambiamenti della

domanda e al mercato, mentre quella Hard rimane legata agli artefatti e ai processi produttivi industriali o artigianali. In questo momento storico, dove la rapidità diviene la moneta di scambio per eccellenza, la parte Soft è quella che incide maggiormente sulla determinazione del plus valore dell'offerta. La cura che prima il progettista poneva nei dettagli adesso va riposta nel sistema, nel processo, che si sviluppa anche nei dettagli, ma principalmente nell'infrastruttura che tiene insieme le parti. L'oggetto della cura del progettista si focalizza sull'esperienza, in tutte le sue declinazioni tangibili e intangibili. L'estetica dell'interazione diviene elemento compositivo e armonizza il linguaggio visivo. L'elemento che tiene insieme i due aspetti è la sostenibilità, da una parte legata ai materiali e dall'altra alle relazioni e all'impatto dei processi sull'ambiente. Nel progetto dei servizi la sostenibilità diviene un paradigma di comportamento, fondendo la componente Hard e quella Soft. Il progetto dei servizi presuppone l'evidenza, in quanto elemento necessario e tangibile dell'esperienza immateriale, che è data da elementi fisici, artefatti comunicativi, interfacce, sistemi spaziali.

Si guarda alla soluzione funzionale da dare all'utente e non al singolo elemento. Nella società dell'accesso di Rifkin (2001) il valore d'uso diviene il valore di scambio a cui accedere. Il concetto di proprietà perde significato in un'era in cui provare è più importante che possedere. Basti pensare

a tutti i servizi di 'pooling' che vanno dai mezzi di trasporto agli spazi di lavoro, dagli appartamenti agli attrezzi. La componente materiale è la discriminante tra le diverse scelte dell'offerta, ma la grossa sfida è nella modalità d'uso degli artefatti, non più percepiti come esclusivi, ma in uso a una comunità di utilizzatori, che regolano i loro rapporti sulla base della fiducia. Le esperienze si svolgono nel tempo, un'unità di misura che non è mai entrata a far parte del progetto, se non come relazione indiretta e allusiva. Il tempo, nei servizi, è l'elemento di definizione dell'esperienza, di sequenza e scansione dei momenti, ma anche coordinamento e gestione di un processo complesso che deve avvenire in un ordine prestabilito. Il tempo e la durata rendono inoltre l'esperienza effimera: i servizi sono deperibili nella misura in cui non possono essere restituiti o rivenduti una volta utilizzati.

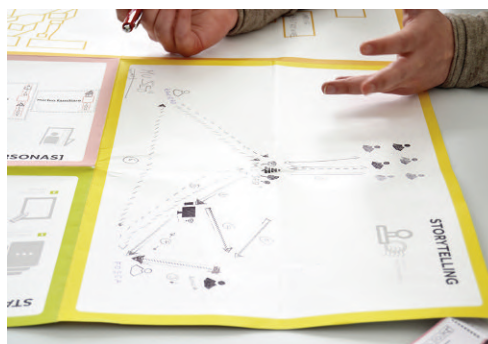
Operare nel Softdesign porta a optare per una innovazione di processo, sia nella fase generativa che nella fase esecutiva. Nella fase generativa l'innovazione riguarda proprio il metodo della progettazione che coinvolge un team di esperti e l'utente finale in una dinamica di co-design che amplia il ruolo del progettista in quello di facilitatore e visualizzatore di scenari. Nella fase esecutiva l'innovazione riguarda la relazione tra utente e beni, che investe non solo l'utente, ma l'intera società e l'ambiente in cui vive, andando a strutturare processi bottom up, generati dai cittadini, soluzioni che nella loro realizzazione producono innovazione sociale come potente generatore di sostenibilità e nuovi sistemi di valori. Ezio Manzini (2018) definisce i servizi come un'interazione tra persone, cose e spazi mirata a produrre valore. È su questo che si gioca la forma del cambiamento e dell'innovazione del fare progetto. Progettare servizi è una strada per incentivare il cambiamento, alimentare l'economia circolare, creare un terreno per la ricostruzione, una sorta di infrastruttura nel nostro tessuto sociale.

*Dare forma al processo* – Progettare in un'ottica di Softdesign implica la riscrittura degli strumenti e del metodo, ridefinendo quindi la modalità, la gestione, il processo, ma non le finalità del fare progetto. La comunità scientifica si è molto adoperata nell'elaborazione di strumenti volti a visualizzare le fasi, gli aspetti temporali, economici e di interscambio dell'esperienza del servizio progettato, ma non vi è stata un'altrettanta riflessione sugli strumenti da utilizzare nella fase di ideazione dell'esperienza. Il cambiamento per il quale risulta necessaria una riconfigurazione è la gestione e la stimolazione della dimensione plurale del fare progetto. Il progetto tradizionale è frutto di interazioni e compromessi nelle varie fasi di produzione e prototipazione con artigiani e/o aziende, mentre l'idea e il concept rimangono il risultato di un singolo o di poche menti di progettisti e addetti al settore. Viceversa, nella fase iniziale di elaborazione di un servizio il progettista lavora con una pluralità di figure, spesso provenienti da altri settori, in un processo progettuale collettivo, non a tutti confidenziale.

Il co-design applicato ai servizi, diviene terreno fertile di sperimentazione e innovazione per il quale non sono ancora state elaborate metodologie e prassi efficaci di coinvolgimento nella fase iniziale. Il termine co-design è considerato un termine ombrello (Scrivener, 2008) che si riferisce allo sforzo di combinare più visioni, input e skill di per-

sone con diverse prospettive per risolvere uno specifico problema. Secondo Albinsson, Lind e Forsgren (2007) il co-design è una risposta al bisogno di incontri costruttivi tra diversi stakeholders. Sanders e Stappers (2008) forniscono forse la definizione più efficace affiancando l'idea di co-design a un'azione di creatività collettiva: quest'accezione sottolinea l'aspetto di stimolo e suggestione importante per ispirare i designer, piuttosto che quello di validare i risultati di un processo già avvenuto. Non è sufficiente raccogliere idee attraverso un brainstorming di concetti fissati su post-it o far simulare agli stakeholders contesti possibili del servizio, è necessario raccogliere la sfida di introdurre la comunità di progetto nella mentalità di co-produzione del servizio sin dalle fasi iniziali.

Un esempio in questo senso è il caso del MindLab<sup>2</sup> fondato in Danimarca nel 2002, uno dei primi laboratori impegnati nell'innovazione del settore pubblico. Si tratta di uno spazio dove lavorano insieme designers, etnografi ed esperti delle politiche pubbliche. Coinvolgono cittadini e associazioni nello sviluppo di nuovi servizi, utilizzando indagini etnografiche e gli strumenti del service design, aprendo le attuali burocrazie per natura restie al cambiamento, verso un processo di revisione e co-creazione fatto con gli utenti e gli stakeholders. La facilitazione della partecipazione è un elemento chiave che necessita di strumenti efficaci come i design game, per il sostegno ai team di design multidisciplinare e alla collaborazione (Brandt, 2006). Il gioco consente infatti un livello comune di interpretazione delle situazioni, il miglioramento della comunicazione e facilita la generazione di idee. Per far ciò deve trovare il livello giusto di concretezza e astrazione da permettere un riferimento a casi possibili, ma generare nel contempo il pensiero creativo.



Figg. 4, 5 - Re-design Services Workshop. The Tools of Design for the Social: the Toolkit; Use of the toolkit for storytelling (credit: R. Fagnoni, C. Olivastri and G. Tagliascio, 2019).

Allo stato dell'arte non esiste un'elaborazione sistematica che definisce metodi e principi per dare forma al processo collettivo: sono a disposizione un ventaglio di strumenti da adattare in base agli obiettivi stabiliti. Essi attingono a diverse sfere che vanno dalla ricerca etnografica (interviste, indagini) alla messa in scena dell'esperienza (scenario, journey map), da modelli economici (business model canvas, business plan) e tecnologici ad altri provenienti dalla disciplina del design dei servizi (service blueprint, system map, stakeholders map).

Certamente per i designer la novità sta nel progettare con e per le persone, assumendo il ruolo di guida per fornire stimoli. Si dovranno quindi progettare strumenti/elaborati ad hoc in base alla squadra e al tipo di sfida da affrontare, schemi con visioni e scenari, ipotesi di funzionamento dei processi. La capacità del designer è quella di guidare il processo creativo, con tecniche che possano dare forma al processo per fare leva sui punti di forza e risolvere quelli più deboli, in modo da percepire l'esito finale come un risultato di squadra. La sfida quindi riguarderà la progettazione di strumenti generatori di idee, per far esprimere le capacità progettuali dei singoli componenti, portare la conoscenza, l'esperienza e la tecnica e cercare di trasmettere la complessità come uno stimolo da convertire in soluzioni semplici ed efficaci.

*Tool-kit, Tool-trip, Tool-guide: strumenti e metodi per il co-design* – Una recente esperienza condotta dal nostro team di ricerca sui servizi è il workshop 'Ri-progettare Servizi: gli Strumenti del Design per il Sociale' rivolto a imprese sociali, studenti e startup. Social hub, una realtà locale genovese che lavora come incubatore di impresa sociale, ha incaricato il nostro gruppo di diffondere i principi e gli approcci del design dei servizi rivolgendosi a tutte quelle realtà già attive nel sociale o che si stanno strutturando nel settore e che vogliono ri-progettare e dare forma al cambiamento. L'obiettivo è quello di accompagnare i partecipanti nell'ideazione e formulazione di una risposta a un problema da loro stessi individuato e portato come istanza urgente da risolvere insieme alla comunità di progetto. Il principio di base è quello del corto circuito di conoscenze. Se il corto circuito elettrico è da sempre visto come elemento negativo, diviene invece vitale nei processi di co-creazione, dove i componenti partono da diversi potenziali conoscitivi, che vengono poi assorbiti e messi a sistema per lo sviluppo di nuove idee, azzerando le iniziali resistenze. Se il progetto del servizio è da sviluppare in una comunità di progetto, perché vi sono solo strumenti tecnici specifici non inclusivi?

Un'indagine analitica degli strumenti di visualizzazione del processo progettuale del design dei servizi ha individuato un punto critico nelle rappresentazioni degli strumenti specifici del design dei servizi – quali journey map, system map, stakeholders map, service blueprint – perché eccessivamente tecnici per essere utilizzati nella fase di co-design, ma necessari a visualizzare il quadro complessivo di sviluppo e dettaglio dell'idea di servizio. La criticità sta nel fatto che questi strumenti vengono percepiti come elaborati distinti e destrutturati e non come componenti e approfondimenti di ciò che li lega fortemente: il progetto del tempo dell'esperienza.

La scelta è stata quella di rendere più inclusivi gli strumenti utilizzati nel service design, progett-

tando ad hoc un Tool-kit che si compone di tre parti: una Tool-guide, manuale di istruzioni che ripercorre in maniera sintetica i principali passi da compiere; un tabellone/gioco chiamato Tool-trip, che è il supporto di visualizzazione del processo e delle 'pedine' da personalizzare. Si tratta di un progetto pilota applicato all'impresa sociale, ma che nasce proprio per essere adattato anche ad altri contesti e divenire quindi uno strumento che agevola la co-progettazione dei servizi. Il Tool-trip è un elemento compatto che si sviluppa in due fasi propedeutiche: l'ideazione e la strutturazione. Attingendo dalla struttura narrativa del Viaggio di Chris Vogler (1992) l'esperienza del servizio diviene un viaggio che l'utente/eroe intraprende per risolvere un problema di partenza (problem setting) avvalendosi dell'aiuto di alleati (stakeholders) e anticipando le mosse degli antagonisti (ricerca competitors) per raggiungere la meta (risoluzione progettuale).<sup>3</sup>

In una prima fase si trovano le parti dedicate al problem setting, allo sviluppo di personas, all'analisi dei possibili stakeholders e competitors fino ad un primo storytelling/scenario della trama dell'esperienza. Nella fase di approfondimento vengono condensate poi la journey map, la system map, la stakeholders map e la service blueprint in una scacchiera che traccia nel tempo ogni momento del viaggio. Parallelamente si associano al personas, i soggetti necessari a raggiungere l'obiettivo preposto, i touchpoints che si attivano, i flussi di materiali, denaro e dati che vengono scambiati e le figure nel backstage di cui è necessario avvalersi per far avanzare l'eroe utente nella sua esperienza/viaggio. Lo strumento consente di focalizzare ogni passaggio senza mai perdere la visione d'insieme, il focus sull'utente, nonché la variazione continua dei soggetti che ruotano intorno ad esso attraverso la creazione delle pedine personalizzabili da poter mettere in gioco ad ogni passaggio.



Fig. 6, 7 - Re-design Services Workshop. Design tools for the Social: use of the toolkit for the process (credits: R. Fagnoni, C. Olivastri and G. Tagliasco, 2019).

L'aver tutte queste informazioni a disposizione simultaneamente aiuta a mettere in evidenza le ripercussioni immediate generate dalle diverse scelte e quindi a comprendere le conseguenze delle scelte progettuali nella scansione temporale del progetto. La figura del Service Designer, l'esperto in materia, ha il ruolo di coordinare e agevolare il processo. Si avvale dello strumento per diffondere e potenziare i processi e le tecniche progettuali dei servizi, facendo da guida, coach-designer, per i team multidisciplinari che lavorano sul progetto.

*Conclusioni* – Nella nostra epoca, segnata da gravosi scenari a livello planetario generati dall'impatto dei processi di trasformazione dei prodotti sull'ambiente e sulla nostra società, è necessario darsi degli obiettivi per reindirizzare il cambiamento. Integrare l'Hardesign con il Softdesign può offrire opportunità per rispondere alle sfide che il nostro tempo impone. I servizi stanno cambiando il nostro modo di lavorare, di collaborare, di viaggiare oltre che di consumare, stanno influenzando i nostri comportamenti e offrendo esperienze alternative legate alla sfera della sharing economy, creando nuove logiche collaborative e di mercato. Producono interazioni, sovvertono i tradizionali passaggi, si sviluppano spesso a partire dal basso, dalle iniziative dei cittadini che, grazie all'uso della tecnologia, riescono a innescare nuove forme imprenditoriali. Progettare o riprogettare i servizi è un'attività che prevede un approccio interdisciplinare, combina differenti metodi e strumenti offrendo nuove opportunità per ripensare le nostre relazioni con i beni. Aggiunge un approccio più etico alla dimensione del design hard: coinvolgendo le persone punta alla fruizione delle cose, piuttosto che al loro possesso e di conseguenza a un nuovo modello di innovazione, più sociale. Molte delle innovazioni affermatesi negli ultimi anni sono innovazioni sociali: dai social network ai servizi della sharing economy che abilitano opportunità, processi da pari a pari oltre che da produttore a consumatore. In diversi casi non sono state prodotte da grandi società, centri di ricerca o multinazionali, ma sono emerse grazie alla creatività di gruppi di lavoro, comunità auto-organizzate o anche singoli cittadini. Le grandi società globali hanno scoperto il potenziale di questo tipo di innovazione sociale e si adoperano per inglobarlo in strutture attraverso processi di open innovation o user-led design.

In Italia l'innovazione sociale<sup>4</sup> – ma anche quella tecnologica e commerciale – non ha un sistema chiaro di riferimento, né tantomeno di promozione. Alla passività del sistema amministrativo governativo si contrappone tuttavia un movimento in crescita, in particolare fra i nativi digitali. Molti di loro si sono mossi fra diversi paesi, per necessità o per scelta, confrontandosi e connettendosi con altre realtà; finita l'epoca delle grandi ideologie hanno sviluppato un approccio più diretto con la politica, promuovendo l'azione e producendo in questo modo innovazione sociale: un nuovo modo di fare impresa, di intraprendere un progetto, di riorganizzare le relazioni produttive. Come si può leggere nel Libro Bianco dell'Innovazione Sociale (Murray, Caulier-Grice and Mulgan, 2010) alla nostra crisi, basata su un modello consumistico non più sostenibile, potremo rispondere creando una struttura sociale più idonea a rispondere alle sfide del nostro tempo e in questo, l'approccio del Softdesign, di supporto allo sviluppo di soluzioni per i servizi può essere

una strada alternativa, basata su una pluralità di micro-azioni che partono dal basso.

Vanno in questa direzione le esperienze svolte con il workshop 'Ri-progettare Servizi: gli Strumenti del Design per il Sociale', con l'intento di sperimentare relazioni possibili fra le estetiche e le innovazioni nei processi progettuali del design del nostro tempo, seguendo il modello proposto da Alice Rawsthorn (2018), che mette in luce l'approccio di quei designer che si trovano a operare in modo innovativo e indipendente per affrontare le sfide del nostro tempo a cui i modelli utilizzati nel secolo scorso non sono più in grado di dare risposta. Gli obiettivi e i risultati raggiunti con la sperimentazione hanno portato ad avviare il processo di riprogettazione di tre differenti servizi nel campo del sociale, che saranno portati avanti nei prossimi mesi. Oltre a questa sperimentazione è prevista una fase di test sull'approccio utilizzato e i suoi supporti anche in altri contesti, per poter performare il Tool-kit su situazioni diverse proprio in quanto prototipo adattabile. La sfida è quella di creare un impatto positivo, riuscire a incidere e a cambiare gli orizzonti generando nuove traiettorie. Alimentare il Softdesign con il design dei servizi è un modo per contribuire a superare i vecchi confini per diventare produttori di esperienze positive. Abbiamo bisogno di una nuova generazione di servizi perché ci troviamo dinnanzi a una nuova generazione di sfide, che si possono risolvere se si arriva a 'progettare' la motivazione delle persone.

La dimensione plurale e trasversale sarà un fattore fondamentale del fare progetto nel prossimo futuro. I contributi di conoscenza e di metodo apportati dalla ricerca dovranno far evolvere gli strumenti tecnici e specialistici (rivolti a esperti) in supporti meno analitici più idonei all'uso in un processo collettivo generativo di nuovi saperi. Il processo sarà poi rielaborato dai diversi addetti ai lavori. L'obiettivo è quello di orientare la ricerca nello sviluppo di strumenti che favoriscano prima il confronto e poi l'approfondimento specifico, che agevolino e alimentino processi virtuosi. Tali approcci si rivolgono in generale al progettista e non solo al settore dei servizi. Sicuramente il coinvolgimento delle persone è un fattore determinante, e il design dei servizi sta svolgendo un ruolo primario. Ma sappiamo già che l'approccio centrato sull'uomo, la visione dell'human centered design, non è più sufficiente. Ciò che si prefigura infatti è il progetto in cui le persone sono coinvolte nel processo che pone al centro le relazioni con l'ambiente, con l'ecosistema, e anche con le entità e le intelligenze artificiali.

#### ENGLISH

*We are part of the last generations still able to clearly distinguish what it means to live off-line and online. The proliferation of innovations in the digital technology field has changed production processes and has now become heavily in our daily lives. In fact, many of the things we are dealing with are different than a few years ago. Most innovations related to objects consist of replicas and the work of designers often consists of modifying what some others have previously worked out. However, as stated in 2015 by Alice Rawsthorn<sup>1</sup>, former director of the Design Museum of London, journalist and design critic for the International New York Times, today the project disciplines related to new technologies and service design are*

more important than the products of furniture.

Innovation means producing transformations that generate value and money. It is a key factor for the renewal of products and processes that constitutes a boost to consumption. It is the introduction of something improving, often linked to the progress of techniques and technologies: it is our own nature (of imperfect beings with imperfect technologies) that drives us to innovation with a progressive tension towards completeness (Mancini, 2017). This continuous progression, according to Gianmario Verona (2018), leads us to speak of innovations, in the plural, which spread by triggering virtuous circles and inducing other innovations in turn. The progressive development of digital technologies has led in a few times to connect people, systems, communities, products and services, generating an enormous potential for transformations, with the aim of achieving ever-expanding performance. The concept of servitization dates back to the 1980s; it has developed as a process of enrichment and diversification of the offer, by which a product is no longer offered alone, but combined with a service (Cinquini, Minin and Varaldo, 2011). The phenomenon of digital service delivery (Vendrell-Herrero et alii, 2017) is constantly expanding, with a direct influence on design that requires an increase in skills «to compete with a world characterized by digital ubiquity and ubiquitous computing» (Lombardi, 2018, p. 4).

The background of contemporary design is marked by a slow and gradual transformation started uncontrollably with the transition from analogic to digital. In less than thirty years, the world has changed, precisely because of this continuous tension to improve the potential of everyday objects. The system of relations between things and people has changed, transforming entire sectors of the economy and culture, with heavy influences on the way of life, on society, on the markets. This situation affects, obviously, also the work of designers and the same design discipline. Traditionally oriented mainly towards the culture of material products (Hardesign), Design has recently looked to towards the project of more 'lighter' goods such as services or events that generate experiences (Softdesign), shifting users' needs from direct ownership to access practice, through shared use. Softdesign has different priorities from those of the past. While Hardesign was – and still is today – aimed at the product (material or immaterial) and the resulting profit, Softdesign is focusing on the decision-making and relational processes of organizations, systems and institutions.

As Maldonado already argued, in his review of the industrial product, the objects we face today are characterized by the fact that the virtual component is the substance, while the form, reduced to a minimum, is its support (Maldonado, 2011). Shaping objects, then, leads «to the overlap between the design of objects and the communicative design» (Maldonado, 2011, p. 75) referring to the concepts of 'interface' (Anceschi, 1993; Bonstiepe, 1995) and of 'interaction' (Zannoni, 2018). The crisis of Fordism is linked to the transition phenomenon from material production to immaterial production. In the Fordist model the corporate structures dedicated to innovation, research and development (RD), were centralized; in the post-Fordist model, instead, these get around and the distinction between conception and execution is

blurred; distributed intelligence are leading innovation processes and work organization follows more flexible models. This transition has led to productive delocalization, with the consequent dispersion of economic, cultural, social capital, and also of skills, which have thus been diverted to communication and services activities.

The progressive transformation of products according to the 'forma-merce' logic (Celaschi, 2000), increasingly dematerialized, leads to changing our way of consuming by offering alternative experiences linked to the sphere of the sharing economy and creating new collaborative and market logic. The value based on product has transferred to experience: as Perniola (2004) claimed, the achievement of pleasure in purchasing and owning material goods has been replaced by the maintenance of excitement during the experience: the focus shifts from the object to the subject. What are the backlashes on the project, on the designers' activities, on the design discipline?

On the one hand the supporters of the strong and historical theories of product design: they see in the contemporary drifts of the discipline the weak designer swarm, using the concept of design in a demagogic manner and proposing solutions of all kinds. They consider this trend as a design's connotation loss, turned towards organizational-managerial attitudes and skills with an operationalist perspective (Cristallo, 2015). Designers, therefore, are relegated as mere applicators of procedural patterns and models, data mappers, without, however, the skills to act as designers-directors (Pasca, 2010). On the other hand, those who extend the field and the concept of products, giving shape to new relationships between objects and subjects, they activate collaborative processes, proposing and exploiting the methods of design thinking or user-experience. Service Design for them is common practice, along with the design of network systems and strategies. They support economies based on the development of small start-ups, powered by bottom-up processes that see the solution of everyday problems through collaborative economies: so design acts as an activator of new experiences and as an expert guide in a world in which everyone designs (Manzini, 2015).

Hardesign vs Softdesign – The design object, to which the term product has traditionally been referred, has become a system that over time has expanded and complexed. It is a hybrid of tangible and intangible elements, a set of physical and social interactions that convey experiences. Its extension, as argued by Manzini (2010), is expressed by several factors. It describes the course from the material component to the intangible one, a value extension and an in-depth analysis of the meaning that the project is giving back to society. It may open up a range of possibilities that go beyond the binomial form and function, to push to a strategic level where it is possible to create a deep social impact (Penin, 2018). Hardesign and Softdesign seem to arise as antagonistic approaches, whereas in fact, they are necessary and complementary parts of an evolutionary process. With a certain balance, they shall detach themselves from the material and two-dimensional level, to rise towards social, environmental and economic surplus values.

The Soft component is the flexible, light one, which quickly adapts itself to demand's changes

and the market. The Hard component remains linked to artefacts and industrial or artisan production processes. In this historical moment, where speed becomes the currency of exchange par excellence, the Soft part is the one that most affects the determination of the plus value of the offer. In the past care was taken in details, now designers are more attentive to the system and the process. It also develops into the details, but mainly in the infrastructure that holds the parts together. The object of the designer's care focuses on the experience, in all its tangible and intangible aspects. The aesthetics of interaction becomes a compositional element and harmonizes the visual language. The element that holds the two aspects together is sustainability, on the one hand, linked to materials and on the other to the relationships and processes impact on the environment. In service design, sustainability becomes a paradigm of behaviour, merging the hard and the soft component. The service project assumes the evidence, as a necessary and tangible element of the immaterial experience, which is given by physical elements, communicative artefacts, interfaces, space systems.

The goal is not a single element, but the functional solution offered to the user. In the society of access by Rifkin (2001) the value of use becomes the exchange value to be accessed. The concept of ownership loses meaning in an era in which trying is more important than possessing. Just think of all the 'pooling' services that range from means of transport to workspaces, from apartments to tools. The material component is the discriminant between the different choices of the offer. The big challenge is in the way the artefacts are used, no longer perceived as exclusive, but applied by a community of users, who regulate their relationships on confidence. Experiences take place over time, a measurement unit that has never become



Fig. 8, 9 - Co-design during the Re-design Services Workshop. Design tools for the Social (credits: R. Fagnoni, C. Olivastri and G. Tagliasco, 2019).

part of the project, except as an indirect and allusive relationship. Time, in services, is the defining element of the experience. It sets out sequence and scanning of moments, but also coordination and management of a complex process that must take place in a predetermined order. Time and duration also make the ephemeral experience: the services are perishable insofar as they cannot be returned or resold once used.

Working in Softdesign leads to opt for process innovation, both in the generative phase and in the executive one. In the generative step, innovation concerns precisely the method of design. It involves a team of experts and the end user in a co-design dynamic that expands the designer role as facilitator and scenarios' viewer. In the executive phase, innovation concerns the relationship between user and goods, involving not only the user but the whole society and the environment. It aims to structure bottom-up processes generated by citizens, solutions producing social innovation as a powerful generator of sustainability and new value systems. Ezio Manzini (2018) defines services as an interaction between people, things and spaces aimed at producing value. The shape of change and innovation by making projects depends on this. Designing services is a way to stimulate change, feed the circular economy, create a field for reconstruction, a sort of infrastructure in our social fabric.

Shaping the process – Designing in a Softdesign perspective implies rewriting of the tools and method, thus redefining the modality, the management, the process, but not the aims of doing project. The scientific community has spent a great deal of time developing tools aimed at visualizing phases, temporal, economic and interchange aspects of the experience of the planned service, but there has not been an equally thought on the tools to be used in the ideation of design phase. The management and stimulation of the plural dimension of doing the project must be reconfigured for a changeset. The traditional project is the result of interactions and compromises in the various phases of production and prototyping with artisans and/or companies, the idea and the concept remain the result of a single or a few minds of designers and workers in the sector. Conversely, in the initial phase of processing service, the designer works with a plurality of figures, often coming from other sectors, in a collective design process, not confidential to everyone.

The co-design applied to services becomes fertile ground for experimentation and innovation for which effective methodologies and practices of involvement in the initial phase have not yet been developed. The term co-design is considered an umbrella term (Scrivener, 2008) which refers to the effort to combine multiple visions, inputs and skills of people with different perspectives to solve a specific problem. According to Albinsson, Lind and Forsgren (2007) co-design is a response to the need for constructive meetings between different stakeholders. Sanders (2008) perhaps provides the most effective definition by combining the idea of co-design with an act of collective creativity: this meaning underlines the aspect of stimulation and suggestion important to inspire designers, rather than to validate the results of a process that has already occurred. It is not enough to collect ideas through brainstorming of concepts fixed on a post-it or asking stakeholders to simu-

late possible contexts of the service, it is necessary to take up the challenge of introducing the project community into the service co-production mentality from the initial stages.

An example in this sense is the case of Mind-Lab<sup>2</sup> founded in Denmark in 2002, one of the first laboratories engaged in public sector innovation. It is a space where designers, ethnographers and public policy experts work together. They involve citizens and associations in the development of new services, using ethnographic surveys and service design tools, opening up the current bureaucracies that are naturally reluctant to change, towards a review and co-creation process done with users and stakeholders. The facilitation of participation is a key element that requires effective tools such as design games, to support multidisciplinary design teams and collaboration (Brandt, 2006). The game, in fact, allows a common level of interpretation of situations, the improvement of communication and facilitates the generation of ideas.

At the art state does not exist a systematic elaboration that defines methods and principles to give form to the collective process: a range of tools are available to adapt according to the established objectives. They draw on different spheres ranging from ethnographic research (interviews, surveys) to the staging of experience, (scenario, journey map) from economic models (business model canvas, business plan), technological models to others coming from the discipline of design of services (service blueprint, system map, stakeholders map).

Certainly, for designers the novelty is in designing with and for people, taking on the role of guide to provide suggestions. Therefore, according to the team and the type of challenge, it will have to be designed ad-hoc tools, schemes with visions and scenarios, hypotheses of process functioning. The designer's ability is to guide the cre-

ative process, with techniques that can shape the process to leverage strengths and solve weaker ones, as to perceive the final outcome as a team result. The challenge will concern the design of idea-generating tools, to express the design capabilities of individual components, bring knowledge, experience and technique and try to convey complexity as a stimulus to be converted into simple and effective solutions.

Tool-kit, Tool-trip, Tool-guide: tools and methods for co-design – A recent experience, carried out by our service research team, is the workshop 'Re-designing Services: Tools of Design for the Social' aimed at social enterprises, students and start-ups. Social hub, a local Genoese association that works as an incubator of social enterprise, has charged our group with spreading the principles and approaches of service design, addressing all those realities that are already active in the social field or are structuring themselves in the sector and wanting to re-design and shape change. The goal is to assist the participants from the ideation to formulation of a response to a problem they themselves identified and brought as an urgent request to be solved together with the project community. The short circuit of knowledge is the basic principle. If the electrical short circuit has always been seen as a negative element, it becomes vital in the processes of co-creation. In this case, the components start from different cognitive potentials, which are then absorbed and systematized for the development of new ideas, eliminating the initial oppositions. If the service design has to be developed in a project community, why are there only specific non-inclusive technical tools?

Observing the visualization tools of the service design process it has been identified a critical point in the representations of the specific tools of service design – such as journey maps, system maps, stakeholders maps, service blueprints – because they are too technical to be used in the co-design phase but fundamental to visualize the overall development and detail framework of the service idea. The critical aspect of these tools is that they are perceived as distinct and not as components of what strongly links them: the project of the temporal experience. The choice was to make the service design tools more inclusive, designing ad-hoc Tool-kit consisting of three parts: a Tool-guide, an instruction manual that summarizes the main steps to be taken; a board/game called Tool-trip, which is the visualization support of the process and of the 'pawns' to be personalized. This is a pilot project applied to social enterprise, but which is born precisely also to be adapted to other contexts and thus become a tool that facilitates the co-planning of services. The Tool-trip is a compact element that develops in two preparatory phases: the conception and structuring. Drawing from the narrative structure of the Journey by Chris Vogler (1992) the experience of the service becomes a journey that the user/hero undertakes to solve a problem (problem setting) using the help of allies (stakeholders) and anticipating the moves of the antagonists (competitor research) to reach the goal (design resolution).<sup>3</sup>

In a first phase, it can be found a part dedicated to the problem setting, to the development of personas, to the analysis of the possible stakeholders and competitors, up to a draft storytelling/sce-

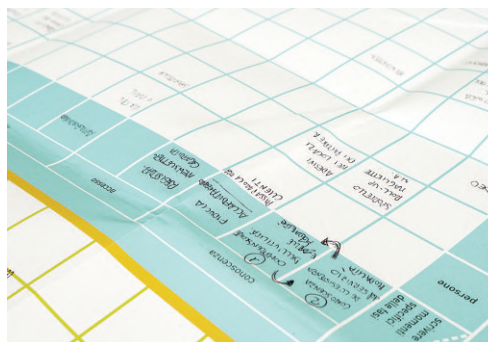


Fig. 13, 14 - Re-design Services Workshop. Design Tools for the Social: Co-design phases; Facilitating analysis through the toolkit (credit: R. Fagnoni, C. Olivastri and G. Tagliasco, 2019).

nario of the experience plot. In the deepening phase, the journey map, the system map, the stakeholder map and the service blueprint in a chessboard are tracked down to fix every moment of the journey. In parallel, every steps are associated with the personas, the subjects necessary to achieve the intended goal, the touchpoints that are activated, the flows of materials, money and data that are exchanged and the figures in the backstage which must be used to advance the user hero in his experience/journey.

The tool allows to focus on each step without ever losing the overall vision, the focus on the user, as well as the continuous variation of the subjects that revolve around it through customizable pieces that can be put into play at each step. All this information available simultaneously help to highlight the immediate repercussions generated by the different choices and therefore to understand the consequences of the design choices in the project time frame. The Service Designer figure, as expert in the field, has the role of coordinating and facilitating the process. It uses the tool to disseminate and enhance the processes and design techniques of the services, acting as a guide, coach-designer, for the multidisciplinary teams working on the project.

**Conclusions –** Our age is marked by heavy planetary scenarios generated by the impact of the transformation processes of products on the environment and our society. Therefore, it is necessary to set goals and to redirect change. Integrating Hardsdesign with Softdesign can offer opportunities to respond to the challenges that our time imposes. Services are changing the way we work, collaborate, travel as well as consume. They are influencing our behaviour, offering alternative experiences related to the sharing economy and creating new collaborative and market logic. They produce interactions, overturn the traditional passages, often develop from the bottom up, from citizens' initiatives. Through the use of technology, they can trigger new entrepreneurial conventions. Designing or redesigning services is an activity that involves an interdisciplinary approach, combining different methods and tools, offering new opportunities to rethink our relationships with goods. It adds a more ethical approach to the dimension of hard design: involving people aims at the use of things, rather than their possession and consequently a new more social model of innovation. Many of the innovations established in recent years are social innovations: from social networks to sharing economy services, that enable opportunities, processes that are peer to peer as well as a producer to consumer. In several cases, they were not produced by large companies, research centres or multinationals, but emerged thanks to the creativity of work groups, self-organized communities or even individual citizens. The large global companies have discovered the potential of this type of social innovation and strive to incorporate it into structures through processes of open innovation or user-led design.

In Italy, social innovation<sup>4</sup>, but also technological and commercial innovation, does not have a clear reference system, nor a promotion system. However, a growing movement is opposed to the passivity of the governmental administrative system, particularly among digital natives. Many of them moved between different countries, by necessity or by choice, confronting and connecting with



Fig. 10-12 - Re-design Services Workshop. Design Tools for Social: stakeholder analysis (credits: R. Fagnoni, C. Olivastri and G. Tagliasco, 2019).

other realities. After the era of great ideologies, they developed a more direct approach to politics by promoting action and thus producing social innovation: a new way of doing business, of undertaking a project, of reorganizing productive relations. As can be read in the White Paper of Social Innovation (Murray, Caulier-Grice and Mulgan, 2010) to our crisis, based on a no longer sustainable consumerist model, we will be able to respond by creating a more suitable social structure to respond to the challenges of our time: the Softdesign approach, supporting the development of solutions for services can be an alternative route, based on a plurality of micro-actions starting from the bottom.

The experiences carried out during the workshop *Redesign the Services for the Social*, follow this direction. They aim to experiment with possible relationships between aesthetics and innovations in the design processes of our time, according to the model proposed by Alice Rawstorn (2018). She highlights the approach of those designers who are working innovatively and independently to face our time's challenges, to which the models used in the last century can no longer answer. The aims and results achieved through this experimentation have started the process of redesigning three different services in the social field. They will be developed in the coming months. In addition to this experience, a test phase is planned to evaluate the approach used and its supports also in other contexts, to perform the Tool-kit in different situations as an adaptable prototype. The challenge is to create a positive impact, to affect and change horizons by generating new trajectories. Nurturing Softdesign through service design is a way to help overcome old boundaries to become producers of positive experiences. We need a new generation of services because we are faced with a new generation of challenges, which can be solved if we design people motivation.

The cross and plural dimension will be a fundamental factor in making a project for next future. The knowledge and method contributions generated by the research will have to evolve technical and specialized tools (aimed at experts) into less analytical supports. They will be more suitable for use in a collective process generating new knowledge. The process will then be reworked by the various experts. The aim is to guide research towards the development of tools promoting first the comparison and then the specific in-depth analysis, which will facilitate and nurture virtuous processes. These approaches are generally addressed to the designer and not only to the service field. Surely the involvement of people is a determining factor, and the design of services is playing a huge role. But we already know that the human-centred approach, the vision of human-centred design, will be no longer sufficient. The foreshadowed project aims to involve people in the process focusing on relations with the environment, with the ecosystem, and also with entities and artificial intelligence.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection by the Authors. Despite this, the introductory paragraph and 'Context and Hardsdesign vs Softdesign' are to be attributed to R. Fagnoni, the paragraphs 'Shaping the process' and 'Tool-kit, Tool-trip, Tool-guide: tools and methods for co-design' to C. Olivastri while the 'Conclusions' paragraph has been elaborated jointly.

#### NOTES

- 1) For further details see the website: <https://www.dezeen.com/2015/03/30/salone-del-mobile-design-as-superficial-stylistic-tool-alice-rawstorn-milan-2015/> [Accessed 3 April 2019].
- 2) For further details see the website: <http://thegovlab.org/mindlab-the-evolution-of-a-public-innovation-lab/> [Accessed 3 April 2019].
- 3) Contents developed starting from the Master' Degree Thesis in Design by Giovanna Tagliasco, 'Service Design: Designing a history of connections', March 2018.
- 4) The concept of social innovation is defined as a social-



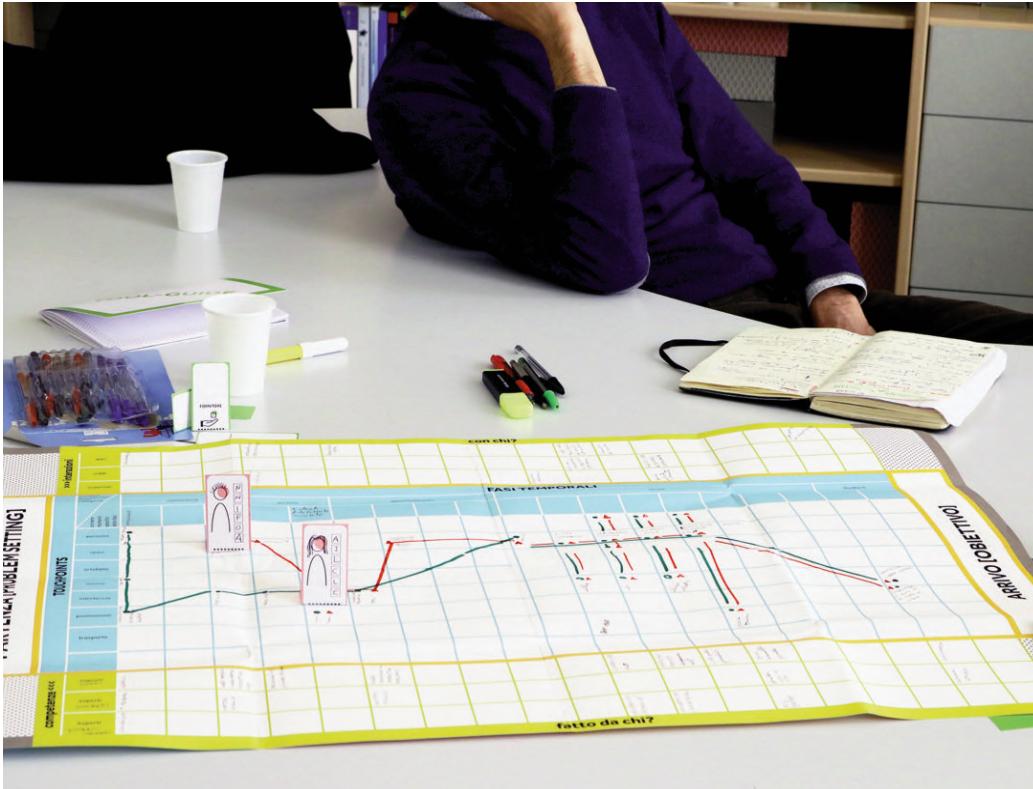


Fig. 15 - Re-design Services Workshop. Design tools for the Social: process hypothesis for environmental service (credit: R. Fagnoni, C. Olivastri and G. Tagliasco, 2019).

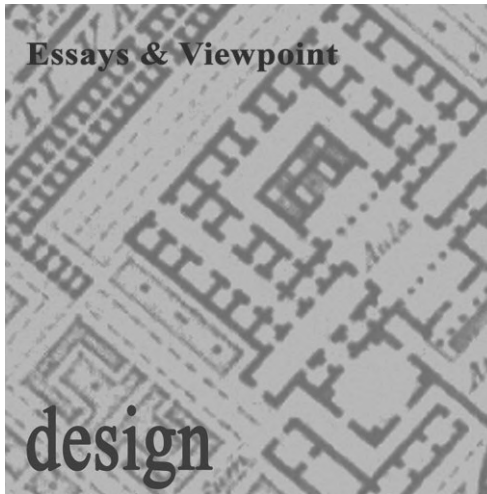
ized innovation that creates new technical or organizational knowledge but also a pragmatic approach to social problems: it applies managerial techniques to solve problems in the present, without worrying too much about the ideological horizon or political correctness. Social innovation also implies the use of new technologies and above all new organizational forms, where the organization from the bottom coexists with a 'network sociability' and where the same social relationships become tools to be mobilized in the entrepreneurial activity. Social innovation involves a new way of organizing human activity (Murray, Caulier-Grice and Mulgan, 2010).

#### REFERENCES

- Albinsson, L., Lind, M. and Forsgren, O. (2007), "Co-design: an approach to border crossing, network innovation", in Cunningham, P. and Cunningham, M. (eds), *Expanding the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies*, vol. 4, part 1, IOS Press, Amsterdam, pp. 977-983.
- Aneschi, G. (ed.) (1993), *Il progetto delle interfacce. Oggetti colloquiali e protesi virtuali*, Domus Academy, Milano.
- Bonsiepe, G. (1995), *Dall'oggetto all'interfaccia. Mutazioni del design*, Feltrinelli, Milano.
- Brandt, E. (2006), "Designing Exploratory Design Games: A framework for Participation in Participatory Design?", in Jacucci G. and Kensing, F.(eds), *PDC '06 / Proceedings of the ninth conference on Participatory Design: Expanding boundaries in design, Trento 01-05 August 2006*, vol. 1, ACM Press, New York, pp. 57-66. [Online] <https://www.ida.liu.se/divisions/hcs/ixs/material/serviceDesignGbg10/2%20Additional%20readings/designGames.pdf> [Accessed 3 April 2019].
- Celaschi, F. (2000), *Il design della forma-merce*, Il sole24ore, Milano.
- Cinquini, L., Di Minin, A. and Varaldo, R. (2011), *Nuovi modelli di business e creazione di valore: la Scienza dei Servizi*, Springer, New York.
- Cristallo, V. (2015), "La crisi del prodotto nel design del prodotto", in *Op. Cit.*, n. 152, pp. 25-37. [Online] Available at: <https://e.issuu.com/embed.html#13706082/11478868> [Accessed 3 March 2019].
- Lombardi, M. (2018), *Cos'è la digital servitisation e come sta cambiando l'economia*. [Online] Available at: <https://www.agendadigitale.eu/industry-4-0/cose-la-digital-servitization-e-come-sta-cambiando-leconomia/> [Accessed 7 April 2019].
- Maldonado, T. (2011; I ed. 1976), *Disegno Industriale un riesame*, Feltrinelli, Milano.
- Mancini, M. (2017), "Fattori di innovazione per il design, individuazione dei grip factor", in G. Lotti, G. and Tosi, F. (eds), *La ricerca di Design nelle tesi di dottorato dell'Università di Firenze*, didapress, Firenze, pp. 167-195.
- Manzini, E. (2018), *Politiche del quotidiano*, Edizioni Comunità, Roma.
- Manzini, E. (2015), *Design, when everybody designs*, MIT Press, Cambridge.
- Manzini, E. (2010), "Small, local, open and connected. Design research Topics in the Age of networks and Sustainability", in *Journal of Design Strategies*, vol. 4, n. 1, pp. 8-11.
- Murray, R., Caulier-Grice, J. and Mulgan, G. (2013), *Il libro bianco dell'innovazione sociale* [orig. ed. *The Open Book of Social Innovation*, 2010], The Young Foundation, Londra.
- Pasca, V. (2010), "Il Design nel futuro", in *Treccani XXI secolo*. [Online] Available at: [http://www.treccani.it/enciclopedia/il-design-nel-futuro\\_%28XXI-Secolo%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/il-design-nel-futuro_%28XXI-Secolo%29/) [Accessed 3 April 2019].
- Penin, L. (2018), *An Introduction to Service Design. Designing the invisible*, Bloomsbury Visual Art.
- Perniola, M. (2004), *Contro la Comunicazione*, Einaudi, Torino.
- Rawsthorn, A. (2018), *Design as an Attitude*, JRP Ringier, Zurich.
- Rifkin, J. (2001), *The Age of Access: The New Culture of Hypercapitalism Where All of Life is a Paid-For Experience*, Tarcher/Putnam, New York.
- Sanders, E. B. N. and Stappers, P. J. (2008), "Co-creation and the new landscape of Design", in *CoDesign*, vol. 4, issue 1, pp. 5-18.
- Scrivener, S. (2008), "Editorial", in *CoDesign | International Journal of Co Creation in Design and the Arts*, vol. 4, issue 3, pp. 131-132.
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O., Parry, G. and Georgantzis, N. (2017), "Servitization, digitization and supply chain interdependency", in *Industrial Marketing Management*, vol. 60, pp. 69-81.
- Verona, G. (2018), "Innovazioni", in *Wired | Le parole del 2019*, n. 87, p. 144.
- Vogler, C. (1992), *Il viaggio dell'eroe* [orig. ed. *The Writer's Journey: Mythic Structure for Writers*, 1992], Dino Audino, Roma.
- Zannoni, M. (2018), *Progetto e interazione. Il design degli ecosistemi interattivi*, Quodlibet, Macerata.

<sup>a</sup> RAFFAELLA FAGNONI, Associate Professor in Design at the Department Architecture and Design, University of Genoa (Italy), she is the Coordinator of the Master Degree in Product and Event Design and of the Curriculum in Design of the Doctorate in Architecture and Design. The areas of activity and research: themes of a social nature, territory and identity, reuse and circular economy, events for the enhancement of the territorial cultural heritage. Mob. +39 328/01.84.130. E-mail: [raffaella.fagnoni@unige.it](mailto:raffaella.fagnoni@unige.it)

<sup>b</sup> CHIARA OLIVASTRI, Architect, PhD in Design and research fellow at the Department Architecture and Design, University of Genoa (Italy). Her research activity is focused on the themes of service design and social innovation, investigating strategies, actions and processes of co-design in reality and contexts to be enhanced. Mob. +39 347/16.57.166. E-mail: [chiara.olivastri@arch.unige.it](mailto:chiara.olivastri@arch.unige.it)



## CEMENTO AD ALTE PRESTAZIONI INNOVAZIONE E FILIERA PER LA PUBLIC ART E L'ARREDO URBANO

### HIGH-PERFORMANCE CONCRETE INNOVATION AND SUPPLY CHAIN FOR PUBLIC ART AND URBAN FURNITURE

Rossella Maspoli<sup>a</sup>

#### ABSTRACT

L'attuale disponibilità di miscele cementizie UHPC (Ultra High Performance Concrete), con comportamenti adattivi e pluriprestazionali, muta il concetto stesso di 'materia', permettendo forme e disegno complesso, potenziando l'uso del conglomerato in altri settori, aprendo a nuove poetiche progettuali secondo il concetto di 'non standard' in processi di produzione neoartigianale avanzata. Si analizza come i risultati della ricerca tecnologica sui compound cementizi abbia messo a disposizione una tipologia di miscele che permettono di estendere il processo creativo e di produzione 'on demand' per elementi autoportanti di urban furniture e public art. Sono delineati risultati e prospettive delle filiere, in termini di prestazioni, adeguamento normativo, costi, costruzione di network e di un nuovo mercato.

The current availability of UHPC (Ultra High Performance Concrete) concrete mixes with an adaptive and multi-performance behaviour has transformed the concept of 'matter' itself, allowing the construction of complex shapes and designs, and boosting the use of the compound in different sectors, thus opening new design paths following the concept of 'non-standard' in advanced neo-handicraft production processes. The results of technology research on the concrete compounds are analysed in terms of how they have offered a type of mix that allows an expansion of the creative and 'on-demand' manufacturing process for self-supporting urban furniture and public art elements. The results and outlook of the supply chains are outlined in terms of performance, adjustment to standards, costs, network-building, and new market.

#### KEYWORDS

innovazione processo, compound, UHPC, multiprestazionalità, progetto creativo

process innovation, compound, UHPC, multi-purpose, creative design

All'origine della diffusione del cemento, è il ruolo di sostitutivo più resistente, duttile, economico e standardizzabile della pietra. Alla fine degli anni '80, la disponibilità di miscele a comportamenti ultrasensibili e pluriprestazionali – gli Ultra High Performance Concrete (UHPC) e gli Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) – ha posto le condizioni per ripotenziare l'uso del conglomerato in settori non tradizionali e non strettamente legati alle strutture portanti. La disponibilità tecnologica ha aperto a poetiche progettuali non standard e a quanto Frédéric Migayrou (2004) e le neoavanguardie di fine '900 preannunciavano: mutazioni di forme che richiamano quelle naturali per un'architettura evolutiva e dinamica, superando la stretta standardizzazione industriale in base alla potenzialità di algoritmi generativi.

L'emersione di nuovi compound che permettono esecuzioni senza armature o con minimi rinforzi in fibra – come Ductal (Lafarge), SMART-UP (Vicat) e BSI (Eiffage) – ha aperto negli ultimi venti anni a modi sperimentali che presentano affinità con il periodo di diffusa innovazione del cemento armato, fra anni '30 e anni '40. L'interazione con il 'saper fare' della cultura materiale, l'innovazione tecnologica e formale avevano caratterizzato il progetto di opere di altissima qualità in una nuova definizione del rapporto fra l'economia e la regola (Iori and Poretti, 2012). Questa prospettiva del moderno si basava sull'atteggiamento sperimentale, la conoscenza tecnico-esecutiva e la capacità creativa oltre la scienza delle costruzioni classica, ponendo al centro la costruzione del modello. È il caso dell'innovazione legata alle volte sottili armate, secondo un approccio insieme morfologico e plastico, come nella grande copertura di Eduardo Torroja nel Frontón Recoletos di Madrid (1935) o nella pensilina di Aldo Favini nella Stazione di Servizio Aquila a Sesto San Giovanni (1949).

I conglomerati ad altissime prestazioni inducono di nuovo a processi a serie personalizzabile. Già all'inizio degli anni 2000 nel dibattito internazionale si è evidenziata la pluralità applicativa non espressa degli UHPC (Fehling, Bunje and Leutbecher, 2004). L'approccio metodologico della ricerca fa riferimento alla prospettiva di protocolli di ottimizzazione esecutiva e affidabilistica, con il controllo dell'estetica della superficie e del comportamento resistivo in relazione alle condizioni ambientali. A partire dal processo sperimentale di

'projet and construction management' condotto per le prime opere italiane di arte pubblica in UHPC (Parco Peccei, Torino, 2015), si delineano le potenzialità di sviluppo. In particolare nel campo dell'urban design, si analizzano i termini di sviluppo tecnologico, capacità di offerta di prodotti, garanzie della qualità prestazionale e innovazione di processo per un mercato sostenibile, definibile del 'neoartigianato Made in Italy'.

*Multiprestazionalità* – Gli UHPC si connotano per l'alto contenuto di cemento (da 500 a 700 kg/m<sup>3</sup> nelle miscele di ultima generazione), il basso rapporto acqua-cemento, la granulometria ultrafina (indicativamente inerti microfini, in frazioni variabili di 2-20 µm e aggiunta di micro-nanosilici sintetiche amorfe in frazioni variabili di 0,2-4 µm) con l'eventuale presenza di fibre poliviniliche (PVA), inorganiche o metalliche ad alto tenore di carbonio (attorno all'1,0%). Negli UHPC di ultima generazione la resistenza a compressione (120-160 MPa) diminuisce, inoltre, in funzione dell'aumento della resistenza a flessione e del modulo elastico (> 80 GPa), contenendo le deformazioni, attraverso la produzione di un pre-stress interno omogeneamente diffuso (Corinaldesi, 2016). La National Precast Concrete Association (2014) considera il raggiungimento di resistenze alla compressione fino a 200 MPa con rinforzi in fibre ad alto tenore di carbonio e 117 MPa con PVA, resistenza a flessione fino a 20 MPa, per cui nelle applicazioni di elementi architettonici e di design la presenza del rinforzo in fibra è eliminata o minimizzata. La corretta dosatura e il comportamento micromeccanico permettono l'ottenimento anche di resistenza a trazione, con elevati valori di deformazione e verifica a taglio-punzonamento.

La vita utile è molto più elevata, in considerazione dell'assenza di patologie legate al copriferro con attacco corrosivo, delaminazione e fessurazione. Prestazioni significative in termini di sostenibilità ed eco-efficienza sono, inoltre, in relazione alla riduzione del consumo di materie prime e risorse energetiche nella produzione. (Harris, 2010). La scala nanometrica degli inerti consente il maggior legame delle particelle nel rapporto superficie-volume, minimizzando i vuoti e la permeabilità, ma al contrario il comportamento al ritiro e alla deformazione viscosa (creep) e il ritiro plastico alle brevi stagionature tendono ad accrescersi (Quiroga and Fowler, 2004) e devono essere controllati in

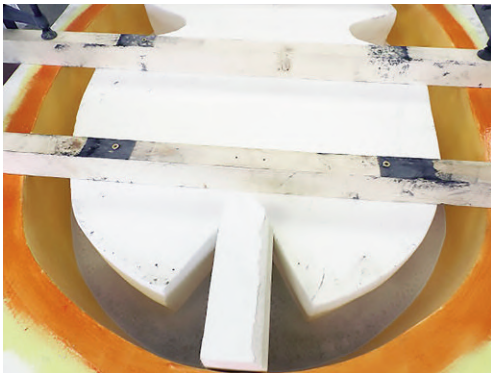


Fig. 1, 2 - Flowstone, UHPC, public art: Priming and preparation of the mould; Formwork surface unfinished (credits: R. Maspoli, 2015).

funzione di additivi ed elasticità delle casseforme. Negli interventi legati a elementi perimetrali d'involucro e di urban furniture è, quindi, essenziale l'impiego di superfluidificanti e anti-ritiro.

**Caratterizzazioni di esecuzione** – Fase essenziale è l'esecuzione del getto, il calore di idratazione del cemento deve essere mantenuto il più basso possibile con il controllo del dosaggio degli additivi, dell'acqua e degli eventuali pigmenti, al fine di prevenire disomogeneità e insorgenza di tensioni e fessurazioni termiche. L'adozione di superfluidificanti permette di regolare l'aderenza e l'adattabilità di casseforme anche a disegno complesso, mentre il trattamento preparatorio degli stampi – eseguiti in polistirolo, polistirene, lattice – nei test effettuati (Fig. 1) è risultato essenziale per ottenere una superficie uniforme nel colore e nella grana<sup>1</sup>. Il controllo della stagionatura umida rapida e dell'aderenza delle matrici nella scasseratura evitano fenomeni di risalita in superficie dell'acqua di miscela durante la compattazione e la formazione di vespai localizzati superficiali. Inoltre, essenziale è il controllo delle procedure di confezionamento e trasporto, in quanto la contaminazione superficiale può avvenire attraverso l'esposizione all'acqua in

una singola area dell'elemento finito, causando macchie durante il processo di polimerizzazione (Henry and Heaney, 2017). Emerge il ruolo ancora essenziale dell'expertise esecutivo, complementare alla ricerca tecnologica.

**Aspetto e affidabilità** – Altra potenzialità di miglioramento dell'affidabilità degli elementi in esterno è data dall'aggiunta di strati protettivi superficiali, fra cui rivestimenti composti da leganti con cariche metalliche frantumate, che rallentano ulteriormente la penetrazione degli agenti aggressivi. I protettivi anticarbonatazione, antifessure, antimacchia e antigraffiti applicati, invece, post-posa richiedono in genere cicli ripetuti, inferiori ai 10 anni, comportando interventi manutentivi sovente non programmati. I protettivi sperimentati sono di due tipi: impermeabilizzanti ad assorbimento, per la protezione di superfici soggette ad usura, senza alterazione estetica del conglomerato; filmogeni con effetto alterante (lucido) dell'aspetto superficiale del materiale. Si è sottolineato (Henry and Heaney, 2017; Bader, Waldner, Unterberger and Lacknerab, 2019) che a causa della bassa profondità di penetrazione per la bassa permeabilità di UHPC e HPC il comportamento nel tempo non differisce sostanzialmente, permettendo l'estrazione di costituenti calcio solubili dalla pasta di cemento indurita, che impedisce la deposizione di efflorescenze e i cambiamenti di colore in presenza di pigmenti. In relazione all'ottimizzazione del ciclo di vita ambientale, è significativa l'applicazione di uno strato fotocatalitico a base di biossido di titanio, con proprietà autopulente e di abbattimento degli inquinanti (UNI 11247:2010).

L'elemento faccia a vista è, principalmente, strumento di comunicazione in termini percettivi, visivi e tattili, la finitura è operazione essenziale per l'aspetto, attraverso levigatura a secco e decapaggio della superficie per l'eliminazione di macchie, graffi, minimi dislivelli residui (Fig. 2). Nel tempo, i prodotti in UHPC tendono ad assumere un aspetto non identificabile rispetto al materiale lapideo, richiamando la storica visione di Nicholas Negroponte (1995) sulla futura invisibilità delle differenze fra naturale e artificiale. L'invecchiamento è paragonabile a quello del materiale lapideo di elevata durezza e compattezza, fino all'assimilazione a un contesto naturalistico.

Nel monitoraggio in corso su elementi di public art e urban design – eseguiti con cementi tradizionali, con o senza protettivo, e UHPC – in 4 anni si è evidenziato per gli UHPC un comportamento di sporatura locale dovuta all'azione di agenti atmosferici e inquinanti che in prevalenza si elimina con processi di autopulitura, e limitata formazione di patine (Figg. 3, 4). Le patine di invecchiamento presentano lievi alterazioni cromatiche e areali, senza formazione di efflorescenze e rotture superficiali. A confronto, gli elementi in cemento tradizionale hanno più rapida formazione di macchie e alterazioni cromatiche, con minor resistenza all'abrasione e all'urto<sup>2</sup>. Nel caso dei coloranti applicati in pasta, le prestazioni di resistenza a UV e stabilità sono differenziate, la decolorazione causata dall'azione dei raggi ultravioletti e dalla carbonatazione superficiale emerge come limitata alla presenza di pigmenti scuri, in particolare nero e rosso, a base di ossidi di ferro (Figg. 5-11). La criticità maggiore riscontrata riguarda la presenza di graffiti dovuti al vandalismo, che richiedono l'asporta-

zione. La bassissima porosità agevola, comunque, la rimozione con sistemi meccanici a granulato – adottabili in assenza di elevate complessità di disegno – o con idropulitura ad alta pressione, minimizzando la perdita di strato superficiale.

La presente ricerca contribuisce alla letteratura che attualmente non presenta studi significativi su comportamento nel tempo e trattamento degli elementi in esterno nello spazio pubblico, che avrebbero un ruolo rilevante in termini di analisi affidabilistica per orientare le strategie di mercato.

**Potenzialità innovative di prodotto e di processo** – I mix-design cementizi innovativi attraverso processi di prefabbricazione di alta qualità permettono di sviluppare processi creativi e di produzione customer-oriented. Le applicazioni riguardano pannelli di rivestimento dell'involucro e di partizione – piani come tridimensionali e reticolari – elementi autoportanti di urban design (sedute, tavoli, dissuasori, barriere, ecc.) e public art. Le realizzazioni si connotano con l'ottimizzazione della forma attraverso i sistemi scanner 3shape e software Cad/Cam, applicati alla definizione di alto dettaglio di matrici che devono permettere altissima precisione di esecuzione. Lo studio ha riguardato, quindi, il confronto fra i principali mix-design di UHPC e le filiere di progetto e produzione presenti sul mercato internazionale.

Ductal, brevettato nel 1994 da Lafarge, è caratterizzato da una continua ricerca di componenti minerali naturali finissimi e fibre non metalliche, per diminuire la quantità di cemento rispetto agli UHPC di prima generazione. Le potenzialità sono in relazione alle elevate caratteristiche meccaniche, alla resistenza all'abrasione superiore a materiali quali il granito, alla bassissima permeabilità agli agenti aggressivi (acqua, polveri sottili e inquinanti aerei) e all'elevata duttilità nell'eventuale comportamento postfessurativo. Il 'molecular concrete' è alla base della catena italiana di fornitura-produzione nel campo dell'urban design di Metalco, con la produzione di elementi a profilo aperto o chiuso a sezione sottile, come la panca AIR di spessore 25 mm (Fig. 12). L'efficacia ed efficienza del processo si basano sull'interazione fra ricerca e produzione, con l'internalizzazione dell'intero ciclo tecnologico da mix design a urban design: produzione degli stampi, test dei componenti, engineering, getto e rifinitura. L'azienda ha promosso anche lo sviluppo di Untratense Concrete, un mix design definibile altamente duttile e ad alto scorrimento, che facilita l'esecuzione e permette l'aggiunta di pigmenti lapidei (Fig. 13).

I.design EFFIX di Italcementi-Ciment Calcia è, invece, una malta a elevate prestazioni meccaniche e estetiche confrontabile agli UHPC, additivata con fibre di vetro resistenti agli alcali. La filosofia di filiera si basa sulla facilità di utilizzo: il composto è premiscelato a secco con additivi e inerti, necessitando della sola aggiunta di acqua. Lo sviluppo di mercato ha riguardato prototipi di serializzazione personalizzata per arredi esterni, come nel caso della collezione di tavoli e sedie Parabola di Mac Stopa, per Italcementi/Archiform.

Buzzi Unicem-Dyckerhoff ha sviluppato, diversamente, due composti con rilevanti potenzialità di riverberazione dalle applicazioni industriali attuali a quelle architettoniche. Flowstone è un legante ad altissime prestazioni in cemento Portland EN 197-1 (con inerti di fuso granulometrico  $\leq 0,5$

mm) che richiede al prefabbricatore l'additivazione controllata di fluidificanti, disareanti, autocompattanti e acqua. Nanodur è un cemento UHPC senza aggiunta di silice, la cui formulazione ha consentito di sperimentare elementi portanti ultrasottili con il rinforzo dell'1,1% del volume in microfibre – raggiungendo un valore di 150 MPa di resistenza a compressione (Möllmann, 2011) – e le cui proprietà sono accresciute con l'adozione di un aggregato (Durigid) in minerale sintetico (Maspoli, 2016). Oltre al supporto di fornitura e tecnico-logistico, il produttore valuta le potenzialità di sviluppo di una catena di architectural pre-cast essenzialmente sul mercato tedesco, più avanzato di quello italiano.<sup>3</sup>

Quantz, prodotto su brevetto da G.tecz, si connota per l'ottimizzazione eco-sostenibile, con la configurazione della miscela UHPC basata anche su materie prime locali, con costi e emissioni di inquinanti ridotte, pur raggiungendo valori di resistenza a compressione (175 MPa) propri della classe. Il modello di filiera – nella più recente esperienza italiana di The Italian Lab UHpc – è finalizzato a produrre sia sistemi di rivestimento che arredi, ol-

tre che strutture tecniche industriali. La produzione prevede, in funzione delle casseforme adottate, una versatilità sia cromatica sia di configurazioni di forma, sottigliezza, snellezza – fino allo spessore limite dichiarato di 20 mm – e una finitura superficiale nel compound con prestazioni autopulenti.

Slimconcrete, UHPC progettato da Escofet 1886, è un altro caso di ricerca e trasferimento tecnologico, in collaborazioni fra azienda di settore, laboratori di ricerca e strutture universitarie, quali l'iMat – Centro Tecnologico della Costruzione e l'Università Politecnica della Catalogna. L'innovazione, nell'azienda tradizionale, riguarda lo sviluppo sia di gamme di prodotti che di componenti da prototipizzare (Fig. 14).

Nell'ibridazione fra tecnologia e design, si evidenziano le potenzialità compositive del conglomerato sottoposto ad azioni altamente deformative – come piegare, torcere, ridurre a lamine – e la riflessione sui mutamenti della cultura del costruire, con una trasposizione tipologica da altri materiali, come nel caso della panchina in cemento Costruqta di David Karàsek prodotta da mmcity, che riproduce lo stilema della trave metallica Warren

(Fig. 15). Il gruppo Ceco si connota per un approccio di 'generative design' sul mercato internazionale per lo spazio pubblico, come struttura tecnica di intermediazione fra designer, ingegneri e architetti, in grado di trasformare le idee in progetti attraverso la proposizione di differenti alternative di esecuzione.

Le esplorazioni della forma e del linguaggio determinano l'identità di brand, che si sviluppa in relazione a specifici temi di costruzione del micro-paesaggio locale, per accrescere la qualità dell'ambiente urbano. L'interfaccia integrato progettista-tecnologo-produttore prospetta un vantaggio competitivo per la capacità di gestire il processo di standardizzazione a piccola serie controllata. Essenziale – nelle aziende catalane come Escofet e MagoUrban – è l'interazione con il design di arredo urbano, involucro, barriere e pavimentazioni esterne per raggiungere un corporate-brand di scala internazionale. Fra i più recenti materiali cementizi ultraperformanti, HERACLEX – brevettato dallo spin-off INNOVAcete dell'Università Politecnica delle Marche – si pone, invece, nella prospettiva di manufatti a minor costo di produzione e



Fig. 3, 4 - Monolith urban furniture benches in Turin, made of concrete containing fine aggregates. On the left (area: Corso Palermo), without superficial finishing: colour variation, patina and local staining, after 4 years operating life; On the right (area: via Cigna), with superficial chromatic finishing: colour variation, patina in lower area, after 3 years operating life (credits: R. Maspoli, 2019).

di trasporto con maggiori prestazioni di eco-sostenibilità degli inerti e di atossicità, aderendo sia alla filiera cosiddetta del 'getto' sia a quella del 3D printing (Corinaldesi, 2016).

La connotazione di processo delle filiere esaminate riguarda sviluppo tecnologico, transfer, servizio di supporto alla costruzione. La prima fase – propriamente industriale – concerne lo sviluppo della formulazione della miscela, la stima delle proprietà fisiche e meccaniche, la verifica di ottimizzazione con prove di laboratorio, la specifica delle classi di resistenza richieste in riferimento alle normative internazionali in itinere, la ricerca delle materie prime applicabili. La fase di trasferimento tecnologico, riguarda lo studio dell'applicazione del processo nella struttura di produzione con serie di test diretti, adeguamento della formulazione alle condizioni di produzione e fornitura di un know-how dallo sviluppatore all'esecutore, necessario al rilascio di garanzie di qualità e coerente alla formazione degli operatori. La terza fase, di service engineering, costituisce un necessario supporto per l'ottimizzazione, in funzione della pluralità dei fattori che influenzano il dosaggio della miscela per l'applicazione nello stampo e la cassetta/casseratura/scasseratura, consentendo di risolvere – attraverso test e confronto di expertise – problemi di lavorabilità e qualità delle superfici.

La catena di neoartigianato si esplicita con l'indirizzo di marketing strategy a settori di nicchia, ma la prospettiva è di mass customization, inteso come approccio produttivo-commerciale che si fonda sulla capacità di un processo integrato di offrire prodotti e servizi personalizzati a costi confrontabili rispetto alla produzione standard. Il concetto di atelier tecnologico-digitale del cemento per la produzione on demand e a serie snella deve avvalersi di filiere di supply chain crescenti (Noche and Tarek, 2013). La domanda in Italia è ancora limitata, malgrado la presenza di una rilevante tradizione artigiana – in evoluzione dalla tipologia tradizionale del cementista – e l'innovazione tecnologica ha impatto inferiore rispetto ai mercati di Francia, Germania e Svizzera. In tali mercati, processi di produzione per getto di UHPC in impianti automatizzati e industrializzati sono già sperimentati per i pannelli di rivestimento dell'involucro, raggiungendo prezzi di fornitura competitivi rispetto alla pietra e altri materiali di alta gamma. Inoltre, facilità e velocità di installazione e trasportabilità possono ulteriormente contribuire al risparmio complessivo (Henry and Heaney, 2017).



Fig. 5 - Monolith urban furniture benches made of concrete containing fine aggregates and with superficial etching and waterproof finishing: colour variation, slight patina in lower area (operating life: 4 years); Parco Nervion, Abandoibarra, Bilbao (credit: R. Maspoli, 2006).

Fig. 6 - Urban furniture benches made of concrete containing coarse aggregates and superficial chromatic finishing: local cracking, colour variation, extensive patina (operating life: 3 years); area: via Ternengo, Turin (credit: R. Maspoli, 2018).

L'altra configurazione emergente, lo sviluppo del maker 3D printing, non ha ancora altrettanto elevate caratteristiche, in relazione al dettaglio costruttivo raggiungibile con UPC e UHPC. Il 3D additive manufacturing è utilizzato come sistema operativo crescente e parallelo. Nel caso di G.tecz, sono sviluppati parallelamente i processi di stampa diretta di precisione in 3D per piccoli oggetti e i processi con stampi in alluminio di altissimo dettaglio per manufatti di grandi dimensioni. In funzione della tecnologia del negativo, si possono realizzare serie ripetute – migliorative rispetto agli stampi in polistirolo e polistirene – con tempi e costi di esecuzione contenuti, per la limitazione delle opere di finitura. In alternativa, le matrici cosiddette elastiche – con stampi in elastomeri di poliuretano e silicone, come nella produzione di COPLAN – permettono di ottimizzare la capacità di riempimento degli spazi nel getto, accrescendo le possibilità architettoniche e la versatilità applicativa, a partire dalla digitalizzazione di un modello tridimensionale in qualsiasi materiale.

*Conclusioni: prospettive delle catene del neoartigianato* – Il tema del 'generative design' (che attraverso l'intelligenza artificiale può garantire altissime possibilità di progetto) riguarda le tecnologie di manifattura degli UHPC, con la possibilità di incrementare il controllo prestazionale dei componenti del mix design, istruendo il sistema con dati che riguardano i comportamenti nelle fasi di getto, stagionatura e posa. I vantaggi competitivi sono dati dalla possibilità di progettare, testare e produrre elementi più leggeri, sottili e resistenti, di maggiore compatibilità ambientale, durabilità e manutenibilità, a costo competitivo nella catena produttiva e nel ciclo di vita. La ricerca evidenzia che i vantaggi per la sostenibilità ambientale e economica sono in funzione della semplificazione della costruzione monomateriale, dell'impiego di quantità inferiore di materiali, della alta riciclabilità – per l'assenza di resine, componenti metallici e aggressivi – e della riduzione dei cicli manutentivi, ma anche della performabilità attraverso la simulazione digitale di forma e requisiti.

Le implementazioni delle filiere on-demand e di house-fabrik hanno aperto una nuova via per l'edilizia, basata sull'ottimizzazione produttiva, ma per cui è necessario migliorare la valutazione del comportamento nel tempo. La catena di creazione di valore del conglomerato prefabbricato che emerge è, quindi, caratterizzata dall'integrazione

delle fasi: dalla preparazione del mixed-design alla traduzione dell'idea progettuale nel digital engineering, al processo esecutivo e alla posa in opera. Lo studio evidenzia un nuovo, non trascurabile mercato del Made in Italy che richiama all'industria creativa, alle tecnologie di produzione digitalizzata e anche al recupero del saper fare, attraverso la costruzione di network multifunzionali<sup>4</sup>. Tale prospettiva comporta l'ibridazione di metodi di prefabbricazione e alta artigianalità, nella crescita del know-how condiviso di tecnologi, costruttori, designer, preparatori, esecutori, esperti di controllo di qualità e marketing.

#### ENGLISH

*Concrete initially grew in popularity as a more resistant, ductile, cost-efficient, and standardisable substitute of stone. In the late-1980s, the availability of ultra-resistant and multi-performance mixes – Ultra High Performance Concrete (UHPC) and Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) – has set the basis for a renewed use of such mixes in non-traditional sectors or ones not strictly linked to load-bearing structures. The technological availability has also paved the way for non-standard design concepts and to that which Frédéric Migayrou (2004) and late-1900s neovanguardists predicted: mutations in forms that recalled natural elements, providing an evolving and dynamic architecture to overcome the strict industrial standardization based upon the potential of generative algorithms.*

*The emergence of new compounds allowing non-reinforced operations or ones including minimal fibre reinforcements – such as Ductal (Lafarge), SMART-UP (Vicat), and BSI (Eiffage) – has broken ground, in the past 20 years, for experimental methods which show similarities with the period of widespread innovation in reinforced concrete between the 1930s and 1940s. The interaction with the 'know-how' of material culture, as well as technological and formal innovation, had characterized the design of extremely high-quality construction, in a new definition of the relationship between economics and the standard (Iori and Poretti, 2012). Such modern perspective was based upon an experimental attitude, a technical-practical knowledge, and a creative ability going beyond the science of classic construction, with the construction of the model placed at centre stage. This was the case in innovation related to thin reinforced vaults, following both a morphological and a plastic approach, as in the great roofing of the Frontón Recoletos in Madrid by Eduardo Torroja (1935) or the platform roof of the Aquila petrol station in Sesto San Giovanni (Milan) by Aldo Favini (1949).*

*Ultra High Performance compounds once again led to customizable batch production processes. The lack of multi-performancenature of UHPCs had already been debated internationally at the start of the 21st Century (Fehling, Bunje, and Leutbecher, 2004). The methodological approach of this research refers to the perspective of executive and reliability optimization protocols, involving control of the surface aesthetics and resistance behaviour depending on environmental conditions. Starting from the experimental project and construction management process adopted in the first-ever Italian UHPC public art works (Parco Peccei Public Park, Turin, 2015), the potential development in the country started taking form. In*

particular, in the urban design field, we shall analyse the terms of the technological development, product supply capacity, performance quality and process innovation guarantee for a sustainable market, expressed in the Made in Italy 'neo-handicraft'.

**Multi-performance – UHPCs** are known for their high cement content (500 to 700 kg/m<sup>3</sup> in new generation mixes), their low water-to-cement ratio, their ultrafine granulometry (indicatively micro-fine aggregates with sizes varying from 2 to 20 µm, and an addition of synthetic amorphous micro-nano-silicas with sizes varying from 0.2 to 4 µm), and the eventual presence of polyvinyl (PVA), inorganic, or high-carbon metallic fibres (about 1.0%). Moreover, in new-generation UHPCs compressive strength diminishes (120-160 MPa) in proportion with an increase in compressive strength and Young's Modulus (> 80 GPa), limiting deformation through the production of an internal, homogeneously distributed pre-stress (Corinaldesi, 2016). The National Precast Concrete Association (2014) considers that compressive strength up to 200 MPa may be reached using high-carbon content reinforcement fibres, and up to 117 MPa may be reached using PVA, with a compressive strength up to 20 MPa, thus the presence of reinforcement fibres is eliminated or minimized in architectural or design elements. A suitable dosage and micromechanical behaviour also allow to obtain friction resistance, with high levels of deformation in punching shear testing.

Useful life is much longer, considering the absence of pathologies related to the concrete cover following corrosive attack, delamination, and cracking. Furthermore, significant performance has been recorded in term of sustainability and environmental efficiency due to a reduction in raw material and energy consumption in production (Harris, 2010). The nanometric structure of the aggregates allows a stronger bond of the particles in favour of surface area-to-volume ratio, minimizing empty spaces and permeability; oppositely, reaction to shrinkage, viscous deformation (creep), and plastic deformation over short-term aging tends to be higher (Quiroga and Fowler, 2004) and shall be controlled as a function of additivation and elasticity of the formworks. In operations related to outside layer elements and urban furniture it is thus essential to use superfluidifying and anti-shrinkage additives.

**Execution characterizations – An essential phase** is cement casting. The hydration temperature of the cement shall be maintained as low as possible, controlling the dosage of additives, water – in relation to temperature and humidity – and eventual pigments, in order to prevent inhomogeneity and the occurrence of thermal tension and cracking. The use of superfluidifying additives allows adjustment of the adherence and adaptability of the formworks even in case of a complex design, whilst the preliminary treatment of the moulds – made of styrofoam, polystyrene, or latex – in the tests performed (Fig. 1) turned out to be essential to obtain a uniform surface in terms of colour and grain size<sup>1</sup>. Control of rapid wet seasoning and adherence of the matrices in the demoulding phase avoids mixture suspension in water throughout the compacting and forming of superficial, localized honeycombs. Moreover, control of packaging and transportation

procedures is essential, in that superficial contamination may occur during exposure to water of a single area of the finished element, causing stains during the polymerization process (Henry and Heaney, 2017). Once again, the crucial role of the executive expertise – complementary to technological research – emerges.

**Appearance and reliability – Another potential improvement** in reliability of the outdoor elements is provided by the addition of superficial protective layers, including coatings made of binding agents with crushed metal charges that further slowdown penetration of aggressive agents. Anti-carbonation, crack-proof, anti-stain, and anti-graffiti coatings applied, instead, post-pouring, usually require repeated cycles – shorter than 10 years – often implying unplanned maintenance operations. Two coating types were tested: waterproofing coatings applied by absorption – for the protection of surfaces subject to wear, without an aesthetic alteration of the compound; and film-forming coatings aesthetically altering the superficial appearance of the material (glossy). It has been underlined (Henry and Heaney, 2017; Bader, Waldner, Unterberger and Lacknerab, 2019) that due to the low penetration depth and low permeability of UHPC and HPC, behaviour over time does not vary by a substantial amount, allowing the extraction of calcium-soluble constituents from the hardened cement paste, thus preventing the deposition of efflorescence and colour variations in the presence of pigments. The application of a titanium dioxide-based photocatalytic layer with self-cleaning and pollutant-reducing properties is also significant in terms of environmental life cycle optimization (UNI 11247:2010 Italian standard).

The 'fair-face' element is, mainly, a communication tool in perceptive, visual, and tactile terms, the finishing – including dry grinding and surface pickling for the elimination of stains, scratches, and minimal residual unevenness – is an essential operation in terms of appearance (Fig. 2). Over time, UHPC products tend to take on an appearance that is not distinguishable from stone material, which calls to mind the historical vision by Nicholas Negroponte (1995) on the future indistinguishability between natural and artificial. The aging process is similar to that undergone by stone with a high level of hardness and compactness, and is finally similar to aging in a natural context.

Throughout a 4-year monitoring of public art and urban design elements – made of traditional concrete, coated or uncoated, and UHPC mixes – it has been recorded how UHPC suffered local soiling due to the effect of atmospheric agents and pollutants. This was mostly avoided through self-cleaning processes and a limited patina formation (Figg. 3, 4). Aging patina presented slight chromatic alterations in limited areas, without the formation of efflorescence and surface cracking. In comparison, traditional concrete elements present a swifter formation of stains and chromatic alterations, as well as less abrasion and impact resistance<sup>2</sup>. In case of colour additives applied to the paste, different colours present different performance in terms of UV-resistance and stability: discolouration caused by the action of UV rays and superficial carbonation appears to be limited for dark pigments – especially black and red, based on iron oxides (Figg. 5-11). The main criticality



Fig. 7 - Urban furniture stools and tables made of self-compacting concrete and polished artificial stone: colour variation, local staining and graffiti (operating life: 4 years); Parco Mennea, Turin (credit: R. Maspoli, 2019).

recorded concerns the presence of graffiti due to vandalism, which require removal. Nevertheless, the extremely low porosity facilitates the removal with mechanical, powder-based graffiti remover – that may be used in the absence of highly complex artwork – or by means of high-pressure cleaning, which minimizes loss of the superficial layer.

This paper contributes to the related literature, which at the moment does not include significant research on the behaviour over time and treatment of outdoor elements in public spaces, which would instead have a relevant role in terms of reliability analysis upon determining market strategies.

**Innovative potential of products and processes – Innovative concrete mix-design** by means of high-quality prefabrication processes allows the development of customer-oriented creative and manufacturing processes. Implementations concern façade coating and partition panels – flat, or even three-dimensional and mesh panels – as well as self-supporting urban design (benches, tables, bollards, barriers, etc.) and public art elements. The productions are denoted through shape optimization by means of 3shape scanner systems and CAD/CAM (Computer Aided Design & Computer Aided Manufacturing) software, applied to the high-detail definition of matrices allowing extremely precise performance. This study thus concerned the comparison between the main UHPC mix designs and the design and production supply chains existing on the international market.

Ductal, patented in 1994 by Lafarge, is distinguished by a continuous research related to ultra-thin natural mineral components and non-metal fibres in order to reduce the cement quantity compared to first-generation UHPCs. Its potential is given by the great mechanical properties, a greater resistance to abrasion compared to materials such



Fig. 8 - Flor, manufactured by Escofet. Playground furniture made of self-compacting reinforced concrete with acid-etched waterproof finishing: colour variation, patina in lower area, staining, and local graffiti (operating life: 4 years); Parco Mennea, Turin (credit: R. Maspoli, 2019).



Fig. 9 - Sicurta, manufactured by Escofet. Urban furniture benches made of self-compacting thin-section reinforced concrete, with waterproof finishing: colour variation, patina in lower area, local staining (operating life: 8 years); Parco Belisario, Turin (credit: A. Aires, F. Capitani, P. Mighetto and M. Minari, 2018).

as granite, an extremely low permeability to aggressive external agents (water, particulates, and other forms of air pollution), and high ductility in the eventual post-cracking behaviour. 'Molecular concrete' is at the basis of Metalco's Italian supply/production chain in the urban design field; it produces thin-section open or closed profile elements, such as the AIR bench boasting a 25-mm thickness (Fig. 12). The effectiveness and efficiency of its process is based upon the interaction between research and manufacturing, with the internalization of the entire technology cycle from mix-design to urban design: manufacture of the moulds, component testing, engineering, casting and finishing. The company has also promoted development of Ultratense Concrete, a mix design that may be defined as highly ductile and free-flowing, which facilitates performance and favours the addition of mineral-based pigments (Fig. 13).

I.design EFFIX by Italcementi-Ciments Calcia is, instead, a mortar with high mechanical and aesthetic performance comparable to UHPC, including fibreglass alkali-resistant additives. The supply chain philosophy is based on ease of use: it is marketed as a dry pre-mixed compound with additives and aggregates, only requiring the addition of water. Its market development concerned customized batch production prototypes for urban furniture, such as the collection of tables and chairs Parabolà, by Mac Stopa, made for Italcementi/Archiform.

Dissimilarly, Buzzi Unicem-Dyckerhoff has developed two mixes with considerable potential for extension of the current industrial applications to the architectural world. Flowstone is an impressively high-performance binder, made of EN 197-1 Portland cement (with aggregates having a sieve size  $\leq 0,5$  mm) that requires the pre-fabricator to perform a controlled addition of fluidifying, deaerating, and self-compacting additives as well as water. Nanodur is a silica-free UHPC, whose composition has allowed the experimentation of ultra-thin load bearing elements with a microfibre reinforcement (1.1% of the concrete volume) – reaching a 150 MPa value in terms of compressive strength (Möllmann, 2011) – and whose properties have grown with the addition of a synthetic mineral aggregate called Durigid (Maspoli, 2016). As well as technical-logistics support in the supply phase, the manufacturer is currently assessing the potential development of an architectural pre-cast supply chain essentially restricted to the German market,

which is more advanced than the Italian market.<sup>3</sup>

Quantz, a product patented by G.tecz, is distinguished by its environmentally sustainable optimization and by the configuration of UHPC mix also based upon local raw material – thus reduced costs and pollutant emissions – while achieving a compressive strength (175 MPa) worthy of its class. The new supply chain model – adopted most recently in Italy by The Italian Lab UHpc – is designed to produce both coating systems and urban furniture, as well as technical industrial structures. The manufacturing process envisages – as a function of the formworks utilized – chromatic versatility, flexibility in terms of shape and thickness configuration – up to the claimed minimum thickness, 20 mm – and a superficial finish of the compound, with self-cleaning properties.

Slimconcrete, a UHPC designed by Escofet 1886 S.A., is yet another case of research and technology transfer, with the cooperation between sector-specific companies, research centres, and university structures, such as iMat – Centre Tecnològic de la Construcció and the Polytechnic University of Catalonia. In the traditional company, innovation concerns both the development of product ranges to be marketed and of components to be prototyped (Fig. 14).

The hybridization of technology and design initiates a reflection on the composition potential of the concrete, which undergoes highly deforming actions – such as bending, twisting, shrinkage to the sheet form – and on the mutations of the construction culture, with a typology inversion to different materials, as in the Construqta concrete bench designed by David Karásek and manufactured by mmcité, which references the stylistic features of the Warren beam prototyped (Fig. 15). The Czech group stands out for its 'generative design' approach within the international public space market, as a technical intermediation structure involving designers, engineers, and architects, who are able to turn ideas into designs by means of different construction proposals.

Form and language explorations create a brand identity, which develops in relation to specific topics linked to construction within the local micro-landscape context, in order to expand and improve the overall quality of the urban environment. The integrated designer-technologist-manufacturer interface presents a competitive advantage, due to the ability to manage the controlled small-batch standardization process. An essential factor – in

Catalan companies such as Escofet and Mago Urban – is the interaction with urban furniture, façade panels, barriers, and outdoor flooring design in order to become an internationally appealing corporate brand. Among the most recently launched Ultra High Performance Concrete products, there is HERACLEX – patented by the spin-off INNOVAcete of the Marche Polytechnic University – designed to achieve low production and transportation cost, with a greater ecological sustainability performance of the aggregates and non-toxicity, compliant with both the so-called 'casting' supply chain and with 3D printing supply (Corinaldesi, 2016).

The process connotation of the supply chains assessed concerns technological development, technology transfer and service engineering. The first phase – purely industrial – involves composition of the mix, estimate of physical and mechanical properties, optimization checking through lab testing, specification of resistance classes required in accordance with current international standards, and research of applicable raw material. The technology transfer phase involves the study of the process implementation within the manufacturing system by means of a series of direct product tests, adjustment of the composition to the manufacturing conditions, and provision of know-how from the developer to the performer; crucial to the issuance of quality warranties and coherent with operator training. The third phase – service engineering – represents a fundamental support to optimization – as a function of the multiple factors affecting mix composition for casting in the mould as well as formwork/demoulding – allowing, by means of testing and combination of expertise, the solution of workability and final quality issues.

The 'neo-handicraft' supply chain expresses itself through a marketing strategy targeted towards 'niche sectors', but the long-term perspective is mass customization, namely the manufacturing-marketing approach based upon the ability of the integrated process to offer customized goods and services at competitive costs compared to standard production. The concept of technological/digital workshop for on-demand small-batch concrete production needs to avail itself of growing supply chains (Noche and Tarek, 2013). Demand in Italy is still limited – despite the existence of a strong handicraft tradition that is nonetheless evolving from the traditional figure of the cements – and technology innovation has a minor impact compared to markets such as France, Germany, and Switzerland. In such markets, UHPC casting processes in automated and industrialized facilities have already been experimented for façade panels, reaching competitive supply prices compared to stone and to other top-notch materials. Moreover, easy and speed installation and transportability may also contribute to overall cost saving (Henry and Heaney, 2017).

The other emerging configuration – the development of maker 3D printing – still does not have equally high-performance characteristics in terms of the construction detail achievable by means of UPC and UHPC. 3D additive manufacturing is used as a growing and parallel operating system. In the case of G.tecz, the company develops high-precision direct 3D printing processes for small objects and – at the same time – extremely detailed aluminium moulds for large, complex construc-

tion. As a function of the technology used to make the negative, repeated batches – with a better outcome than styrofoam or polystyrene moulds – with limited manufacturing costs and a reduction in finishing operations. Alternatively, the so-called elastic matrices – with moulds made of polyurethane and silicone elastomers, such as the ones used in production by COPLAN – allow an optimization of the ability to fill the spaces in the pouring process, thus increasing architectural possibilities and thus application versatility, first of all by digitalizing 3D models made of any material.

Conclusions: perspectives in the ‘neo-handicraft’ supply chains – The ‘generative design’ topic (that by artificial intelligence may guarantee incredibly vast design opportunities) concerns UHPC manufacturing technology, with the opportunity to increase control over component performance in the mix design process by instructing the system with data related to behaviour in the casting, aging, and laying phases. The competitive advantage is given by the possibility to design, test, and manufacture lighter, thinner, and more resistant elements with a greater environmental compatibility, durability, and maintainability, at a competitive cost throughout its supply chain and lifecycle. Research highlights how the advantages of environmental and economic sustainability are a function of the simplification offered by single-material construction or limited material use, high recyclability – due to the absence of resins, metal components, and aggressive agents – and the reduction in maintenance cycles, but also performability of shapes and requirements by means of digital simulation.

The implementations of on-demand and ‘house-fabrik’ supply chains have opened up a new channel for construction based upon manufacturing optimization, but for which it is necessary to improve assessment of behaviour over time. The emerging prefabrication compound value-addition process is thus distinguished by the integration of phases: from the preparation of the concrete mix design, to the translation of the design concept by means of digital engineering, to the executive process and the laying phase. This research paper presents a new, significant ‘Made in Italy’ market based upon the creative industry, digitalized manufacturing, as well as reclamation of know-how, by means of developing multifunctional networks<sup>4</sup>. Such perspective implies a hybridization of prefabrication methods and high-level handicraft, along with the growth of know-how shared by technologists, builders, designers, mixers, operators, as well as quality assessment and marketing experts.

#### NOTES

1) Executive testing and experimentation have been carried out for the design and public art operations at Parco Pececi public park in Turin, through an agreement between the Department of Architecture and Design at the Turin Polytechnic and the City of Turin (2015), in the context of Urban III Barriera di Milano, 2007-2013 Piedmont Region P.O.R.-F.E.S.R. (P.O.R. – regional operations program funded by the F.E.S.R. EU regional development fund). In cooperation with Buzzi Unicem.

2) The on-site monitoring phase concerned design and execution of contract work for the City of Turin, namely furnishing of public spaces, with the workgroup led by

F. Capitani and A. Aires (City of Turin, Urban Design Service).

3) In this scope, see the research project ‘Ultra-high performance concrete façades made of Nanodur – material properties and design’ in cooperation with TU Kaiserslautern (2017), partially published in: Miccoli, L., Fontana, P., Qvaeschning, D., Kreft, O., Hoppe, J., and Meng, B. (2018), “UHPC–AAC façade elements: Structural design, production technology, and mechanical behavior”, in *CE papers 2018 | ICAAC – 6th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete*, vol. 2, issue 4, pgs. 483-488. [Online] Available at: [https://www.researchgate.net/publication/327387009\\_UHP-CAAC\\_façade\\_elements\\_Structural\\_design\\_production\\_technology\\_and\\_mechanical\\_behavior](https://www.researchgate.net/publication/327387009_UHP-CAAC_façade_elements_Structural_design_production_technology_and_mechanical_behavior) [Accessed March 2019].

4) A significant case of this is The Placemakers, a recently established group that, given the growing size of society, envisage the role of innovation in technology terms and in terms of responding to the demand for public space.

#### REFERENCES

- Bader, T., Waldner, B. J., Unterberger, S. H. and Lacknerab, R. (2019), “On the performance of film formers versus penetrants as water-repellent treatment of High-Performance Concrete (HPC) surfaces”, in *Construction and Building Materials*, vol. 203, pp. 481-490.
- Chen, Y., Matalkah, F., Rankothge, W., Balachandra, A. and Soroushian, P. (2017), “Improvement of the surface quality and aesthetics of ultra-high-performance concrete”, in *Construction Materials | Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, pp. 1-10. [Online] Available at: <https://www.icevirtualibrary.com/doi/abs/10.1680/jcoma.17.00009> [Accessed 29 April 2019].
- Corinaldesi, V. (2016), “Calcestruzzi ultrasensibili di ultima generazione”, in Coppola, L. (ed.), *Temi di frontiera nella tecnologia e progettazione di strutture*, American Concrete Institute Italy Chapter, GIC Italian Concrete Day, Proceedings, Piacenza.
- Fehling, E., Bunje, K. and Leutbecher, T. (2004), “Design relevant properties of hardened Ultra High Performance Concrete”, in Schmidt, M., Geisenhanslüke, C. and Fehling, E. (eds), *Proceeding of International Symposium on UHPC, 13-15 September 2004, Kassel*, Kassel University Press, Kassel, pp. 327-338.
- Harris, D. K. (2010), “Application of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) for Sustainable Building Component”, in *Sustainable Buildings – Materials and Energy Workshop, July 12-13, 2010*, Technion, Haifa.
- Henry, K. A. and Heaney, C. W. (2017), “Industrial production of thin rainscreen cladding in UHPC”, in *AFGC-ACI-fib-RILEM International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (UH-PFRC 2017), 2-4 October 2017, Montpellier, France*, pp. 937-944. [Online] Available at: [http://www.afgc.asso.fr/images/stories/visites/BFUP-2017/Proceedings/pp937-944\\_Henry\\_Industrialized-Production-of-Thin-Rainscreen-Cladding-in-UHPC-June1.pdf](http://www.afgc.asso.fr/images/stories/visites/BFUP-2017/Proceedings/pp937-944_Henry_Industrialized-Production-of-Thin-Rainscreen-Cladding-in-UHPC-June1.pdf) [Accessed 3 March 2019].
- Iori, T. and Poretti, S. (2012), “Ascesa e declino della Scuola italiana di ingegneria”, in Desideri, P., Demagistris, A., Olmo, C., Pogacnik, M. and Sorace, S. (eds), *La Concezione Strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta*, Allemandi, Torino, pp. 181-193.
- Maspoli, R. (2016), *The experimentation of UHPC in public art and urban furniture*. [Online] Available at: [http://www.cte-it.org/documentazione\\_cte/Congressi/21%20Roma%202016/ATTI%20ICD2016/ITA%20NO%20SCOPUS/47%20-%20MASLAS.pdf](http://www.cte-it.org/documentazione_cte/Congressi/21%20Roma%202016/ATTI%20ICD2016/ITA%20NO%20SCOPUS/47%20-%20MASLAS.pdf) [Accessed 3 March 2019].
- Möllmann, M. (2011), *Dyckerhoff Weiss at BAU 2011*, Buzzi Unicem. [Online] Available at: [www.buzziunicem.it/web/guest/test-pg/-/document\\_library/gGqtBICjOzUl/view\\_file/111915](http://www.buzziunicem.it/web/guest/test-pg/-/document_library/gGqtBICjOzUl/view_file/111915) [Accessed 26 February 2012].
- Migayrou, F. (2004), *Architectures non standard*, Centre Pompidou, Paris.
- National Precast Concrete Association (2014), *Ultra High Performance Concrete. Guide to manufacturing ar-*

chitectural precast UHPC elements. [Online] Available at: <https://precast.org/wp-content/uploads/2015/02/UHPC-White-Paper.pdf> [Accessed 21 February 2019].

Negroponte, N. (1995), *Essere digitali*, Sperling & Kupfer Editori, Milano.

Noche, B. and Tarek, E. (2013), “Approach to innovative supply chain strategies in cement industry. Analysis and Model simulation”, in *Procedia Social and Behavioral Sciences*, n. 75, pp. 359-369.

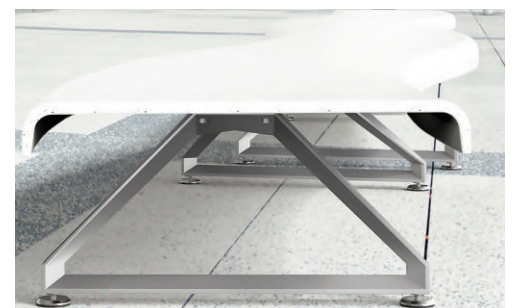
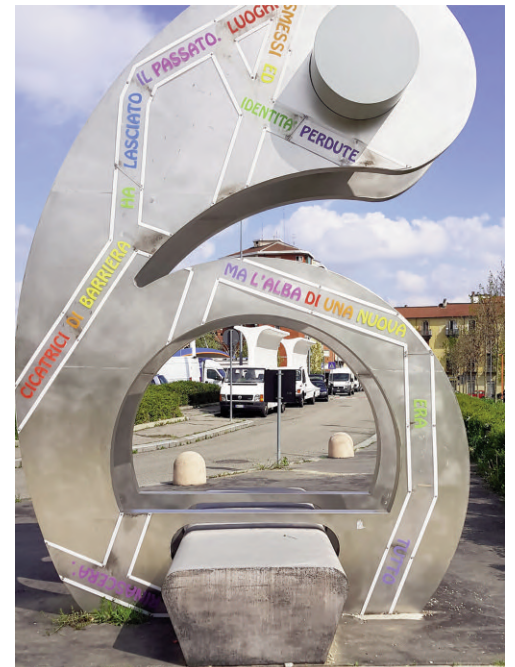


Fig. 10 - Nanodur, urban furniture bench made of UHPC: colour variation, uniform patina, carbonation (operating life: 2019); Parco Mennea, Turin (credit: R. Maspoli, 2019).

Fig. 11 - Flowstone UHPC platform: slight local colour variation (operating life: 4 years); Parco Mennea, Turin (credit: R. Maspoli, 2019).

Fig. 12 - Air, manufactured by METALCO. Urban furniture benches made of uncoated, extremely thin-section UHPC Ductal (credit: Metalco).



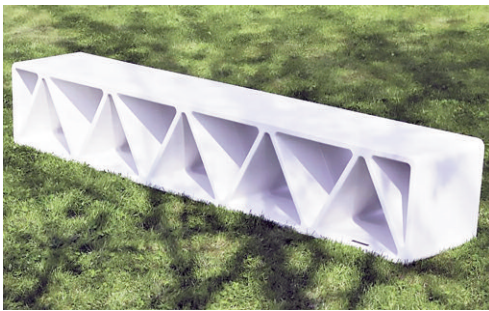


Fig. 13 - Alba, manufactured by BELLITALIA. Urban furniture benches made of uncoated, extremely thin-section Ultratense UHPC (credit: BELLITALIA).

Fig. 14 - Odos, manufactured by Escofet. Urban furniture table and chairs made of coated, extremely thin-section Slimconcrete UHPC (credit: Adrià Goula Sardà).

Fig. 15 - Construqta, manufactured by mmcité. Urban furniture benches made of uncoated, flat, webbed section Slimconcrete UHPC (credit: mmcité).

Figgs. 16-18 - Stanzas, La Défense Urban Furniture Biennial, manufactured by escofet: urban furniture structure made of self-compacting thin-section reinforced UHPC (credits: JCDecaux, 2012; [www.karmatrendz.wordpress.com/2012/05/04/stanzas-by-la-ville-rayee/](http://www.karmatrendz.wordpress.com/2012/05/04/stanzas-by-la-ville-rayee/)).



Quiroga, P. N. and Fowler, D. W. (2004), *The effects of aggregates characteristics on the performance of portland cement concrete*, Research Report – Aggregates Foundation for Technology, Research and Education, The University of Texas at Austin, Austin. [Online] Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.6998&rep=rep1&type=pdf> [Accessed 10 April 2019].

<sup>a</sup> ROSSELLA MASPOLI, Architect and PhD, is Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Architecture and Design at the Turin Polytechnic, Italy. She performs research work in the historical architectural technology, industrial heritage and urban regeneration. Tel. +39 (0)11/09.06.523. E-mail: [rossella.maspoli@polito.it](mailto:rossella.maspoli@polito.it)



## CO-DESIGNING PER IL REBRANDING DI UNA FONDAZIONE ITALIANA

### CO-DESIGNING FOR REBRANDING AN ITALIAN FOUNDATION

Xue Pei<sup>a</sup>, Francesco Zurlo<sup>b</sup>

#### ABSTRACT

Questo saggio si basa su una ricerca svolta da CLLAB (Creative Industries Lab del Politecnico di Milano), per coadiuvare Fondazione Cariplo nella realizzazione di una rinnovata immagine di brand e per lo sviluppo di nuove strategie comunicative. A tal fine è stato utilizzato un approccio di Co-Design che ha coinvolto attori interni all'organizzazione e stakeholder esterni, per condividere, in modo visuale, un nuovo corso per l'identità dell'importante fondazione lombarda. I risultati della ricerca dimostrano che il processo di co-design non solo ha generato gli obiettivi auspicati, ma ha anche determinato un cambio culturale nei confronti dell'innovazione dentro la stessa organizzazione. Inoltre l'esperienza ha aperto un nuovo campo di ricerca per applicare metodi e strumenti di design ai modelli organizzativi.

This paper is based on a research conducted by Creative Industries Lab of Politecnico di Milano for creating the new brand image and communication strategy for Fondazione Cariplo. A co-design approach has involved both internal and external stakeholders in visually defining a shared future identity for rebranding this significant foundation to the public. The research results have revealed that co-creation process has not only generated the expected objectives, but also raised a cultural change towards innovation inside the organisation itself. Therefore, this experience has opened a new research realm for applying design methods and tools in organisations.

#### KEYWORDS

rebranding, brand perception, participatory design, philanthropic organization, organizational change

rebranding, percezione del brand, co-design, organizzazioni filantropiche, cambio organizzativo

In anni recenti la comunicazione della Fondazione Cariplo<sup>1</sup> si è sviluppata in termini quantitativi e qualitativi raggiungendo una ampia audience. A 25 anni dalla sua fondazione è stata avviata una riflessione sull'immagine e la comunicazione del brand, per verificare l'adeguatezza della 'narrazione' del brand al sentire contemporaneo. La Fondazione non ha seguito un iter tradizionale – l'accesso ai servizi professionali di qualche società di consulenza di branding – ma ha richiesto la consulenza di un laboratorio di ricerca – CI.Lab Creative Industries Lab<sup>2</sup> – del Politecnico di Milano, sperimentando un processo di design partecipato, che ha coinvolto sia attori interni alla Fondazione sia stakeholder esterni. L'attività di CI.Lab è partita con una chiara domanda: come coinvolgere vari stakeholder per mettere a punto una brand identity, legata alla filantropia, tramite un processo di co-creazione guidato dal design? Per farlo si è operato dapprima con la selezione di un gruppo di figure chiave per l'innovazione e la creatività attive nel campo della comunicazione e del marketing al di fuori della Fondazione e, al contempo, si è provveduto a individuare alcuni dipendenti del Dipartimento di Comunicazione come referenti interni.

Gli attori, interni ed esterni, sono stati coinvolti in due workshop (nel luglio e nel settembre del 2016), strutturando il processo creativo in tre fasi: esplorazione, analisi e generazione di idee con l'obiettivo di: a) comprendere la percezione del brand; b) individuare idee suggestive e ispiratrici, nonché direzioni utili a impostare una rinnovata brand identity. In seguito i risultati prodotti all'interno dei due workshop sono stati analizzati dal team di ricerca, attraverso alcuni strumenti dedicati e, grazie a tale processo di analisi, è stato possibile definire un brief creativo, rilanciato a un gruppo di giovani laureati in comunicazione del Politecnico di Milano, che hanno trasformato quelle indicazioni in proposte grafiche. Il team di ricerca, insieme a esperti di comunicazione e branding, ha selezionato infine 6 proposte. Dopo una serie di incontri interni di validazione, è stata infine operata una scelta e il 22 Febbraio 2018 la nuova immagine di brand e l'intero processo di rebranding sono stati presentati al pubblico<sup>3</sup> (Figg. 1, 2). Il processo di co-design è stato impostato sui principi del Design Thinking, con fasi creative di divergenza e convergenza e tramite strumenti specifici di Co-Design per guidare tutti i parteci-

panti, a vario titolo coinvolti, dall'inizio alla fine.

*Applicare la teoria della 'Brand Perception' nel settore filantropico* – Il tema della percezione del brand e del corporate branding è stato affrontato da studiosi provenienti da diversi ambiti di ricerca. Tale tema, ad esempio, ha un ruolo centrale nel campo dei servizi o della pubblicità ed è finalizzato a rilevare le attitudini dei clienti e la coerenza dei 'touch point' (Davies et alii, 2004). Nella fase preparatoria di analisi, il team Politecnico ha identificato diversi elementi e dimensioni della corporate identity (Melewar and Karaosmanoglu, 2006) individuando le correlazioni tra identità visuale (corporate branding) e percezione esterna della Fondazione (Schmitt, 1995; Schmitt et alii, 1995). Il settore del Fashion ha dato ulteriori spunti: in quell'ambito, infatti, le aziende hanno sviluppato una grande esperienza nella gestione del brand, curando moltissimo il 'percepito' del proprio target (Okonkwo, 2012). La letteratura tuttavia non dà indicazioni per un settore, come quello della filantropia, che per statuto supporta diverse iniziative civiche per comunità fragili con l'obiettivo di migliorarne le condizioni sociali. E tuttavia le diverse iniziative filantropiche, realizzate in 25 anni, non hanno costruito un percepito chiaro e coerente della Fondazione per 'utenti' e stakeholder della Fondazione. C'è, insomma, un gap di visibilità e riconoscibilità del brand e, del resto, le dinamiche di comunicazione delle organizzazioni filantropiche sono ben differenti da quelle praticate in altri settori di business. Molti leader di organizzazioni nonprofit, infatti, associano spesso il branding a obiettivi commerciali (Kylander and Stone, 2012) e, inoltre, è più difficile costruire una buona brand identity e relativa positiva percezione se, invece che prodotti fisici, si offrono servizi.

L'approccio di branding nell'ambito filantropico è ancora in fase di sviluppo e si differenzia rispetto ai brand commerciali per un diverso tipo di relazione con il target. L'obiettivo di un brand in tale settore non è strettamente collegato a una crescita economica ma all'impatto sociale che è capace di generare, e non si focalizza solo sul target beneficiario ma attiva un network di stakeholder che possano insieme beneficiare delle iniziative avviate oltre che contribuire ai singoli progetti. Ma cos'è la percezione di un brand? Possiamo leggere un brand a partire da un mix di tre elementi: impresa, target/consumatore e meta-trend (Bassani and



PMS 287 C  
C 100  
M 75  
Y 2  
K 18  
R 8  
G 47  
B 115  
#082F73

Fig. 1 - New brand identity of Fondazione Cariplo.

Sbalchiero, 2002; Fig. 3) che condizionano il modo in cui viene percepito un brand in un contesto 'situato' (Lave and Wenger, 1991), incrociando quella percezione con i trend culturali, sociali e tecnologici presenti in quell'ambiente. Quando ci si riferisce a organizzazioni filantropiche la situazione è molto più articolata: c'è l'attuatore del programma finanziato e il beneficiario, e quest'ultimo ha una percezione della Fondazione mediata perché non si relaziona direttamente alla Fondazione bensì all'Ente/Istituzione che ha ricevuto il finanziamento.

Per rompere un modo tradizionale di indagare i valori alla base della narrazione di un brand (che avviene tipicamente ascoltando il top management o i dipendenti di un'organizzazione), si è operato un processo di ascolto dall'esterno che mettesse meglio a fuoco gli elementi alla base della percezione attuale e indirizzasse tale percezione in futuro. Un primissimo strumento di analisi (Fig. 4) è stato messo a punto dal team di ricerca per permettere ai partecipanti di avviare una conversazione sulle espressioni dell'identità esistente e le percezioni ivi associate. I partecipanti sono stati suddivisi in quattro gruppi, garantendo diversità per provenienza culturale e background, stakeholder esterni e dipendenti della Fondazione. Il primo atto è stato quello di chiedere a ognuno di descrivere, personificandola, chi fosse Fondazione Cariplo. A seguire i partecipanti hanno condiviso le loro percezioni e usato uno strumento, utile per rilevare la percezione del brand, individuando tre parole atte a descrivere tale realtà per un totale di 12 parole descrittive della 'personalità' percepita (Figg. 5-8). Basandosi sulla discussione e sul brainstorming, infine, si è proceduto a individuare tre parole comuni che suggerissero la percezione del brand (Fig. 9). Questa fase ha rotto il ghiaccio per fluidificare la relazione tra persone che, in alcuni casi, non si conoscevano e per costruire una prospettiva e un linguaggio condivisi per dar seguito alle fasi successive.

*Il brief: co-progettarlo con gli stakeholder* – Il Co-design è ritenuto uno degli approcci più efficaci per elaborare conoscenza a livello collettivo. La ricerca (applicata e non solo) di design, negli ultimi anni, associa al tradizionale approccio user-centred un modello di Co-Design, attraverso metodi e strumenti specifici. Non più quindi il 'designer', creativo e isolato nel suo studio, bensì un 'designer facilitatore' di processi co-creativi e in gioco, in tali processi, in quanto utente esso stesso (Sanders and Steppers, 2008). Le implicazioni di tale cambiamento sono ampie: un esempio è il progetto della Fondazione Housing Sociale (avviata anch'essa da Fondazione Cariplo) che ha promosso una Startup Community oltre che un percorso abilitante per persone che potranno vivere insieme nelle 20.000 case che verranno realizzate in Italia a partire dal 2019 (grazie ai 2,2 miliardi messi a disposizione dal Fondo Italiano per l'Abitare della Cassa Depositi e Prestiti). Un anno prima di trasferirsi, i futuri condomini si incontreranno per co-progettare insieme il modello di gestione delle aree comuni (lavanderia, giardini, orti, aree gioco) e i servizi (babysitter di condominio, attività di intrattenimento collettive, ecc.). Un percorso inteso come guida per la creazione di comunità resilienti e attive, utilizzando anche applicazioni e servizi abilitati da tecnologie digitali.

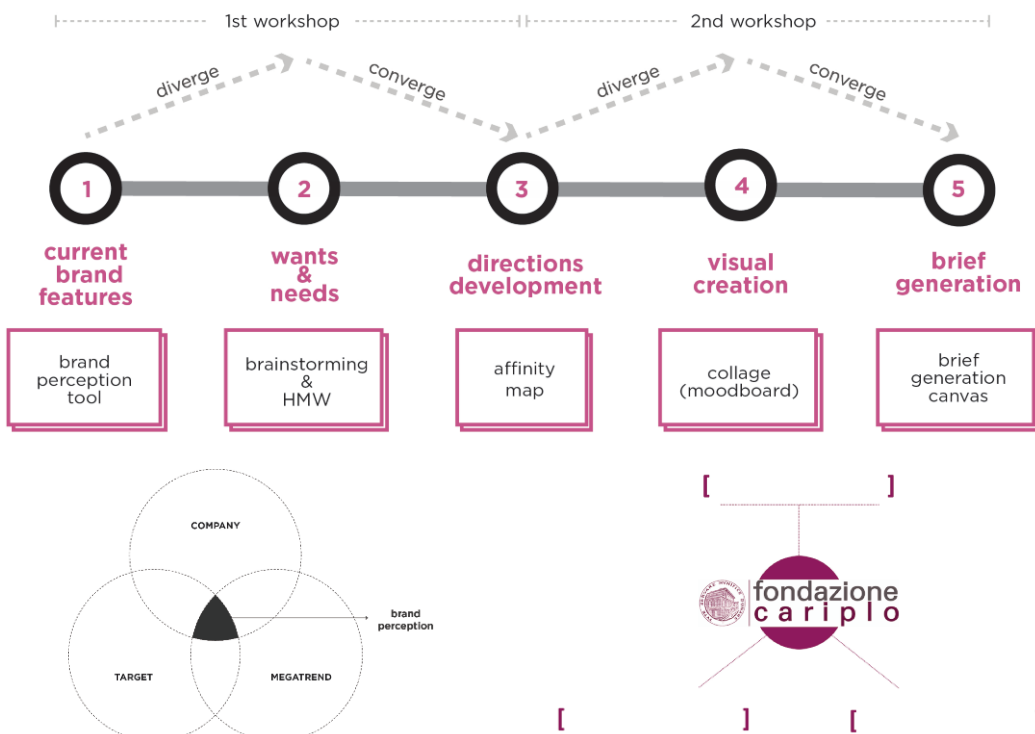
Un altro caso studio interessante è quello di Universiis, una cooperativa sociale con base a Udine (Cauro et alii, 2016; Zurlo, 2018). L'obiettivo è applicare metodi di Co-Design per coinvolgere i dipendenti a diversi livelli e operanti in differenti ambiti, attivandoli a segnalare idee innovative atte a migliorare il servizio, oltre che ad aumentare il senso di appartenenza alla cooperativa. Al fine di facilitare il coinvolgimento si è ricorso a tecniche di 'gamification' (Patrício, Moreira, Zurlo, 2018) per co-creare nuovi servizi coinvolgendo i colleghi con l'obiettivo di vincere qualcosa. L'ultimo caso è

relativo al progetto europeo Co-Create<sup>4</sup>, che ha coinvolto PMI di settori tradizionali e comunità creative, usando Design Thinking e metodi di design per generare soluzioni competitive. L'intero processo ha incluso due differenti tipologie di attività di Co-Design. È partito con sessioni di Co-Design con PMI di diverse settori con l'obiettivo di definire in modo preciso un brief da lanciare; in seguito il team di ricerca ha facilitato una sessione di 'accoppiamento' tra PMI e gruppi/individui creativi per trovare il miglior modello di collaborazione possibile. Le idee sviluppate, valutate positivamente, sono state presentate durante la Design Week di Milano del 2018. I tre casi evidenziati sopra sono esemplari significativi dell'interesse, in diversi settori, per iniziative e approcci del Co-Design e hanno fornito indicazioni interessanti per lo sviluppo del progetto descritto in questo saggio.

Nel processo di ricerca i partecipanti non sono propriamente 'utenti' di un servizio ma 'stakeholder', esperti in alcune aree e con una consolidata relazione con la Fondazione. Il team di design si è occupato di coinvolgerli attivamente nel processo di condivisione di prospettive, conoscenze e visioni. Le sessioni di Co-Design, come citato, sono state strutturate in più fasi finalizzate a individuare, per la 'persona' Fondazione Cariplo, specifici bisogni. Uno strumento chiamato How Might We<sup>5</sup> è stato usato per questa prima fase. Il gruppo di ricerca ha quindi presentato e argomentato un set di trend, sociali e culturali, per stimolare un brainstorming. A ognuno dei 4 gruppi, in seguito, si è chiesto di immaginare come i trend avrebbero impattato lo sviluppo e la vita della Fondazione in 10 anni. I gruppi hanno lavorato separatamente per presentare a tutti, al termine della sessione, i risultati del proprio lavoro. Appena concluso il primo workshop, il team di ricerca ha analizzato le idee usando lo strumento di Affinity Diagramming (Kawakita, 1975) per individuare dei punti di contatto tra le varie posizioni. Sei direzioni, così come sei aree di sviluppo, sono state individuate (Figg. 10-15).

Il secondo workshop è partito con la presentazione, a tutti i partecipanti, delle sei direzioni individuate. Dal momento che tali direzioni, funzionali allo sviluppo del brand, erano espresse con scritte, la prima attività proposta è stata quella di coinvolgere i partecipanti nella generazione di moodboard per reinterpretare, e visualizzare, almeno una delle direzioni grazie all'utilizzo di un metodo chiamato Collage<sup>6</sup>. Ogni gruppo ha raccolto alcuni elementi visuali per cogliere tali direzioni e anticiparne i significati associati per come avrebbero potuto essere percepite dal pubblico (Fig. 16). Durante la sessione i partecipanti hanno avuto l'opportunità di esprimere con immagini le loro opinioni: un lavoro non facile ma che ha consentito a tutti di esplicitare, al meglio, le proprie idee. È stata un'attività di pensiero divergente che ha permesso ai 4 gruppi di condividere le idee e riconfigurarle, ridefinirle, mutuarle, discutendone con i propri compagni (Fig. 17).

Alla fine di questo secondo workshop, a ogni gruppo è stato inoltre richiesto di sintetizzare le proprie idee in modo logico, provando a individuare alcune fattibili strategie relative alla comunicazione del brand (come: canali, target di riferimento, linguaggio e stile visuale, ecc.). Il lavoro è stato facilitato da uno strumento, messo a punto dal team, che implica 5 ambiti: 1) Why – gli elementi principali da riportare nel brief; 2) i canali 'online'



Figg. 2-4 - Research process (illustrated by the Authors); Brand perception theory (Bassani and Sbalchiero, 2002); Brand perception generation tool (designed by the research team).

utili a comunicare l'identità del brand; 3) i canali 'offline'; 4) lo stile del linguaggio di comunicazione utilizzabile; 5) la scala di diffusione e le caratteristiche dei media, funzionali a rendere più efficace possibile la comunicazione. I gruppi hanno infine generato 4 brief strutturati secondo questo modello. Dopo aver analizzato tutti i dati e le informazioni generati in entrambi i workshop, e in particolare durante i brief definiti nel workshop, si è proceduto a sintetizzare in un unico Brief Creativo il lavoro (Fig. 18), che è stato, successivamente, proposto a un gruppo di giovani designer della comunicazione, per indirizzare il loro lavoro creativo.

**Creare una cultura per l'innovazione nell'organizzazione** – L'intero processo di rebranding è durato circa un anno e mezzo, e non è stato solo limitato al redesign della brand identity della Fondazione, ma è stato anche un primo passo per attivare le energie interne dell'organizzazione e la partecipazione di molti al processo creativo. Il design è andato ben oltre il suo ruolo riconosciuto, oltre la ricerca per soluzioni funzionali ed estetiche, oltre l'attenzione ai processi industriali e di consumo, per occuparsi di aspetti che pertengono alla cultura dell'organizzazione e agli aspetti sistemici che vi sono correlati (Beaudry, 2015). A partire da questa esperienza, il cambiamento maggiore che il design ha apportato all'organizzazione è stato quello di attivare una cultura della co-creazione – anche attraverso il coinvolgimento di stakeholder – per contribuire all'innovazione. La soluzione di branding individuata evidenzia questo cambiamento culturale. Non solo: l'esperienza ha innescato cambiamenti invisibili che hanno in qualche modo modificato il comportamento organizzativo (Rousseau, 1995). I seguenti due punti sono una prima riflessione su questi cambiamenti operati.

1) Un nuovo modello di Open Innovation. A differenza dall'approccio convenzionale che nasce dall'interno dell'organizzazione (Simanis and Hart, 2011), questo processo di ricerca ha costruito un approccio dall'esterno verso l'interno, per rimodulare la narrazione, attraverso il brand, della Fondazione. Non soltanto, dunque, il 'solito' coinvolgimento di esperti e consulenti per realizzare specifici artefatti di comunicazione, quanto il coinvolgimento di attori esterni e stakeholder per discutere aspetti essenziali dell'organizzazione, alla base delle narrazioni del brand, attraverso un processo di co-creazione. Il processo è stato un viatico per applicare l'approccio del Design Thinking e contribuire a ridefinire i comportamenti organizzativi funzionali all'innovazione *latu sensu*, non solo quella finalizzata allo sviluppo di nuovi prodotti e servizi (come evidente in molta letteratura). Questo modello di innovazione inoltre indica segnali promettenti di trasformazione delle pratiche organizzative, che sono tradizionalmente guidate da leader e manager interni, proprio grazie al coinvolgimento di attori esterni e stakeholder. Una trasformazione che è amplificata da Design Thinking e da strumenti, contestualizzati, di design.

2) Indurre trasformazioni dal visibile all'invisibile. L'obiettivo iniziale di Fondazione Cariplo è stato quello di adottare Design Thinking per produrre una nuova idea di brand identity che con Buchanan (1992), costituisce un primo ordine di attività di design. Tuttavia, grazie all'attivazione di conversazioni ed esperienze pratiche, l'organizzazione ha esperito altri benefici, ad esempio un nuovo modo

di riformulare alcune pratiche interne oltre che l'adozione di un modello mentale diverso nelle varie routine organizzative. Ciò significa creare condizioni, esplicite, che indirizzino e diano fiducia ai membri dell'organizzazione nell'assumere decisioni e passare all'azione (Buchanan, 2004). Il processo di design non è terminato con il disegno del logo e delle nuove strategie narrative del brand, ma si rappresenta in una maggiore positiva disposizione verso attori interni ed esterni, per assumerne spunti e input creativi.

**Conclusioni** - Il risultato finale di questo progetto è un manuale di comunicazione<sup>7</sup> per Fondazione Cariplo, che ha dentro non solo elementi grafici ma, principalmente, direzioni e narrazioni di una istituzione orientata alla filantropia. Dal lato della ricerca, il risultato maggiore è nell'aver esplorato possibilità di co-creation per ridefinire la narrazione (e l'immagine) di un'istituzione filantropica: esperienza mai realizzata prima. Questo approccio, come conseguenza, ha rafforzato una cultura organizzativa, orientata all'innovazione, in un contesto dove il valore creato è legato al beneficio sociale delle scelte strategiche. Inoltre il processo ha esplorato nuove modalità di coinvolgimento 'flat' di attori interni ed esterni che ha in qualche modo trasformato la tradizionale struttura gerarchica della Fondazione. Il team di ricerca, d'altra parte, ha usato questa occasione per comprendere quanto il Design Thinking fosse capace, appunto, di potenziare le capacità creative e la cultura dell'innovazione dell'organizzazione.

La ricerca apporta inoltre alcuni significativi contributi alla disciplina. In primis la messa a punto di un processo nuovo per il branding di istituzioni filantropiche. Il processo in sé e gli strumenti realizzati ad hoc, nella loro definizione e nella loro combinazione, presentano un elevato grado di originalità e possono essere un riferimento per ricerche e pratiche simili. In secondo luogo è emersa l'importanza del design nel facilitare una cultura dell'innovazione diffusa, coinvolgendo attori interni ed esterni, in un ambito così specifico come quello filantropico. Il paradigma della co-creazione ha indicato nuove vie per valorizzare e coinvolgere le risorse di un'organizzazione. Infine è evidente anche un vantaggio di tipo economico: il processo attuato dal team ha infatti valorizzato le risorse esistenti, organizzandole e 'usandole' per il contributo di conoscenza in grado di trasferire. Rispetto al modo tradizionale di affrontare iniziative di rebranding c'è stato, dunque, un significativo risparmio.

Ci sono tuttavia dei limiti nell'approccio e nel potenziale impatto dei risultati ottenuti. Il processo che si è configurato come una pratica di 'open innovation' richiede una maggiore solidità metodologica per applicarla in altre organizzazioni e settori e ulteriori approfondimenti da esplorare con future attività di ricerca. In più questa attività di design partecipato ha avuto un limite geografico, che è quello proprio del contesto e della cultura italiani. La scalabilità in altri contesti culturali richiede 'situatività' e adattamento in tali contesti. Infine: la ricerca che implica, come visto, anche un cambiamento di attitudine e di comportamento nell'organizzazione, richiede specifici criteri di valutazione (KPI). Purtroppo, in questo caso, il tempo limitato e la difficoltà di misurare l'impatto, hanno condizionato tale aspetto, anche perché gli effetti di que-

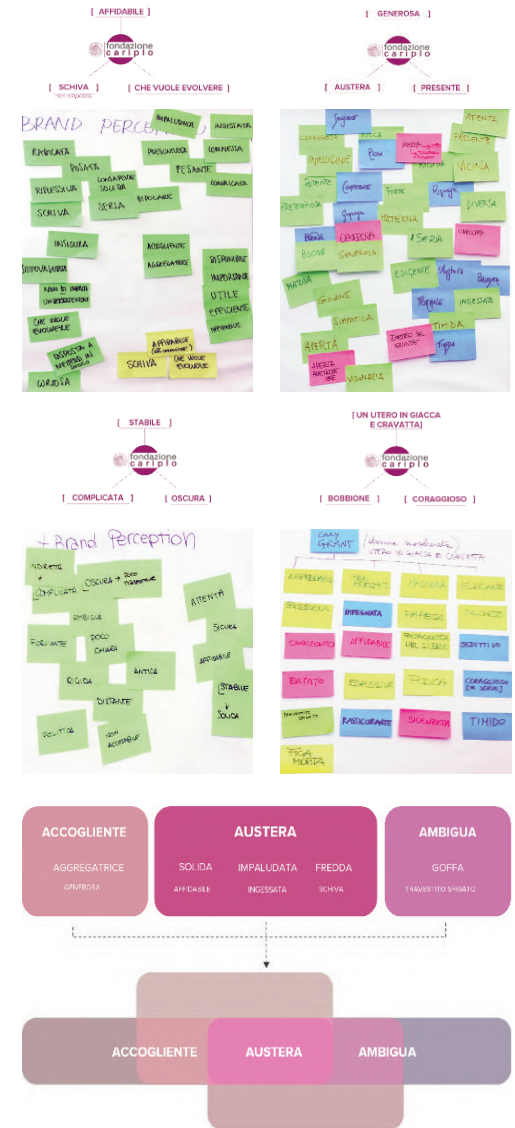


Fig. 5-8 - Brand features of Fondazione Cariplo generated from group 1, group 2, group 3, and group 4.

Fig. 9 - Summary of Brand features of Fondazione Cariplo.

sti processi tendono a riflettersi tipicamente su un lungo periodo temporale.

**ENGLISH**

In recent years Fondazione Cariplo's communication has developed quantitatively and qualitatively, reaching ever larger audiences. At its 25th year, the foundation has therefore wanted to start a reflection on the image and communication of its brand, to verify its adequacy with respect to the times and values that its work expresses. Instead of approaching this objective in a traditional way, requesting a branding/communication design consultancy, the foundation collaborated with CI.LAB (Creative Industries Lab<sup>2</sup> of Politecnico di Milano) through experimenting a participatory design process, involving both internal and external stakeholders in a co-creation process. This research started with a clear definition of the research question: how could a design-led participatory process involve diverse stakeholders to form a new philanthropy brand identity? As a first step, therefore, a group of people who had been distinguished as key figures for innovation and creativity in the field of communication

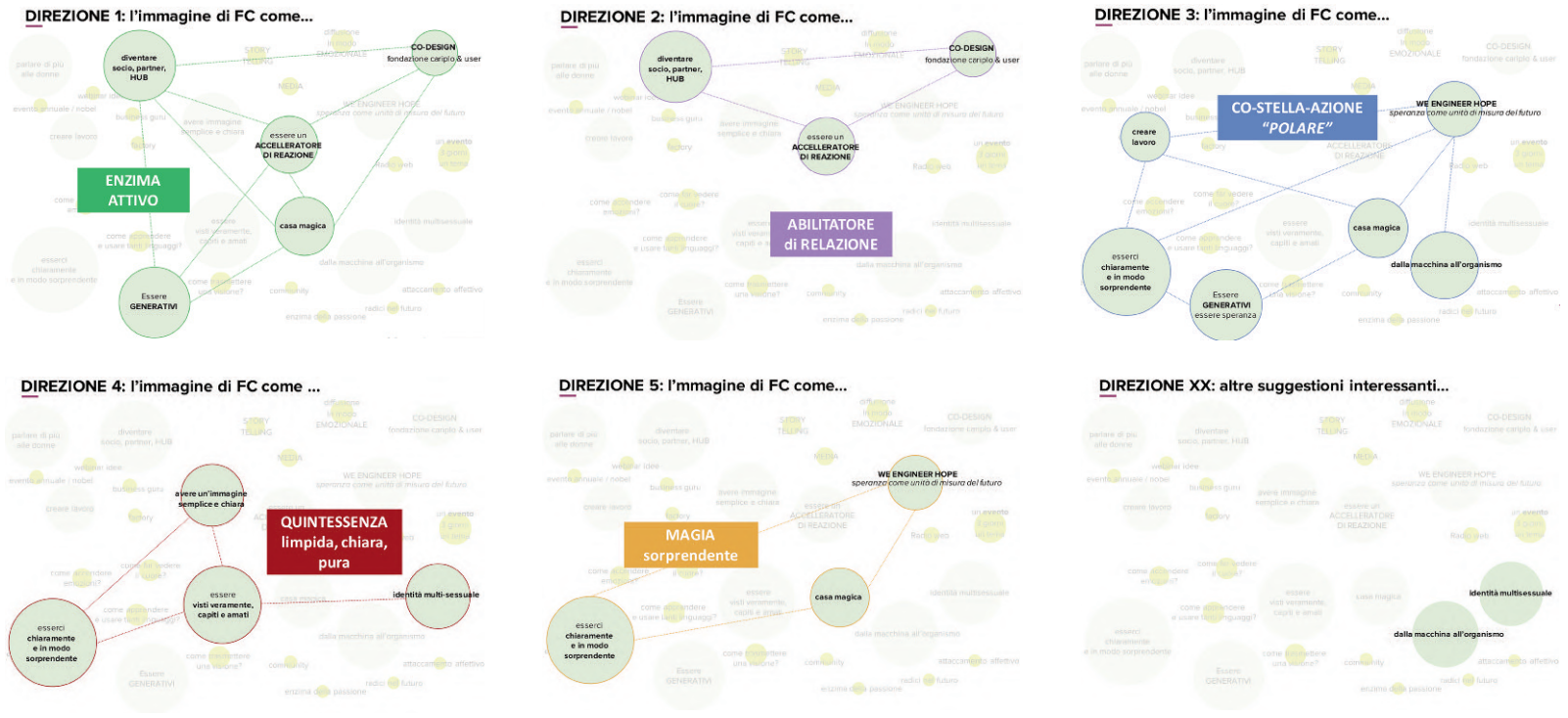


Fig. 10-15 - The Six directions of future development.

and marketing was chosen as external experts.

At the same time, several employees from communication and strategy departments have also been selected as internal contributors. These people were involved in two creative workshops (in July and September of 2016) in three phases, exploratory, analytical, generative, to outline, on one hand, the existing perceived brand images of Fondazione Cariplo according to a situated framework. And on the other hand, suggestive and imaginative ideas and directions to work on for building a new brand identity. Afterwards, the outcomes produced directly from two workshops have been analysed by the research team with several dedicated research tools. Thanks to this analysis activity, it was, therefore, possible to draw up a Creative Brief, which will act as a guideline to engage a group of young communication designers from Politecnico di Milano, selected from recent graduates and master presentations in brand design, which worked on the task of transforming the creative brief into graphic proposal of new brand identity for the foundation. The research team, together with the support of an expert branding consultancy, have selected 6 final proposals. And after a series of internal approval and discussion, a final decision has been made among the 6 proposals. On the 22 February 2018, the new brand image (Fig. 1) and rebranding process were launched and presented to the public<sup>3</sup>. The whole research process has been illustrated below (Fig. 2). The process was designed based on the principle of design thinking, going through diverge and converge phases in two creative workshops. Situated Co-Design tools have also been developed to guide participants from the beginning to the end.

Applying brand perception theory in philanthropic sector – The concept of brand perception and corporate branding has been studied by scholars in

different research domains, e.g. corporate identity and customers' attitudes are essentially important for companies in the field of service (Davies et alii, 2004), advertising and design; different dimensions and elements of corporate identity have been identified (Melewar and Karaosmanoglu, 2006); Schmitt (1995) and Schmitt et alii (1995), related visual identity and external perception of companies to corporate branding. Fashion brands have a lot experience in developing their brand identity and cultivating a precise brand perception among their targets (Okonkwo, 2012). Fondazione Cariplo has been conducting diverse civic projects for supporting fragile communities to reach a common good. Even though a number of people have benefited from the offerings, they didn't have a general perception about of Fondazione Cariplo as a brand. There's a lack of brand identity and brand recognition. The mindset of branding and communication strategies in philanthropic organisations is not as mutual as that in business ones. Many leaders in non-profit organisations are still associate branding with commercial pursuit (Kylander and Stone, 2012). Moreover, it's often more difficult to build a strong brand identity and a profound brand perception through invisible services instead of physical products.

The branding approach in philanthropic domain is still under development. And one of the crucial differences between business brands and philanthropic ones is the relationship with their targets. The role of brand for foundations is not strictly linked to economic growth, instead, to the social impacts and values created and recognised. Instead of focusing only on the target, it's significant for Fondazione Cariplo to form and cultivate a network of stakeholders who could both benefit from and contribute to. The brand perception is a mix of three elements: company, target/consumer and meta-trend (Bassani and Sbalchiero, 2002; Fig. 3), indicating how the brand is perceived by

its target in a situated context (Lave and Wenger, 1991) with certain cultural, social and technological trends. However, for a philanthropic organisation, the brand perception is much more complicated. The target group will no longer be the consumers, but its beneficiaries or collaborators, who might also bridge an indirect brand perception generated by the final beneficiaries of financed projects and activities.

To breakdown a traditional top-down or inside-out brand generation process, an outside-in approach could help Fondazione Cariplo to better understand how they have been perceived by the public now and how they should be perceived in the future. As the very initial step in the first creative workshop, the research team has designed a tool (Fig. 4) to allow all participants to open conversation about existing brand images and impression perceived by the public. Participants have been grouped regarding to their different backgrounds and professionals. Four groups have been assigned and each group has both external experts and internal employees to balance the two different perspectives. Firstly, every participant has written down their perceptions about the foundation's identity: who is Fondazione Cariplo? How to perceive it as a 'person'? Afterwards, they were required to share their perceptions in groups and use brand perception tool to select three words that best present the foundation. As the output of this activity, four groups have come up with 12 words describing who is Fondazione Cariplo (Fig. 5-8). Based on the discussions and brainstorming, the research group has finally summarised three common words to represent Fondazione Cariplo's existing brand identity (Fig. 9). This step has acted as an ice-breaking session to create a shared 'perspective' and 'language' for conducting the following Co-Design steps.

The brief: Co-Design with stakeholders – Co-De-

sign has been considered as one of the most effective approach to develop collective knowledge. Design research is changing from a user-centred approach to co-designing means a revolution of considering designers' role from individual expert designers to facilitators of co-creation processes, as well as the role of 'users' in a design process (Sanders and Steppers, 2008). The implication of this shift to designers and design researchers are enormous. One example is the project of Social Housing Foundation, initially founded by Cariplo Foundation, has promoted a Startup Community and an enabling path for the people who will live together in the 20,000 homes that will be built by 2019 throughout Italy (thanks to the 2.2 billion Euro of Italian fund for Housing of the Cassa Depositi e Prestiti). From a year before the move, the residents meet to Co-Design the services and management methods of common areas (laundry, gardens and vegetable gardens, games room, etc.) and services (condominium baby-sitters, fun activities, etc.). This is a path to lead the creation of a resilient and activated community, supported by digital tools such as a platform and an application.

Another case used Co-Design to develop new service offerings is our experience with Universiis, a national social cooperation with headquarter in Udine (Cauro et alii, 2016; Zurlo, 2018). The objective of applying Co-Design method is to engage employees at different organisational levels to 'actively' contribute to providing service ideas and to enhance their sense of belonging to the social cooperative. The Co-Design activity has used gamification (Patrício, Moreira and Zurlo, 2018): co-create new service ideas through collaborating with other colleagues to win a game. The last case to mention is an European project: Co-Create<sup>4</sup>, which involved SMEs in traditional sectors and creative community to applying Design Thinking and design methods to generate competitive solutions. The whole process included two different types of Co-Design activities. It started with Co-Design session with SMEs in traditional sector to well define a brief (call for idea) to launch. Afterwards, the research team facilitated a matching session between SMEs and creative individuals and groups to find best collaboration model and approach. The final winning ideas have presented during Milan Design Week 2018. These three cases have shown the different objectives to apply Co-Design method and they provided us the methodology and the tools to explore the re-branding process in Fondazione Cariplo.

In this research project, the participants are not 'users' of service but 'stakeholders', who are experts in certain areas and have close relationship with the foundation. The design team definitely needs to actively involve them in contributing their perspectives, knowledge and visions towards a shared result. The Co-Design sessions have been designed into different phases. In the first creative workshop, the participants have been involved in finding the Foundation's development needs and how these needs could be realized. A design tool called How Might We<sup>5</sup> has been used to support this phase. The research group has presented a number of emerging social and cultural trends to stimulate the brainstorming activity. Each group was asked to imagine how these trends could impact the foundation's development in 10 years. Four groups have worked separately to identify

promising topics to develop, and at the end of the workshop, every group presented and share their ideas to others. Right after the first workshop, the research team has reanalysed all the ideas and used Affinity Diagramming (Kawakita, 1975) method to identify some common findings. Six directions, as six development areas, have been figured out (Fig. 10-15).

The second creative workshop has started with a sharing moment of presenting these six directions to all the participants. Since these directions of brand development were mainly written in text, the first activity to involve participants is to generate a moodboard to reinterpret one of the directions, supported by a design research method called Collage<sup>6</sup>. Each group have collected visual elements to illustrate how that direct look like and how people could perceive correctly the meaning the foundation will communicate (Fig. 16). During this session, participants had the chance to visually express their opinions, which was definitely hard but much effective to 'steal' the hidden knowledge and ideas in their minds. And this is a diverge moment in which all participants were allowed to release all their opinions and recreate new ones through discuss with their teammates. At the end of this creative workshop, each group has also been required to summarize their ideas in a logic way by identifying several feasible strategies about brand communication (e.g. channels, principle targets and visual language) through using brief generation canvas designed by the research team (Fig. 17).

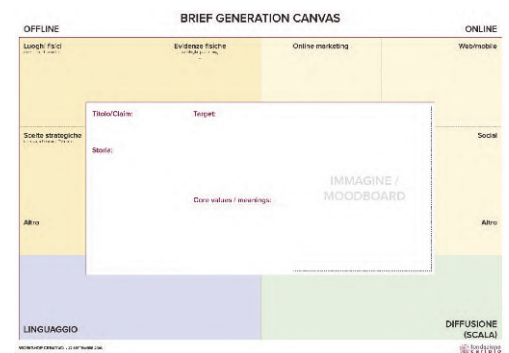
This tool pushed all participants to transfer their visual ideas about foundation's brand to concrete communication strategies. This canvas consists of 5 main areas: 1) Why – main elements that declare the core meaning of a brief; 2) Online channels to communicate new brand identity; 3) Offline channels to communicate new brand identity; 4) Communication language; 5) Geographic communication scale. Four briefs have generated as the final outputs of second workshop. After restudied all the data and information generated from both workshops, the design research team has reported a final Creative Brief to Fondazione Cariplo (Fig. 18), which has also been launched to a young creative graphic designer group to guide their idea generation of foundation's new brand identity.

Creating an innovation culture in the organisation – The whole rebranding process has lasted for about one year and a half, which certainly was not only limited to the redesign of the Foundation's visual brand identity, but was an initial step towards a new way of managing and establishing strategy to create solutions through engagement. Design has gone beyond the traditionally recognised role: creating functional and aesthetic solutions to a new scope: where designers move beyond the details of industrial processes and consumption to address issues pertaining to systems and culture in organisations (Beaudry, 2015). Exactly from this experience and experimentation, the most important change design has brought to the foundation is the cultural of co-creation and stakeholder engagement toward innovation. The final brand image and strategies are the visible evidences that this change has crafted. Moreover, much more invisible changes have been cultivated and will definitely affect the foundations' organisational be-

haviour (Rousseau, 1995) for a long period. The following two points are the first reflection about these invisible changes.

1) A new model of open innovation. Different from a conventional 'inside-out' innovation approach (Simanis and Hart, 2011), this research project has built an 'outside-in' one to create the brand identity for the foundation. This outside-in approach means not only involving external design professionals and consultant to 'design' particular artefacts for or with the foundation, more significantly, means engaging external actors and stakeholders in discussing essential organisational issues (brands identity and meanings) through co-creation. The change is a big step to apply Design Thinking and design methods in reshaping the organisational behaviour for innovation, which goes beyond development innovation of product or service offerings. This innovation model also suggests a promising transformation of operating organisational practice, which is traditionally conducted by internal leaders and managers, now this activity is likely to be shared with external actors and stakeholders. This transformation is fostered and supported by Design Thinking and situated design tools.

2) Transforming from visible changes to invisible changes. The initial objective to adopt design and Design Thinking in Fondazione Cariplo is to produce the new idea of brand identity, which refers to the first order of design activities (Buchanan,



**ESSENZA** FC come enzima, attivatore di risorse e generatore di energia sempre in movimento  
 → We Engineer Hope: FC come ingegnere di speranze ma anche ingegnere di enzima

**RELAZIONE** FC è aperte verso di te e presente nel tuo cammino per realizzarti → presente nel tuo tempo  
 (coaching: FC come allenatore, ti accompagna nella preparazione sponnandoti; però sei tu a giocare la tua partita)

**APPARENZA** Filantropia dimensione sorprendente e magica in contrasto con mondo opportunisti ed individualista.  
 FC si propone sinceramente come un luogo di alternative, dove si eliminano magicamente le disparità.  
 #magia #sorpresa #trasparenza #SocialGlue

Fig. 16 - Four moodboards generated in the second creative workshop.

Fig. 17 - Brief generation canvas (designed by the research team).

Fig. 18 - Creative brief for creating new brand identity of Fondazione Cariplo (written by the research team based on the outputs of workshops).

1992). However, through conversations and practical participatory experiences, the foundation has realised and recognised more significant values that Design Thinking and design methods could bring to them – a new way of reshaping internal operations and formulating new organisational mindset. This includes the creation of clear pathways into the organization that give people guidance and confidence in making decisions and taking actions (Buchanan, 2004). The design process did not end with the design of the logo and the new narrative strategies of the brand, but is represented in a greater positive disposition towards internal and external actors, to take on hints and creative inputs.

**Conclusions –** The final result of this project is the generation of a communication manual<sup>7</sup> for Fondazione Cariplo, including not only the new brand image but also the clearly defined communication strategies and principals. As the main research result, a co-creation process of conducting open innovation dedicated to building a new brand for foundation was designed and implemented. This approach enlarged the creation of an innovation culture inside organisations in non-profit sector, in which this topic has been explored very little in both theoretical and empirical studies. At the same time, this process also acted as a tool for the big foundation to perceive an alternative flat way to face its important innovation issues, which have radically challenged its traditional hierarchical organization structure. The design research team has used this process and design tools to foster the foundation to build its own capability and culture of innovation.

Several contributions about this research could be listed as following. Firstly, this research provided a new approach to generate brand image for foundations and other similar organisations in non-profit sector. The whole process and relevant tools have a high originality and could provide useful references to similar researches and practices. Secondly, this research has highlighted the importance of facilitating an innovation culture through engagement, especially in the philanthropic sector. Design-led research could provide effective methods and techniques that allow organisations to establish its own relationships among internal and external actors. New relationships or co-creation paradigms have provided new scenarios and possibilities to manage existing resources in a different way. Lastly, there's also an economic advantage. This process of creating new brand identity proposed by the design research team has better organised and used the existing resources and transferred them into promising results. It has reduced the foundation's investment compared with a traditional brand design way.

Regarding to the limitations that restricted this research and its potential impacts on the research findings, the following several aspects have been listed. Firstly, it is important to further grow the scientific knowledge in open innovation. Even though the design methods and research process are situated designed for this project, with the contribution from open innovation, this research process could be rephrased as a scientific framework to test in different organisations and sectors. And undoubtedly this will also be the future steps of this research. Secondly, this participatory design activ-

ity had a geographical limitation, because it was conducted in Italian social and cultural contexts. The possibility to scale this research results and impact in other countries and culture need in-depth discussions. Thirdly, researches in organisational changes are always associated with evaluation and assessment (KPI). However, in this research, due to the time issue and the difficulty to evaluation, the research group didn't report a scientific evaluation on the organisational changes, especially when considering the long-term impacts of the research results.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the introductory paragraph is to be attributed to F. Zurlo, the other paragraphs are to X. Pei. Authors would like to thank all the people who have collaborated in and contributed to different phases of this project.

#### NOTES

- 1) Fondazione Cariplo is a foundation of origin banking that carries out philanthropic activities. The foundations of banking origin are non-profit, private and autonomous institutions, born at the beginning of the 1990s with the law proposed by Giuliano Amato (no. 218 of 30 July 1990), which led to the privatization of the Savings Banks and of the Banks of the Monte. Fondazione Cariplo is committed to supporting, promoting and innovating socially useful projects related to art and culture, the environment, social issues and scientific research.
- 2) For more information on Creative Industries Lab, visit the website: <http://www.cilab.polimi.it/> [Accessed 3 March 2019].
- 3) The logo and image have been reworked by A. Romano of Inarea, who perfected the suggestions of the young designers involved, in turn activated by the results of the Co-Design creative process.
- 4) For more information on Co-Create project, visit the website: <https://co-create.interreg-med.eu/> [Accessed 12 March 2019]
- 5) For more information, visit the website: <http://www.designkit.org/methods/3> [Accessed 3 March 2019].
- 6) For more information, visit the website: <http://www.designkit.org/methods/25> [Accessed 3 March 2019].
- 7) To consult the Official Communication Manual of Fondazione Cariplo cfr. the website: [http://www.fondazione-cariplo.it/static/upload/man/manuale\\_comunicazione2018.pdf](http://www.fondazione-cariplo.it/static/upload/man/manuale_comunicazione2018.pdf) [Accessed 12 March 2019].

#### REFERENCES

- Bassani, M. and Sbalchiero, S. (2002), *Brand design: costruire la personalità di marca vincente*, vol. 2, Alinea Editrice, Firenze.
- Beaudry, J. (2015), "Design tools for social engagement in organizations", in *Od Practitioner*, vol. 47, issue 3, pp. 15-20.
- Buchanan, R. (2004), "Interaction pathways in organizational life", in Boland, R. J. and Collopy, F. (eds), *Managing as Designing*, Stanford University Press, Stanford (CA), pp. 54-63.
- Buchanan, R. (1992), "Wicked problems in design thinking", in *Design issues*, vol. 8, issue 2, pp. 5-21.
- Cauro, F., Fois, L., Legramandi, E., Melazzini, M., Pei, X., Vignati, A. and Zurlo, F. (2016), "Design and Gamification for Reshaping Relations and Services in Social Cooperatives", in *Inflection Point: Design Research Meets Design Practice – The 20th dmi: Academic Design Management Conference Proceedings, 28-29 July, 2016, Massachusetts College of Art and Design, Boston*, pp. 1934-1953.
- Davies, G., Chun, R., Vinhas da Silva, R. and Roper, S. (2004), "A corporate character scale to assess employee

- and customer views of organization reputation", in *Corporate Reputation Review*, vol. 7, n. 2, pp. 125-146.
- Kawakita, J. (1975), *The KJ method – a scientific approach to problem solving*, Technical report, Kawakita Research Institute, Tokyo.
- Kylander, N. and Stone, C. (2012), "The role of brand in the nonprofit sector", in *Stanford Social Innovation Review*, vol. 10, issue 2, pp. 35-41.
- Lave, J. and Wenger, E. (1991), *Situated learning: Legitimate peripheral participation*, Cambridge University Press, Cambridge (UK).
- Melewar, T. C. and Karaosmanoglu, E. (2006), "Seven dimensions of corporate identity – a categorisation from the practitioners' perspectives", in *European Journal of Marketing*, vol. 40, n 7-8, pp. 846-869.
- Okonkwo, U. (2016), *Luxury fashion branding: trends, tactics, techniques*, Springer, New York.
- Patrício, R., Moreira, A. C. and Zurlo, F. (2018), "Gamification approaches to the early stage of innovation", in *Creativity and Innovation Management*, vol. 27, issue 4, pp. 499-511.
- Rousseau, D. (1995), *Psychological contracts in organizations: understanding written and unwritten agreements*, Sage Publications, USA.
- Sanders, E. and Stappers, P. (2008), "Co-creation and the new landscapes of design", in *CoDesign*, vol. 4, issue 1, pp. 5-18.
- Schmitt, B. (1995), "Language and visual imagery: issues of corporate identity in East Asia", in *Columbia Journal of World Business*, vol. 30, n. 4, pp. 8-36.
- Schmitt, B., Simonson, A. and Marcus, J. (1995), "Managing corporate image and identity", in *Long Range Planning*, vol. 28, n. 5, pp. 82-92.
- Simanis, E. and Hart, S. (2011), "Innovation from the inside out", in *MIT Sloan Management Review / Top 10 Lessons on the New Business of Innovation*, Winter 2011, pp. 9-18. [Online] Available at: [https://www.academia.edu/24853103/Innovation\\_From\\_the\\_Inside\\_Out](https://www.academia.edu/24853103/Innovation_From_the_Inside_Out) [Accessed 19 December 2017].
- Zurlo, F. (2018), "Produzioni Creative Driven", in *Io sono Cultura – 2018 / L'Italia della qualità e della bellezza sfida la crisi*, Quaderni di Symbola, pp. 197-203.

<sup>a</sup> XUE PEI, PhD, is a postdoctoral researcher at Design Department of Politecnico di Milano (Italy). With a background in product design and service system design, she is specialized in applying her design and research skills to designing services and creating design-led strategies. She has worked in international projects about service and business innovation, social innovation, design-driven creative industries, city for elderly. Tel. +39 (0)2/23. 99.59.07. E-mail: [xue.pei@polimi.it](mailto:xue.pei@polimi.it)

<sup>b</sup> FRANCESCO ZURLO, PhD, is Full Professor at Design Department of Politecnico di Milano (Italy). He's Deputy Dean of the Design School and Head of the Course in Product Design (BA+MAs). He is Director of Master in Design Strategy and System Innovation and Co-director of Master in Strategic Design. Founder and Director of CI.lab (a Politecnico's research lab focused in Creative Industries), he is in the board of ADI Index. Tel. +39 (0)2/23. 99.72.60. E-mail: [francesco.zurlo@polimi.it](mailto:francesco.zurlo@polimi.it)

Research & Experimentation

design

## MONITORAGGIO PARTECIPATIVO DELL'ARIA URBANA CON APPARECCHI OPEN SOURCE

### PARTICIPATIVE URBAN AIR QUALITY MONITORING USING OPEN SOURCE DEVICES

Maurizio Vrenna<sup>a</sup>, Matthieu Crétier<sup>b</sup>, Simon Nelson Landén<sup>c</sup>

#### ABSTRACT

*L'inquinamento atmosferico influisce negativamente sulla qualità della vita di miliardi di persone residenti in aree urbane. Gli attuali sistemi di monitoraggio restituiscono dati puntuali ma localizzati su mappe a griglia larga. Risulta quindi difficile per il cittadino e per le istituzioni avere piena consapevolezza della qualità dell'aria che respirano. L'articolo presenta la sperimentazione condotta da un gruppo di ricerca interdisciplinare, finalizzata alla realizzazione di un dispositivo compatto, economico e facilmente riproducibile, in grado di misurare gli inquinanti e riportarli in tempo reale su una mappa dettagliata e ad accesso libero. Il codice aperto e la versatilità del prodotto costituiscono la chiave per la sua diffusione e per contrastare l'inquinamento con un approccio partecipativo.*

Air pollution negatively affects the life quality of billions of people living in urban areas. Current monitoring systems provide accurate data but this is distributed on large-scale grids. It is therefore difficult for citizens and institutions to be fully aware of the air quality in their area. The article presents an interdisciplinary research group's experimentation, aimed at creating a compact, economic, and easily reproducible device capable of measuring pollutants and reporting them in real-time on a detailed, free-access map. The openness of the code and the versatility of the product are the keys for its replicability and for tackling air pollution with a participatory approach.

#### KEYWORDS

*inquinamento atmosferico urbano, dispositivi open source, monitoraggio partecipativo, piattaforma di condivisione, sensibilizzazione pubblica*

urban air pollution, open source devices, participative monitoring, sharing platform, public awareness

**L**e rivoluzionarie scoperte del secolo scorso e i considerevoli sviluppi nel campo tecnico hanno portato a un positivo mutamento nelle abitudini di miliardi di persone. Al tempo stesso, in nome di un progresso miope e nel tentativo di ottenere facili profitti, sono state spesso giustificate azioni dannose per l'ecosistema naturale e, di riflesso, per l'uomo. Un cambio di paradigma, caratterizzato da azioni provenienti dai più svariati campi disciplinari è quindi di primaria necessità<sup>1</sup>. È in questo contesto che il design può e deve farsi promotore di pratiche innovative, attraverso la progettazione di prodotti, servizi e sistemi, per il raggiungimento di un benessere condiviso<sup>2</sup>. L'inquinamento atmosferico è solo uno dei problemi che attanagliano le società del terzo millennio. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (2016), riferisce che gli inquinanti dell'aria siano responsabili per circa una morte su nove ogni anno. I costi economici, sociali e ambientali sono destinati a crescere nelle prossime decadi (EEA, 2018), mentre picchi di inquinamento sono sempre più comuni. Molte città sono vittime dello stesso problema, in Europa come in Asia, Africa e America (Fig. 1). Se si considerano inoltre l'espansione incontrollata delle aree urbane e la stima secondo cui il 66% della popolazione globale vivrà in insediamenti metropolitani entro il 2050 (United Nations, 2018), progetti e ricerche finalizzati a mitigare questo fenomeno sono estremamente attuali (Keivani, 2010).

Al fine di sviluppare soluzioni tecniche all'avanguardia, implementare politiche ambientali e indurre a cambi comportamentali, il monitoraggio dell'aria è di grande importanza. Al giorno d'oggi la qualità atmosferica viene rilevata attraverso stazioni di controllo operate da Enti ufficiali. Queste sono altamente affidabili e misurano un'ampia gamma di agenti inquinanti. Ciononostante, i considerevoli costi operativi ne limitano il numero, restituendo una mappa dell'inquinamento caratterizzata da una griglia a maglia larga (Carullo et alii, 2007). Questo paradigma sta cambiando e le più recenti ricerche sono indirizzate verso l'uso di stazioni mobili, l'ingegnerizzazione di dispositivi di monitoraggio intelligenti ed economici (Snyder et alii, 2013) e rilevamenti tramite smartphone (Hasenfratz et alii, 2012). Tuttavia questi tipi di sensori non hanno ancora raggiunto il loro potenziale di mercato (Lewis and Edwards, 2016). Un fenomeno emergente è il cosiddetto 'design aper-

to' che, sebbene non abbia una definizione univoca, può essere inteso come la «rivelazione gratuita di informazioni su un nuovo lavoro con l'intento di uno sviluppo collaborativo di un singolo progetto o di un numero limitato di progetti correlati per lo sfruttamento sul mercato o meno» (Raasch et alii, 2009, p. 383). Applicabile sia alla progettazione di software che di prodotto, il 'design aperto' ha già portato a risultati concreti e implementazioni di successo (Howard et alii, 2012), affrontando sfide significative nell'identificazione di modelli economici sostenibili, e che possano motivare i contributori (Bonvoisin and Boujut, 2015).

Il presente contributo illustra un esperimento condotto in un ambiente urbano che ha visto la prototipazione e prova di un innovativo apparecchio di rilevamento dell'aria. Il dispositivo è stato ideato tenendo in considerazione gli elementi della collaborazione aperta, tra cui l'accesso libero alla contribuzione e fruizione dei contenuti e lo scambio di informazioni tra partecipanti (Levine and Prietula, 2014). La sperimentazione si colloca nel campo del design di prodotto, con particolare attenzione allo sviluppo in parallelo di uno scenario che possa favorire la costruzione di comunità consapevoli che possano prendere decisioni con fermezza (regolamentazione del traffico, costruzione di aree pedonali e piste ciclabili, efficientamento energetico degli edifici pubblici e/o privati, politiche sulla sanità pubblica, ma anche abitudini di acquisto e consumo, etc.)<sup>3</sup>. L'articolo è rivolto a ricercatori nel campo del design e dell'ingegneria, istituzioni pubbliche e private, imprenditori che desiderano investigare modelli di impresa alternativi ma anche, e soprattutto, a cittadini interessati a contribuire alla risoluzione di un problema così difficile da contrastare.

*Contesto del progetto e fasi della sperimentazione* – La ricerca è nata all'interno di un programma di formazione congiunto fra Politecnico di Torino, Collège des Ingénieurs Italia e CERN IdeaSquare<sup>4</sup>. Il progetto è stato condotto da un gruppo di studenti di dottorato e MBA (Fig. 2) provenienti dai campi del design, dell'ingegneria e dell'economia in risposta alla sfida lanciata dalla Municipalità di Torino, per l'adozione di sensoristica che potesse sfruttare le nuove reti di comunicazione 5G<sup>5</sup>. Una commissione di esperti<sup>6</sup> lo ha selezionato come vincitore dell'edizione 2018 sulla base del potenziale impatto sulla comunità locale<sup>7</sup>. Il progetto si confi-



gura attorno a due elementi, ovvero un dispositivo di rilevamento dei particolati, autoprodotta e programmata con codice open source e una piattaforma online attraverso la quale consultare i dati, ottenuti tramite un processo di monitoraggio partecipativo. I dati consentirebbero ai cittadini di essere sempre aggiornati, mentre sarebbero di supporto alle municipalità per decisioni complesse sotto condizioni critiche, come i picchi di inquinamento. L'apertura alla collettività è una peculiarità del progetto. Il coinvolgimento di un ampio numero di fruitori renderebbe infatti più trasparente ed efficiente il processo di acquisizione ed elaborazione delle misurazioni. Data l'originaria natura imprenditoriale, è stato anche ipotizzato un modello di sostenibilità economica e sociale che stimolasse la partecipazione alla piattaforma.

L'approccio sperimentale ha avuto sin da subito uno stampo pratico-operativo. Dopo una prima fase di ricerca, è stata elaborata una visione complessiva del progetto. Ha fatto seguito la prototipazione del dispositivo e della mappa. Le funzioni dei prototipi sono state validate in occasione di una fiera aperta a startup, artigiani, studenti e cittadini<sup>8</sup>. I riscontri ottenuti sono serviti al miglioramento delle prime versioni, che risultavano ancora immature. Un modello aggiornato dell'apparecchio è stato, quindi, riprodotto in cinque esemplari, che sono stati successivamente collocati in aree critiche di Torino. L'installazione è servita a verificare il grado di interesse di coloro che si sono resi disponibili alla collaborazione e per collezionare una serie di dati. Infine, i risultati sono stati normalizzati, ricampionati e analizzati. La sperimentazione si è articolata per un periodo di 11 mesi, con fasi di lavoro più o meno intense (Fig. 3).

*L'apparecchio di monitoraggio autoprodotta* – Progettato per essere di facile utilizzo e collocabile sia in uno spazio domestico che pubblico, il dispositivo si integra con la piattaforma di visualizzazione dati fornendo valore aggiunto all'intero progetto. Per la sua realizzazione sono state adottate le linee guida del design aperto, garantendo processi e sorgenti degli output accessibili e (ri)utilizzabili, da ognuno e per qualsiasi scopo (Boisseau et alii, 2018). Lo sviluppo si è articolato in quattro fasi: ideazione, prototipazione, assemblaggio e riproduzione, test. Durante la fase di ideazione, sono stati definiti i vincoli progettuali. I requisiti presi in considerazione sono stati il costo complessivo contenuto, la reperibilità dei componenti, la facilità di montaggio, le ridotte dimensioni, l'affidabilità. Queste caratteristiche sono decisive per garantire un'ampia diffusione: l'intera piattaforma guadagna infatti efficacia all'aumentare dei sensori funzionanti, permettendo un'elevata granularità delle misurazioni.

Dopodiché, si è proceduto con la selezione delle componenti per la prototipazione. La componentistica utilizzata non è avanguardistica e ciò ne ha permesso un facile acquisto online. Ogni dispositivo include: n. 1 Arduino Pro Mini, n. 1 sensore di rilevamento particolati<sup>9</sup>, n. 1 microSD da 16 GB, n. 1 supporto per scheda SD, n. 1 Real-Time Clock (RTC), n. 1 pila a bottone, n. 1 batteria al litio ricaricabile da 3,7V, n. 1 regolatore di voltaggio, n. 1 breadboard, cavi di connessione, guscio esterno. Il costo complessivo è stato di circa euro 60,00, quindi relativamente accessibile. Il funzionamento dell'apparecchio risulta essere piuttosto



Fig. 1 - Air pollution over the city of Turin (credit: F. Lammanna, 2017).

Fig. 2 - The group of PhD and MBA students. From the left: R. Pietrobon, M. Vrenna, J. Shan, A. Siciliani, F. Fontana and M. Crétier.

semplice. Il sensore raccoglie i dati, questi vengono inviati alla scheda Arduino che li elabora e li trasmette alla microSD per la scrittura. L'orologio, alimentato dalla pila a bottone, tiene traccia dell'ora e permette di programmare l'azione del sensore e della batteria ad intervalli regolari. La batteria al litio fornisce energia solamente quando azionata. Il regolatore di voltaggio trasforma la tensione di 3,7V in uscita delle batterie in 5V, come da specifica di Arduino (Fig. 4).

Una versione preliminare del dispositivo ha previsto la modellazione e stampa in 3D (Fig. 5) di un involucro esterno. Il sensore così assemblato (Figg. 6, 7) è stato validato (Fig. 8) e in seguito presentato durante la giornata conclusiva del programma I4C (Fig. 9). Un secondo prototipo, utilizzato per la fase di test, ha invece visto l'adozione di un comune contenitore in plastica rigida. Questa scelta ha permesso di abbassare i costi e ridurre i tempi di riproduzione, a discapito di un maggiore dimensionamento<sup>10</sup>. Per assemblare i dispositivi sono state consultate diverse guide online: i pin sono stati saldati, mentre altre componenti fissate con nastro adesivo. La batteria al litio è stata isolata con poliuretano espanso, nel tentativo di ottimizzarne la durata (Fig. 10). Per l'assemblaggio di ogni dispositivo ci è voluta circa un'ora e mezza. Gli apparecchi si sono rivelati semplici da riprodurre e soprattutto affidabili. Si suppone che anche un pubblico inesperto sarebbe in grado di costruirli seguendo basilari istruzioni e ci si auspica che la comunità intervenga nel loro miglioramento.

*La mappa* – La visualizzazione spaziale e temporale dei dati è un tema attuale. Le rappresentazioni grafiche permettono di comunicare informazioni complesse con chiarezza e precisione, incoraggiando alla comparazione e rivelando le loro qualità intrinseche (Tufté, 2001). La mappa, che consente la consultazione dei dati sugli inquinanti, è

stata creata servendosi di R, un linguaggio di programmazione e un ambiente di sviluppo per l'analisi statistica. Questa scelta è stata dettata dalla licenza open source e la presenza di librerie per l'analisi e la visualizzazione di dati quali shiny, leaflet e ggplot<sup>21</sup>. Particolare attenzione è stata rivolta alla tecnologia modulare ed a processi d'integrazione semplici: questi sono tratti fondamentali affinché lo sviluppo di un progetto open source veda la partecipazione ed il contributo di quanti più esperti e interessati (Bonvoisin and Boujut, 2015).

La mappa si dimostra di facile fruizione e univoca comprensione (Fig. 11). L'utilizzo dell'interfaccia grafica è stato influenzato dalle metriche selezionate e applicate, in fase di prima analisi, nella classificazione delle criticità che contraddistinguono i sistemi di monitoraggio ad oggi disponibili. Quindi una maggiore rilevanza è stata data alla granularità delle misurazioni, alla loro frequenza di campionamento e alla loro accessibilità. La mappa è stata sviluppata su di una griglia, le cui celle hanno una dimensione di 500 metri per lato. Ciò permette di aggregare campionamenti fatti in aree adiacenti, interpolare i loro valori e ovviare all'errore della singola misurazione. Attraverso questo approccio a supporto di una popolazione di sensori collocati sull'intera area comunale, si otterrebbe un reticolato composto da 520 celle. In confronto alle cinque stazioni di rilevamento operate dall'ARPA, si potrebbe ottenere una griglia fino a 100 volte più densa.<sup>12</sup>

*Programmazione open source* – Il software è stato sviluppato utilizzando un popolare sistema open source basato su Git<sup>13</sup>. Si è inizialmente selezionato il servizio di hosting Bitbucket per la possibilità di avere una banca dati privata e gratuita<sup>14</sup>. L'intenzione prossima è di archiviare i valori raccolti su una repository pubblica, rendendoli completamente accessibili. Poiché si è scelto Arduino come piattaforma integrata, per la scrittura del codice ci si è serviti unicamente del suo Ambiente di Sviluppo Integrato (Arduino IDE)<sup>15</sup>. Le librerie standard di Arduino sono state utilizzate per importare i dati sulla scheda SD attraverso protocollo SPI (Serial Peripheral Interface) e per la comunicazione con il circuito RTC per mezzo del protocollo I2C (Inter-Integrated Circuit). Sono state usate anche un paio di librerie di terze parti: Low-Power di Rocket Scream Electronics per ridurre il consumo energetico del dispositivo e RTCLib di Adafruit per semplificare l'installazione del circuito RTC<sup>16</sup>. Una libreria specifica per il misuratore di PM2,5 è stata sviluppata per tradurre le misurazioni in valori facilmente utilizzabili.

Il perfezionamento del software sarà necessario in una fase più matura del progetto. Attualmente la modalità a risparmio energetico ha incrementato il periodo di funzionamento del dispositivo; tuttavia, come si è evinto dalla fase di test, il tempo non è stato quello desiderato. Si potrebbe intervenire a livello hardware con l'integrazione di celle fotovoltaiche a supporto della batteria. Al tempo stesso, ottimizzare a livello software il rapporto tra fasi di misurazione e standby. Una corretta ottimizzazione di queste componenti potrebbe rendere il sistema autosufficiente in termini di consumo energetico. La registrazione dei dati in cloud, anziché in locale, imporrà nuovi requisiti alla programmazione. Si ipotizza, inoltre, lo sviluppo futuro di un algoritmo per migliorare l'accu-

ratezza del sistema e di reti neurali per un'analisi efficace delle misurazioni.

*Monitoraggio partecipativo e analisi dei dati* – Un test pilota è stato svolto al fine di verificare il funzionamento dei dispositivi. Sono stati installati 5 sensori in altrettanti siti (Fig. 12), attraverso il coinvolgimento di privati cittadini rivelatisi ben lieti di poter contribuire al progetto. Sono stati selezionati balconi nel centro città o nelle immediate vicinanze (Fig. 13), per raccogliere misurazioni in aree con caratteristiche differenti (strade trafficate, interno via, cortili, piani bassi o alti, ecc.). Il monitoraggio è iniziato il 13 dicembre 2018 e si è concluso il 13 gennaio 2019.

I sensori sono stati programmati per acquisire una misurazione ogni 40 minuti. A causa delle basse temperature invernali, la carica di alcune batterie si è esaurita prima del previsto. Lo studio dei dati, effettuata da un esperto analista<sup>17</sup>, ha quindi tenuto conto delle misurazioni raccolte da 3 dei 5 sensori, dal 13 al 20 dicembre. Benché ogni apparecchio fosse stato predisposto con un orologio, si è dimostrata necessaria la sincronizzazione delle misurazioni di PM<sub>2,5</sub> per la loro comparazione. L'unità di misura dell'inquinante è stata convertita da particolati/m<sup>3</sup> a µg/m<sup>3</sup>, ovvero l'unità convenzionale per il particolato sottile. Non sono stati presi in considerazione altri indici quali American Air Quality Index (AQI), Atmos o Indice di Qualità dell'Aria (IQA) in quanto aggregatori di inquinanti diversi, la cui efficacia è stata più volte discussa dalla comunità scientifica internazionale (Franceschini et alii, 2005, p. 502). Successivamente è stata calcolata la media delle concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> per ottenere una stima del loro andamento (Fig. 14). Infine, sono stati estratti i valori medi e la deviazione standard giornaliera per ogni sensore (Fig. 15), al fine di verificare la varianza nelle misurazioni e la loro consistenza (si assume che dispositivi vicini tra loro abbiano valori simili).

Dai dati è emerso che la concentrazione di particolato sottile è stata mediamente elevata. Vi sono stati dei picchi in concomitanza della giornata del 16 dicembre, come riportato dalla Municipalità di Torino<sup>18</sup>. I dati raccolti hanno condotto a risultati soddisfacenti e in linea con le aspettative e sono stati condivisi con i partecipanti. Sebbene alcuni campionamenti presentino una varianza accentuata, complessivamente il sensore si è dimostrato affidabile. Un secondo periodo di rilevamento è previsto per l'estate del 2019, con lo scopo di testare il modulo per la connettività e l'analisi dati in tempo reale.

*Limiti e implicazioni socio-economiche* – La produzione e diffusione di un dispositivo di questo tipo non permettono certamente l'immediata riduzione dei livelli di inquinamento. La collezione, l'impiego ma soprattutto un'analisi meticolosa dei dati – definiti da Humby (2016, p. 13) come il «nuovo petrolio» e motore dell'industria e della società moderna – sono da intendersi di supporto nel miglioramento di soluzioni di carattere tecnico e legislativo, in continua elaborazione. La mancanza di dati oggettivi e qualitativi potrebbe, infatti, portare a intraprendere decisioni errate e, in alcuni casi, controproducenti.

Il progetto è stato in grado di dimostrare che è possibile autoprodotto dei dispositivi di controllo

degli inquinanti, che restituiscono dati affidabili con una modesta densità spaziale. Ciononostante sarebbe opportuno testare l'affidabilità dei sensori nel medio-lungo termine. Rilevamenti in altre zone urbane potrebbero dimostrarsi utili. La qualità del guscio esterno potrebbe essere migliorata, per garantire una maggiore protezione da urti e agenti atmosferici e fornire isolamento termico, così come l'interazione uomo-dispositivo che, ad oggi, non è immediata. Si potrebbe inoltre lavorare sulla riduzione del costo totale: la sostituzione della scheda programmabile Arduino in favore di una scheda pre-programmata potrebbe essere una soluzione perseguibile, a scapito però di una grande versatilità d'uso. Anche la mappa necessiterebbe di un'ottimizzazione della sua fruizione che, ad oggi, è possibile solamente tramite un programma per computer dedicato.

Infine, la produzione in autonomia dell'apparecchio potrebbe risultare difficile per alcuni, ostacolando una sua rapida diffusione. È quindi di sostanziale importanza formare i cittadini incrementando la comunicazione, la visibilità del progetto online, il passaparola e la presenza a fiere ed eventi pubblici. Pur mantenendo saldi i principi di collaborazione aperta si potrebbero, per giunta, rifinire modelli di impresa e partenariato con aziende e istituzioni, che assumerebbero un ruolo chiave per la promozione e l'acquisizione di un bacino di partecipanti-fruitori allargato.

*Considerazioni, stato attuale e sviluppi futuri* – Si parla sovente dell'inquinamento atmosferico e delle sue cause senza tenere in considerazione che esso dipende, indirettamente, da comportamenti e scelte quotidiane personali. Prediligere l'uso di mezzi di trasporto pubblico, l'installazione di caldaie più efficienti, ma anche il consumo di cibo stagionale e l'acquisto responsabile di prodotti locali, porterebbe ad una considerevole riduzione delle emissioni. La partecipazione attiva nel monitoraggio dell'aria diventerebbe quindi il volano per la diffusione della consapevolezza su questo tema. I cittadini verrebbero educati 'dal basso' e contribuirebbero a fornire dati significativi per le municipalità, utili a combattere l'inquinamento dell'aria con rigore scientifico e cognizione di causa. La resa delle informazioni al pubblico, lo sviluppo di strategie d'azione a livello locale e la valutazione delle fonti di inquinamento, rafforzerebbero il piano per garantire che gli stessi standard vengano rispettati.

Ricerche e sperimentazioni nel campo della progettazione di prodotti in grado di influire positivamente sul tenore della vita di molti, sono

senza dubbio di attualità e di particolare rilevanza. L'apporto multidisciplinare di designer, ingegneri, economisti e programmatori che hanno partecipato a questo progetto è stato certamente un elemento di forza. La collaborazione ha funzionato perché il gruppo è stato in grado di anteporre una struttura di pensiero portante al di sopra dei saperi specialistici, in una prospettiva di contaminazione e azione congiunta. Un livello chiaro di comunicazione e, in alcuni frangenti un sano grado di disaccordo, hanno contribuito al reciproco riconoscimento delle specifiche competenze professionali e personali. Questo metodo di progettazione e ricerca aperto, che integra diverse materie, è «condizione preliminare per modalità di indagine continue, collaborative e sociali che sono indispensabili» (Thackara, 2011, p. 42) e dovrebbe essere adottato più frequentemente sia nella ricerca che nella pratica.

Il gruppo di lavoro sta ora studiando una versione aggiornata del dispositivo, nell'ottica di avviare una nuova fase di test. Al contempo si sta occupando della creazione di documentazione (istruzioni all'autoprodotto e codice di programmazione ottimizzabile da terzi) disponibile gratuitamente al download da un sito internet dedicato, dal quale sarà anche possibile consultare la mappa perfezionata. Ulteriormente si stanno conducendo delle interviste alle persone che hanno aderito al monitoraggio, per capire come migliorare l'esperienza d'uso e le leve su cui insistere per garantire una più vasta adesione al network. Nonostante la sperimentazione in fieri e i limiti tecnici ed economici presentatisi, questo prodotto rappresenta un contributo accademico e pratico rimarchevole, che mira a essere di riferimento per successive ricerche e che ha già suscitato l'interesse della Municipalità di Torino. In un prossimo futuro ci si focalizzerà sul raggiungimento di una maggiore partecipazione pubblica. La volontà di agire e la presa di coscienza sono imperativi e dovrebbero venire prima di qualsiasi altra soluzione di tipo tecnico (Fig. 16).

#### ENGLISH

*The last century's revolutionary discoveries and outstanding technical developments have led to positive changes in the habits of billions of people. At the same time, a short-sighted view of progress and an attempt to obtain easy profit, have often justified harmful actions for the natural ecosystems and, consequently, for man. A change of paradigm, characterized by targeted actions from a wide variety of disciplinary fields, is therefore of primary necessity<sup>1</sup>. It is in this context that design*

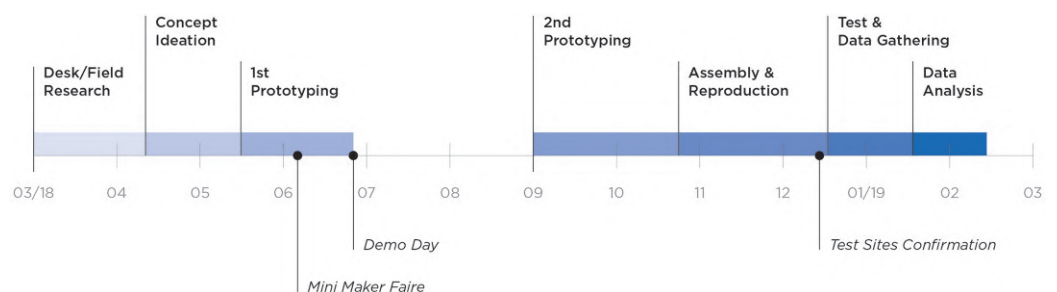


Fig. 3 - Chronology and phases of the experimentation, from March 2018 to March 2019.

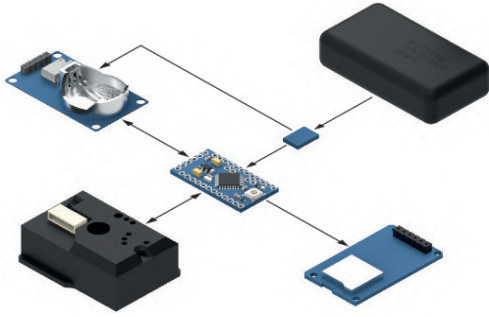


Fig. 4 - Schema of the interactions between the components of the device.

Fig. 5 - The working group while 3D modeling and printing the outer shell at CERN IdeaSquare.

must grasp the possibility of becoming a promoter of innovative practices, through the design of products, services and systems, to achieve shared well-being<sup>2</sup>. Air pollution is one of the main problems afflicting societies of the third millennium. The World Health Organization (2016), has reported that air pollutants are responsible for about one in nine deaths every year. Economic, social, and environmental costs are destined to surge in the upcoming decades (EEA, 2018), while pollution peaks are becoming increasingly common. Many cities are a victim of the same problem, in Europe, as in Asia, Africa and America (Fig. 1). Considering the unprecedented urban sprawl, with an estimated 66% of the world population that will be living in metropolitan areas by 2050 (United Nations, 2018), projects and research aimed at mitigating this phenomenon are extremely relevant (Keivani, 2010).

In order to develop cutting-edge technical solutions, to put environmental policies into practice, and to induce behavioral changes, air monitoring is of utmost importance. Nowadays, air quality is detected by stations operated by official Bodies. These are highly reliable and can measure a wide range of pollutants. Nonetheless, the substantial operative costs limit their number, resulting in pollution maps with large-scale grids (Carullo et alii, 2007). This paradigm is changing and the most recent research is directed toward the use of mobile stations, the engineering of smarter and cheaper sensing devices (Snyder et alii, 2013) and measurements through smartphones

(Hasenfratz et alii, 2012). In spite of this, these kinds of sensors have not yet achieved their market potential (Lewis and Edwards, 2016). An emerging phenomenon is the so-called 'open design'. Even though it does not have a broadly accepted definition, it can be intended as the «free revealing of information on a new design with the intention of collaborative development of a single design or a limited number of related designs for market or non-market exploitation» (Raasch et alii, 2009, p. 383). Open design is applicable to both software and product design and has already led to concrete results and successful implementations (Howard et alii, 2012). Nevertheless, it faces significant challenges in identifying sustainable economic models that could motivate contributors (Bonvoisin and Boujut, 2015).

This contribution presents an experiment conducted in an urban environment that involved the prototyping and testing of an innovative air quality detection instrument. The device was conceived by taking into account the elements of the open collaboration, including the free access to the contribution and use of contents, and the exchange of information between participants (Levine and Prietula, 2014). This experimentation takes place in the field of product design. Particular attention has been paid to the parallel development of a scenario that could facilitate the construction of self-aware communities, able to take purposeful decisions (traffic regulation, construction of pedestrian areas and cycle paths, energy-efficient public and/or private buildings, public health policies, but also purchasing and consumption habits, etc.)<sup>3</sup>. The article is addressed to researchers in the fields of design and engineering, public and private institutions, entrepreneurs who wish to investigate alternative business models but also, and above all, to concerned citizens who want to contribute to the resolution of a complex problem.

Project context and phases of the experimentation – The research began within a learning program jointly developed by Politecnico di Torino, Collège des Ingénieurs Italia, and CERN IdeaSquare<sup>4</sup>. The project was carried out by a group of PhD and MBA students (Fig. 2) from the fields of design, engineering and economics in response to a challenge launched by the Municipality of Turin. This challenge called for innovative sensor solutions that could exploit the new 5G communication network<sup>5</sup>. A panel of experts<sup>6</sup> selected the project as the winner of the 2018 edition, based on its positive potential impact on the local community<sup>7</sup>. The project is based on two elements. Firstly, a detection device, self-produced and programmed with open source code, capable of measuring the concentrations of particulate matter. Then, an online platform to consult data, obtained through a participatory monitoring process. The collected data allow citizens to be constantly updated, while supporting municipalities for complex decision making under critical conditions, such as pollution peaks. The openness to the community is a distinctive aspect of the project. The involvement of a large number of users would make the acquisition and the processing of data more transparent and efficient. Given the original business nature of the project, an executive social model has been hypothesized to stimulate participation on the platform.

The experimentation had a practical-operational approach from the outset. After a first research phase, an overall vision of the project was conceptualized. The prototyping of both the device and the map then followed. The functions of the first versions were validated at a design fair addressed to startups, craftspeople, students, and other citizens<sup>8</sup>. The feedback obtained contributed to improving the prototypes, which were still imperfect. An updated model of the device was reproduced in five samples, which were subsequently placed in critical areas of the city of Turin. The installation allowed the degree of interest of those who collaborated to be verified and a series of data to be collected. Finally, the acquired results were normalized, resampled and examined. The experimentation took about 11 months, with work phases of varying degrees of intensity (Fig. 3).

The self-produced monitoring device – Designed to be easy-to-use and suitable for both domestic and public spaces, the device integrates with the visualization platform providing added value to the entire project. The guidelines of open design have been taken into consideration for its development, guaranteeing that the process and the sources of its output are accessible and (re)usable, by anyone and for any purpose (Boisseau et alii, 2018). The product was developed following four phases: design, prototyping, assembly and reproduction, testing. During the design phase, the constraints were defined. The main requirements were the overall low cost, the availability of the components, the ease of assembly, the small size, its reliability. These characteristics are fundamental for guaranteeing its maximum propagation: in fact, the whole platform gains effectiveness with an increasing number of operating sensors, allowing measurements with high granularity to be obtained.

Following the first ideation phase, the components for the prototypes were selected. The technological parts used are not avant-garde. For this reason, they were extremely easy to buy online. Each device includes: n. 1 Arduino Pro Mini, n. 1 fine particle detection sensor<sup>9</sup>, n. 1 16 GB microSD, n. 1 SD card holder, n. 1 Real-Time Clock (RTC), n. 1 button cell, n. 1 3.7V rechargeable lithium battery, n. 1 voltage regulator, n. 1 breadboard, several connection cables, outer shell. The total cost for the various parts was approximately euro 60.00, therefore relatively accessible. The operational schema of the device is quite simple. The sensor collects data, these are sent to the Arduino board, which processes and transmits them to the microSD for writing. The clock, powered by the button cell, keeps track of the current time and allows programming of the activation of the sensor and of the battery at regular intervals. The lithium battery supplies power only when activated. The voltage regulator is used to transform the 3.7V output voltage of the batteries into 5V, as per the Arduino specification (Fig. 4).

A preliminary version of the device involved the 3D modeling and printing (Fig. 5) of an external casing. The assembled sensor (Figs. 6, 7) was validated (Fig. 8) and subsequently presented during the final day of the I4C program (Fig. 9). For the assembly of a second prototype, used for the test phase, a common hard plastic container was employed. This choice made it possible to lower costs and reduce reproduction times, at the

expense of larger dimensions<sup>10</sup>. Several online guides were consulted to assemble the devices: the pins were welded, while an adhesive tape was used to fix other components. The lithium battery was insulated with expanded polyurethane, in an attempt to optimize its duration (Fig. 10). It took about an hour and a half for the assembly of each device. The sensors were easy to reproduce but above all reliable. Even an inexperienced person should be able to build them with the support of basic instructions. The community will hopefully contribute to their improvement.

The map – Space-time data visualization is a current topic. The graphic representations allow to communicate complex information with clarity and precision and encourage to compare and reveal their intrinsic qualities (Tufte, 2001). The map, that allows the consultation of pollutant data, was created by using R, a programming language and a specific development environment for statistical analysis. The open source license and the presence of optimized libraries for the analysis and display of data such as shiny, leaflet and ggplot2<sup>11</sup> dictated its choice. Particular attention was paid to modular technology and to simple integration processes. These are fundamental features to guarantee successful completion of such an open source project and to see the participation and contribution of experts and passionate people (Bonvoisin and Boujut, 2015).

The map is easy to use and of unambiguous understanding (Fig. 11). The metrics selected and applied in the first analysis, when the critical issues of the contemporary air pollution visualization systems available today have been classified, influenced the use of this graphical interface. Therefore, greater importance was paid to the granularity of the measurements, their sampling frequency, and their overall accessibility. The map was developed on a grid, whose cells base have a size of m 500 per side. This permits the aggregation of samples taken in adjoining areas, interpolate their values, and overcome the single measurement error. Through this approach and with a supportive population of sensors on the entire municipality, would result in a grid of 520 cells. Compared to the five monitoring stations operated by ARPA, it could be possible to obtain a grid up to 100 times denser.<sup>12</sup>

Open source programming – The software was developed using a popular, open source and Git-based version control system<sup>13</sup>. Bitbucket hosting service was initially selected for the possibility of having a private and free repository<sup>14</sup>. The future plan is to store the collected data in a public database, making it completely accessible for anyone. Since Arduino was chosen as a platform, the code was developed solely through its Integrated Development Environment (Arduino IDE)<sup>15</sup>. Arduino standard libraries were used for writing the data on the SD card through the SPI protocol (Serial Peripheral Interface), and for communication with the RTC circuit by means of the I2C protocol (Inter-Integrated Circuit). A couple of third-party libraries have also been used: Low-Power by Rocket Scream Electronics to reduce the power consumption of the device, and RTCLib by Adafruit to simplify the usage of the RTC circuit<sup>16</sup>. A specific library for the PM2.5 sensor was developed

in order to translate the measurements into values that could be easily interpreted.

Further development of the software will be necessary for a more mature phase of the project. Currently, the energy-saving mode has increased the operation time of the device. However, as seen from the test phase, the period was not the one desired. It is possible to improve the system at the hardware level by complementing the battery with a photovoltaic cell, as well as to optimize the sleep-to-measurement ratio at the software level. Optimizing the above in the correct way could possibly make the system self-sustainable in terms of energy consumption. Saving data to the cloud, rather than locally, will impose new requirements on the whole system. Future development will take into account an algorithm able to improve the accuracy of the system and possibly a neural network for a more efficient analysis of the measurements.

Participatory monitoring and data analysis – A pilot test was carried out in order to verify the functioning of the devices. Five sensors were installed in as many sites (Fig. 12), through the involvement of private citizens that were glad to support the project. Balconies have been selected in the city center or in its immediate vicinity (Fig. 13), in order to collect measurements in areas with different characteristics (busy streets, private roads, courtyards, low or high floors, etc.). Monitoring started on December 13, 2018 and ended on January 13, 2019.

The sensors were programmed and synchronized to acquire a measurement every 40 minutes. Due to the low temperatures of the winter period, some of the batteries ran out of power earlier than expected. Therefore, the data analyzed by an expert analyst<sup>17</sup> only studied the measurements collected from 3 of the 5 sensors, from December 13 to December 20. Even though each device was set up with a clock, the synchronization of PM2.5 measurements was necessary to compare them. The unit of measurement of the pollutant was converted from particulates/m<sup>3</sup> to µg/m<sup>3</sup>, corresponding to the conventional unit for fine particulate matter. Other indexes such as American Air Quality Index (AQI), Atmos or Air Quality Index (IQA) were not taken into consideration as they are aggregators of different pollutants, whose effectiveness has been repeatedly discussed by the international scientific community (Franceschini et alii, 2005, p. 502). Subsequently, the mean PM2.5 concentrations were calculated, to obtain an estimate of their trend (Fig. 14). Finally, the average values and the daily standard deviation of the change in PM2.5 for each sensor were extracted (Fig. 15), in order to verify the variance in the measurements and their consistency (it is assumed that relatively near devices have similar values).

Data showed that the concentration of fine particulate matter was high. There were peaks on December 16, as reported by the Municipality of Turin<sup>18</sup>. The information collected led to satisfactory results in line with the expectations and was shared with the participants. Although some samples show a noticeable variance, the self-produced sensor has proved to be overall reliable. A second data collection period is scheduled for the summer of 2019, with the aim of testing connectivity and the real-time data analysis.

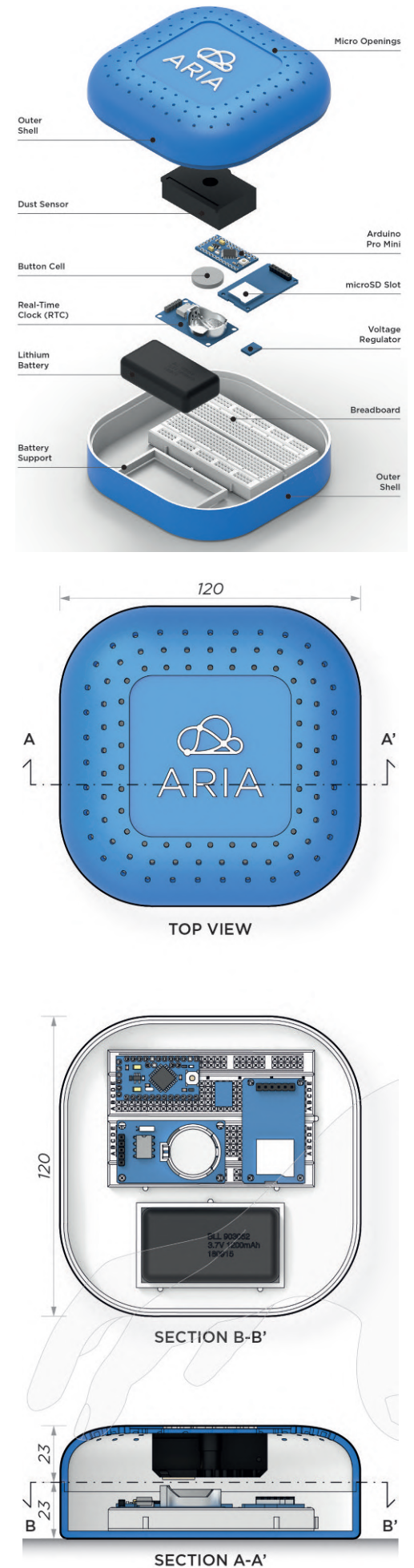


Fig. 6, 7 - The Device: Axonometric exploded view; Main dimensions and sections (quotes in mm).

Limits and socio-economic implications – The production and the distribution of a similar device certainly do not allow the immediate reduction of pollution levels. The collection, the employment and the meticulous analysis of the data – defined by Humby (2016, p. 13) as the «new oil» and engine of industry and of modern society – instead support the improvement of technical and legislative solutions. In fact, the lack of objective and qualitative data could lead to erroneous and, in some cases, even counterproductive decisions.

The project was able to demonstrate that it is possible to self-produce air pollution sensors which provide reliable data with a modest spatial density. Nevertheless, it would be appropriate to test the reliability of the sensors in the medium-long term. Collection of data in other urban areas could be valuable as well. The quality of the outer shell could also be improved, to ensure greater

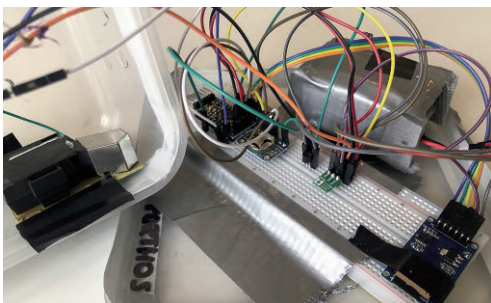


Fig. 8 - Receiving valuable feedbacks during the Mini Maker Faire.

Fig. 9 - The device presented at Demo Day.

Fig. 10 - Assembly phase of one sensor used for the test.

protection against bumps and atmospheric agents, and to provide thermal insulation. Human-computer interaction is still not immediate and deserves an enhancement. The total cost of the device may be lowered too: replacing the Arduino programmable card in favor of a pre-programmed board could be a viable solution, although to the detriment of greater versatility of use. As regards the visualization, the map would need further refinements of the user interface to optimize its use. Currently, this is possible only through a dedicated computer program.

Finally, the autonomous production of the device may be difficult for some people, impeding its rapid propagation. It is therefore of great importance to increase the visibility of the project, train citizens and raise awareness through online communication, by word of mouth, and the presence at public fairs and events. While maintaining the principles of open collaboration, it would also be possible to refine the business models and the partnerships with companies and institutions, which would take on a key role in the promotion and acquisition of an extended pool of participants-users.

Considerations, current status and future developments – We often discuss air pollution and its causes without taking into account that it indirectly depends on people's behavior and individuals' daily choices. The use of public transportation, the installation of more efficient water-heaters, but also the consumption of seasonal food and the responsible purchase of local products, would lead to a considerable reduction of emissions. The active participation in air monitoring could become the driving force for raising awareness about this issue. In this case, citizens would receive a 'bottom-up' education and would provide significant data for municipalities: the key to handling air pollution with scientific rigor and deep knowledge. The air pollution standards could be ensured and respected thanks to the availability of information to the public, the development of local strategic plans and the assessment of the pollution sources.

Research and experimentations in the field of product design, capable of positively influence the living standards for many, are undoubtedly of particular relevance today. The multidisciplinary contribution of the designers, engineers, economists and programmers who participated in this project was certainly its main element of strength. The collaboration worked well because the group was able to place fundamental supporting thinking above the specialized single knowledge, in a perspective of essential contamination and joint action. A clear level of communication and, in some situations a healthy degree of disagreement, have contributed to the mutual recognition of specific professional and personal skills. These open methods of design and research, which integrate different topics, are «preconditions for the continuous, collaborative, social mode of enquiry and action that are needed» (Thackara, 2011, p. 42), and should be adopted more frequently both in research and in practice.

The working group is currently studying an updated version of the device in order to start a new test phase. At the same time, the team is working on the creation of documentation (a manual for

self-production, and programming code that can be optimized by third parties) available to download for free on a dedicated website, which will also allow the consultation of the improved map. Furthermore, brief interviews are being conducted with the people who participated in the test, to understand how to improve the overall user experience and the factors on which to insist to ensure a broader involvement in the network. Despite the work-in-progress experimentation and its technical-economic limits, this product represents a remarkable academic and practical contribution, which aims to be a reference for later research and that has already attracted the interest of the Municipality of Turin. The goal in the near future is to achieve greater public participation. The willingness to act and a high level of public awareness are imperative and should pave the way for any other kinds of technical solution (Fig. 16).

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to all those who collaborated. The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the paragraphs 'Introduction', 'Project context and phases of the experimentation', 'The self-produced monitoring device', 'Limits and socio-economic implications', 'Considerations, current status and future developments' and the figures (unless otherwise specified) are to be attributed to M. Vrenna, the paragraphs 'The map' and 'Participatory monitoring and data analysis' to M. Crétier, and the paragraph 'Open source programming' to S. Nelson Landén.

#### NOTES

- 1) Cfr.: Wijkman, A. and Rockström, J. (2014), *Natura in bancarotta. Perché rispettare i confini del pianeta*, Edizioni Ambiente, Milan; Raworth, K. (2017), *L'economia della ciambella. Sette mosse per pensare come un economista del XXI secolo*, Edizioni Ambiente, Milan.
- 2) A vast literature on these topics is available. It is suggested to consult: Bistagnino, L. (2011), *Design sistemico. Progettare la sostenibilità produttiva e ambientale*, Slow Food, Bra; Boehnert, J. (2018), *Design, ecology, politics: Towards the Ecocene*, Bloomsbury Academic, New York; Celaschi, F. (2016), *Non industrial design. Contributi al discorso progettuale*, Luca Sossella Edizioni, Bologna; Fry, T. (2009), *Design futuring: Sustainability, ethics, and new practice*, Bloomsbury Academic, London; Vezzoli, C., Kohtala, C. and Srinivasan, A. (eds) (2014), *Product-service system design for sustainability*, Greenleaf, Sheffield.
- 3) Similar experimentations already exist. The Senseable City Lab of the Massachusetts Institute of Technology, for example, works on projects aimed at using technology in cities to collect data (sensing) and respond to citizens' needs (acting). The Lab has conducted research about the air quality in New York, Nairobi and China. More information at the website: <http://senseable.mit.edu> [Accessed 29 March 2019].
- 4) The program Innovation for Change (I4C) aims to promote the creation of startups able to identify innovative solutions to the problems of contemporary society. In the 2018 edition, 51 students competed by presenting eight ideas. More information at the website: [http://dot-torato.polito.it/it/innovation\\_for\\_change](http://dot-torato.polito.it/it/innovation_for_change) [Accessed 6 March 2019].
- 5) The project 'ARIA | Knowing is the first step for acting' was initially led by M. Crétier, F. Fontana, R. Pietrobon, J. Shan, A. Siciliani and M. Vrenna. Later, S. N. Landén provided programming support. The working group periodically met with P. Pisano, D. Malerba and T. Cocco, from the Department of Innovation of the City of Turin, as well as with the tutors of the I4C program.

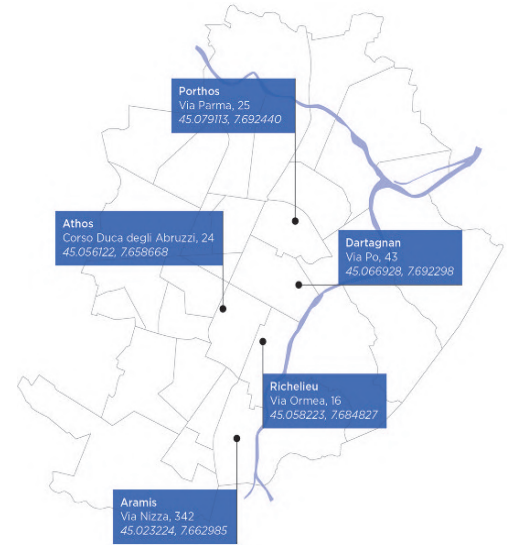
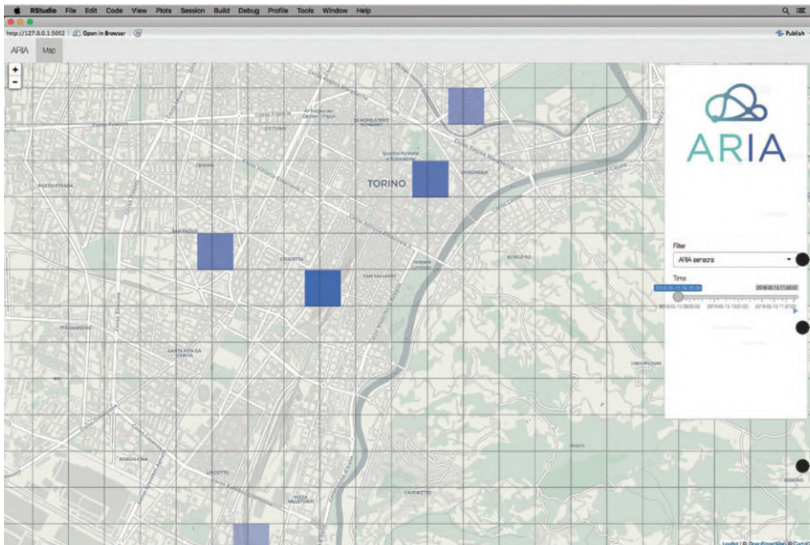


Fig. 11, 12 - The map allows the spatial-temporal consultation of the data collected by the participants, through a simple and intuitive interface; The sites in Turin where the devices were positioned during the test and data collection phase.

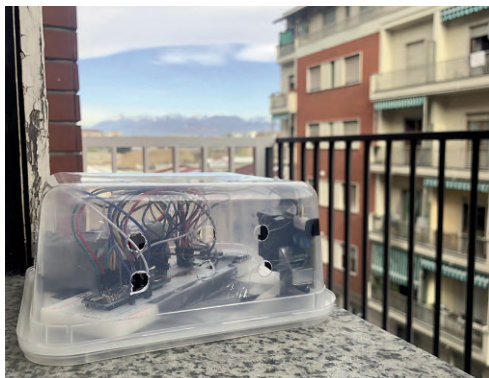


Fig. 13 - The Athos sensor on a balcony in Via Nizza.

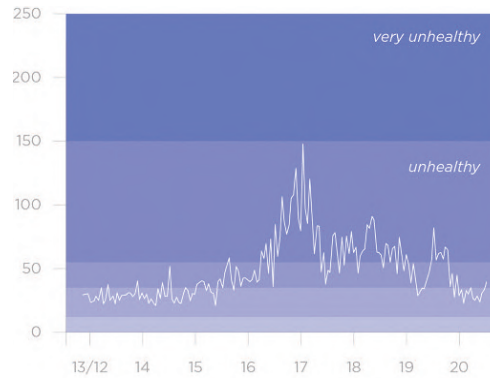


Fig. 14 - Graph of the variations of the average PM2.5 values monitored by the three sensors from 13 to 20 December. The horizontal bands highlight the different levels of health concern (good, moderate, unhealthy for sensitive groups, unhealthy and very unhealthy).

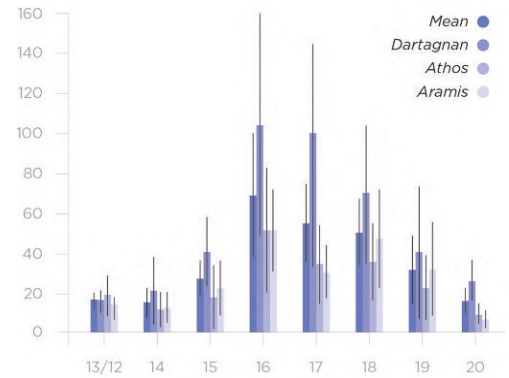


Fig. 15 - Average values and daily variance detected by each device (PM2.5).

6) Jury composed by: G. Saracco, Rector of Politecnico di Torino; C. Warakaulle, head of international relations at CERN; G. Crespi, Senior Partner & Managing Director of BCG Italy and N. Redi, Managing Partner of Venture Factory.  
 7) Cfr.: Callegaro, F. (2018), "I giovani ingegneri si sfidano con progetti che migliorano la vita", in *La Stampa*, 26 June, p. 54; *Corriere della Sera* (2018), "Innovation for Change 2018, vincono i sensori che mappano l'inquinamento dell'aria", in *Corriere della Sera*, 26 June, [Online] available at: [https://torino.corriere.it/cronaca/18\\_giugno\\_25/innovation-for-change-2018-vincono-sensori-che-mappano-inquinamento-aria-70cf5208-789e-11e8-a34f-88cbebf7b4e2.shtml](https://torino.corriere.it/cronaca/18_giugno_25/innovation-for-change-2018-vincono-sensori-che-mappano-inquinamento-aria-70cf5208-789e-11e8-a34f-88cbebf7b4e2.shtml) [Accessed 3 March 2019].  
 8) Torino Mini Maker Faire, June 2-3, 2018. [Online] Available at: <https://torino.makerfaire.com> [Accessed 13 March 2019].  
 9) Shinyei model PPD42, PM2.5 detector. Monitoring of other pollutants was excluded for this test.  
 10) The sizes of the second prototype are cm 18x18x9.  
 11) For more information on R, visit the website: <https://www.r-project.org> [Accessed 2nd March 2019].  
 12) The local office of ARPA (Regional Agency for Environmental Protection) operates on the territory of the Municipality, that is 130.17 km<sup>2</sup>. Measurements are published daily.  
 13) Visit the websites: <https://git-scm.com> and <https://www.openhub.net/repositories/compare> [Accessed March 2019].

14) More information on the website: <https://bitbucket.org/product> [Accessed 18 March 2019].  
 15) Arduino open source programming software is available for download at <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> [Accessed 6 March 2019].  
 16) Visit the websites: <https://www.arduinolibraries.info/libraries/low-power> and <https://www.arduinolibraries.info/libraries/rt-club> [Accessed 8 March 2019].  
 17) Alessandro Mecconi, data scientist.  
 18) Cfr.: ANSA (2018), *Peggiora aria Torino, smog supera limiti*. [Online] Available at: [http://www.ansa.it/pie/monte/notizie/2018/12/17/peggiore-aria-torino-smog-supera-limiti\\_fc5555e2-b35a-450e-883e-d306cf99123d.html](http://www.ansa.it/pie/monte/notizie/2018/12/17/peggiore-aria-torino-smog-supera-limiti_fc5555e2-b35a-450e-883e-d306cf99123d.html) [Accessed 28 January 2019].

REFERENCES

Boisseau, É., Omhover, J. and Bouchard, C. (2018), "Open-design: A state of the art review", in *Design Science*, vol. 4, pp. 1-44.  
 Bonvoisin, J. and Boujut, J. (2015), "Open design platforms for open source product development: current state and requirements", in Weber, C., Husung, S., Cascini, G., Cantamessa, M., Marjanovic, D. and Montegna, F. (eds), *DS 80-8 Proceedings of International Conference on Engineering Design (ICED)*, vol. 8, Innovation and Creativity, Milano, pp. 1-10.  
 Carullo, A., Corbellini, S. and Grassini, S. (2007), "A remotely controlled calibrator for chemical pollutant meas-

uring-units", in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 56, issue 4, pp. 1212-1218.  
 EEA – European Environment Agency (2018), *Air quality in Europe. 2018 Report*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.  
 Franceschini, F., Galetto, M. and Maisano, D. (2005), "A short survey on air quality indicators: properties, use, and (mis)use", in *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 16, pp. 490-504.  
 Hasenfratz, D., Saukh, O., Sturzenegger, S. and Thiele, L. (2012), "Participatory air pollution monitoring using smartphones", in *Mobile Sensing*, vol. 1, pp. 1-5.  
 Howard, T. J., Achiche, S., Özkil, A. and McAlloone, T. C. (2012), "Open design and crowdsourcing: maturity, methodology and business models", in Marjanovic, D., Storga, M., Pavkovic, N. and Bojcevic, N. (eds), *Proceedings of DESIGN 2012, the 12th International Design Conference*, vol. 1, Dubrovnik, pp. 181-190.  
 Humby, C. (2016), "Data is the new oil", in Wandisco (ed.), *Think big: Britain's data opportunity*, Wandisco, Sheffield.  
 Keivani, R. (2010), "A review of the main challenges to urban sustainability", in *International Journal of Urban Sustainable Development*, vol. 1, issue 1-2, pp. 5-16.  
 Levine, S. S. and Prietula, M. J. (2014), "Open collaboration for innovation: Principles and performance", in *Organization Science*, vol. 25, issue 5, pp. 1414-1433.  
 Lewis, A. and Edwards, P. (2016), "Validate personal air-pollution sensors", in *Nature*, vol. 535, pp. 29-31.



Fig. 16 - Clear sky during the sunset in Stockholm (Sweden), one of the cities with the cleanest air in the world. The Municipality is promoting cycling and other sustainable practices and is offering incentives for cleaner vehicles. These are virtuous examples that do not involve technical solutions and should be of reference for other cities (credit: R. Balasko, 2017).

Raasch, C., Herstatt, C. and Balka, K. (2009), "On the open design of tangible goods", in *R&D Management*, vol. 39, issue 4, pp. 382-393.

Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S. W., Shelow, D., Hindin, D. A., Kilaru, V. J. and Preuss, P. W. (2013), "The changing paradigm of air pollution monitoring", in *Environmental Science and Technology*, vol. 47, pp. 11369-11377.

Thackara, J. (2011), "Into the open", in van Abel, B., Evers, L., Troxler, P. and Klaassen, R. (eds), *Open design now: Why design cannot remain exclusive*, BIS Publishers, Amsterdam, pp. 42-45.

Tufte, E. R. (2001), *The visual display of quantitative information*, Graphic Press, Cheshire.

United Nations – Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018), *World urbanization*

*prospects. The 2018 revision*. [Online] Available at: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf> [Accessed 7 February 2019].

World Health Organization (2016), *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*, World Health Organization, Geneva.

<sup>a</sup> MAURIZIO VRENNA is a PhD student in Management, Production, and Design at the Department of Architecture and Design of Politecnico di Torino (Italy). He has been involved in the development of sustainable products and services; his current research revolves on the topics of air pollution and microalgae production in urban areas. Mob. +39 346/05.67.133. E-mail: maurizio.vrenna@polito.it

<sup>b</sup> MATTHIEU CRÉTIER is an MBA graduate and MSc in Vehicle Engineering. While in Sweden for almost 4 years he has developed electronics for sustainable and autonomous transportation. Currently based in Munich, he is responsible for digitalizing the conception and production of prosthetics and orthotics in a MedTech startup. Mob. +39 339/44.92.757. E-mail: matthieu.cretier@it.cdi.eu

<sup>c</sup> SIMON NELSON LANDÉN, MSc in Mechatronics from KTH Royal Institute of Technology, Stockholm (Sweden). He has several years of experience as a software developer within embedded systems. He is currently working in the field of electrification. Mob. +46 (0)76/866.97.34. E-mail: simonnl@kth.se

Research & Experimentation

design

## MERLINO REALTÀ VIRTUALE PER LA STIMOLAZIONE DI PROCESSI NEUROCOGNITIVI

### MERLINO VIRTUAL REALITY FOR STIMULATION OF NEURO-COGNITIVE PROCESSES

Mario Bisson<sup>a</sup>, Shanti Andreana Alberti di Catenajo<sup>b</sup>  
Stefania Palmieri<sup>c</sup>

#### ABSTRACT

*Il paper si colloca nell'ambito degli studi sugli ambienti multisensoriali (MSEs) e, rispetto alle soluzioni presenti sul mercato, propone un prodotto-servizio integrato, pensato per mantenere i costi contenuti, in un'ottica di produzione industriale, con un alto livello di flessibilità, rivolto a utenza infantile con disabilità intellettiva e motoria. Sulla base degli studi portati avanti dal team di LudoMi, progetto premiato al concorso Polisocial Award 2017, come riconoscimento per lo sviluppo di ricerche scientifiche ad alto impatto sociale, si riporta l'esperienza di Merlino: progetto di ricerca, in corso, con il Dipartimento di Design del Politecnico di Milano, che mira a incrementare lo sviluppo delle facoltà cognitive e delle abilità motorie, favorendo l'apprendimento e lo sviluppo di capacità comunicative e relazionali.*

This research investigates studies on multi-sensory environments (MSEs) and, comparing existing solutions on the market, offers an integrated product-service, designed to contain costs, from an industrial manufacturing perspective, with a high level of flexibility, aimed at children with intellectual and motor disabilities. Based on the studies developed by by LudoMi team, a project awarded at Polisocial Award 2017, as acknowledgment on research with a high social impact relevant for the scientific community. We report the case study of Merlino: research project, in progress, with the Design Department of the Polytechnic of Milan, which aims to increase the development of cognitive faculties and motor skills, promoting learning and improvement of communication and relational skills.

#### KEYWORDS

*ambienti multisensoriali, tecnologie adattive e responsive, soluzioni a basso costo, simulazione software*

multisensory environments, adaptive and responsive technologies, low cost solutions, software simulation

La tecnologia ha assunto un ruolo di guida nel progresso in ambito medicale, sanitario e formativo, in cui nuovi strumenti digitali sono già realtà in uso, come ad esempio l'utilizzo di realtà aumentata durante l'esecuzione di interventi medici, le soluzioni di telemedicina per assistere da remoto i pazienti, l'adozione delle LIM (Lavagne Interattive Multimediali) nelle aule delle scuole o l'intelligenza artificiale per realizzare analisi predittive e nuovi strumenti robotici in grado di favorire il processo riabilitativo. Siamo solo agli inizi di una svolta epocale, nella quale il sistema sanitario è chiamato a cogliere le opportunità offerte dalla rivoluzione digitale (Baricco, 2018). La capacità dei dispositivi di raccogliere e immagazzinare informazioni, di analizzare e riellaborare i dati per la creazione di database e profilazioni in continuo aggiornamento, consultabili da remoto da parte di intelligenze umane e artificiali, rappresenta una soluzione efficiente e sostenibile in termini di costi sia ambientali che economici. Questa nuova frontiera nel settore sanitario è definita 'value-based healthcare', e rappresenta un approccio strategico totalmente nuovo al miglioramento dei sistemi sanitari, ma per funzionare i dati devono essere oggettivati da una quantificazione continua. Principalmente per questo motivo è fondamentale avvalersi di modelli informatici, come gli ambienti smart, capaci di monitorare e registrare sistematicamente i risultati (Ficocelli, 2019). Gli investimenti su questi campi di grandi multinazionali, come Philips e Alliance, confermano la tendenza globale verso l'adozione sistematica di strumentazioni che supportano la nuova frontiera dell'assistenza sanitaria, da loro definita come 'connected care' (Drobac and Gaus, 2014).

*Stato dell'arte* – Grazie alle tecnologie attuali si può trasformare una normale stanza da gioco in una Ludoteca Multisensoriale Smart Interattiva (LMSI) o in un Ambiente Multisensoriale (MSEs), detto anche spazio 'smart' o 'magico': un ambiente di gioco dove i bimbi sono esposti a una grande varietà di stimoli, che attraverso il divertimento e il rilassamento mira a intensificare le sensazioni e le emozioni (Slevin and McClelland, 1999). La terapia multisensoriale associata agli ambienti MSR si è sviluppata nel corso di diversi anni a partire dagli anni '80. Numerose pubblicazioni ne studiano l'efficacia (Slevin and McClelland, 1999) e ne descrivono i dettagli (Hulsegge and

Verheul, 1987; Haggard and Hutchinson, 1991; Kewin, 1994). Una definizione oggettiva di cosa sia la terapia multisensoriale viene definita limitante da Verheul e Hulsegge (1987, p. 11) che affermano: «Si potrebbero dare molte descrizioni di cosa sia esattamente Snoezelen, ma attraverso la parola e l'immagine è possibile solo in parte dare una rappresentazione esatta di ciò che accade. In definitiva, solo l'esperienza personale può fornire un quadro completo». Volendo dare anche un punto di vista tecnico delle MSEs, lo scienziato Mark Weiser (2004, pp. 94-104) definisce questi spazi come «un mondo fisico che è profondamente e invisibilmente interconnesso con sensori, attuatori, display ed elementi computazionali perfettamente integrati». Oltre alla relazione tra spazio e tecnologia, congiunti allo scopo di apportare miglioramenti nella vita quotidiana, le terapie multisensoriali si basano su ricerche teoriche ed empiriche in psicologia e neuro-scienza, allo scopo di identificare la relazione tra le attività fisiche e i processi cognitivi (Dourish, 2001).

A livello mondiale, gli ambienti multi-sensoriali (MSEs), oggi considerati di riferimento, sono quelli Snoezelen, originariamente nati in Olanda alla fine degli anni '80 nell'Istituto Hartenberg (Slevin and McClelland, 1999). La terapia multisensoriale Snoezelen mira a fornire stimoli sensoriali in modo controllato, per il relax e il tempo libero per persone con disabilità sensoriali e intellettive. È un ambiente progettato appositamente, dotato di luci soffuse di vari colori, display, illuminazione a fibre ottiche, proiezioni a parete, oggetti tattili, tubi di bolle, diffusori di aromi, impianto audio e un arredamento adatto al rilassamento, come cuscini e materassi ad acqua (Slevin and McClelland, 1999). Le stanze Snoezelen possono variare di scala, forma e tecnologia, e variano molto le configurazioni rispetto ai dispositivi medici e ludici presenti all'interno (Kaplan et alii, 2006). Un caso studio interessante, evoluzione della tecnologia Snoezelen, è il caso MEDATE (Multisensory Environment Design for an Interface between Autistic and Typical Expressiveness). Un ambiente interattivo che genera stimoli in tempo reale (visivi, uditivi e vibro-tattili) in modo tale che i bambini con autismo a basso funzionamento, incapaci di comunicare verbalmente, possano eventualmente esprimersi e 'divertirsi', consentendo la creazione di un archivio dati in cloud a disposizione dei terapeuti e insegnanti per la crea-





Fig. 1, 2 - Ludomi prototype realised in Cornaredo Municipality (MI).

zione di un profilo personale, che poi diventerà archivio terapeutico dal quale si potranno riconoscere le strategie più efficaci.

I bambini con autismo spesso cadono in atteggiamenti ripetitivi come movimenti a dondolo o sbattendo un braccio o una mano, quando si sentono sopraffatti dagli stimoli circostanti. Apparentemente questi movimenti stereotipati li aiutano a isolarsi dall'ambiente e a sentirsi a proprio agio e rilassati. Possono anche essere molto ripetitivi nelle loro azioni quando sono ossessionati da qualcosa che piace loro fare e quindi lo ripetono in maniera sovraeccitata e compulsiva. Entrambi gli atteggiamenti sono considerati indesiderabili dagli psicologi, perché isolano il bambino dal mondo. Per questo motivo è stato sviluppato un software che stimola comportamenti creativi, in modo tale che se il bambino compie comportamenti non ripetitivi, l'ambiente aumenta la sua complessità per rendere l'interazione più ricca (Parés et alii, 2004).

In Italia, molti Istituti stanno investendo in ricerca e sviluppo nell'applicazione di tecnologie immersive e di realtà aumentata a scopi terapeutici, come ad esempio l'Istituto Auxologico di Milano, nel Laboratorio di Tecnologia Applicata alle Neuroscienze, del Prof. Giuseppe Riva che, dopo 20 anni di studio sulla Realtà Virtuale, vanta il più cospicuo numero di pubblicazioni al mondo sull'argomento, e quasi un milione di euro di finanziamento. Il progetto realizzato prende il nome di CA-VE (Computer Assisted Virtual Environment), che consiste nella creazione di ambienti adibiti all'attuazione di programmi virtuali a sostegno dell'intervento terapeutico. Grazie alla prototipazione degli ambienti virtuali immersivi, si è scelto di utilizzare una tecnologia non invasiva, ovvero non un visore oscurante, ma degli occhiali 3D attivi, che consentono di vedere sia la realtà aumentata che se stessi (Cipresso et alii, 2013). Sono stati ottenuti ottimi risultati e ad oggi l'Istituto Auxologico è l'unica Struttura a essere utilizzata per la riabilitazione motoria e cognitiva anche per pazienti anziani.

Le altre iniziative in corso, invece, sono rivolte a un pubblico con bisogni speciali (SEN), definiti dalla legislazione inglese nel The Children and Families Act 2014 come 'bambini o persone giovani con speciali bisogni', e in particolare quelli con disabilità motorie e disabilità intellettive

(NDD). NDD è un termine generico che comprende un gruppo di disturbi (ad es. Disabilità Intellettiva, ADHD – Disturbo da Deficit di Attenzione e Iperattività e ASD – Disturbo dello Spettro Autistico, Sindrome di Down, Sindrome di Asperger) che insorgono durante il periodo di sviluppo e sono associati a deficit nelle sfere cognitive, sociali e motorie, con conseguenti menomazioni gravi nel comportamento adattivo e nelle abilità di base della vita.

*Il progetto LudoMi* – Il caso studio di riferimento è LudoMi, progetto di una LSMI per i bambini con disabilità della periferia milanese, come soluzione tecnologica innovativa che può essere alla base di nuovi servizi educativi (Cosentino et alii, 2019; Figg. 1-3). Merlinò, in quanto progetto integrato a LudoMi, nasce come estensione trasportabile. Merlinò ha creato una dimensione fisica ai contenuti di LudoMi, dando attenzione al mantenimento dei costi contenuti, utilizzando lo stesso tipo di tecnologia, creando una struttura trasportabile, e ha trovato nel corso della progettazione implementazioni di hardware rispetto al progetto di partenza. Il valore e l'efficacia del progetto che il team LudoMi ha realizzato sono stati dimostrati dalle ricerche compiute e descritte all'interno di una pubblicazione scientifica dal titolo 'Magic Room: A Smart Space for Children with Neurodevelopmental Disorder', pubblicata da Franca Garzotto e Mirko Gelsomini (2017). Sono stati condotti studi esplorativi con la collaborazione di otto assistenti e diciannove bambini con gravi disabilità nello spettro NDD, che hanno utilizzato la stanza intelligente per quattro mesi con risultati incoraggianti (Fig. 4). Il documento offre anche approfondimenti su come questi gruppi 'target' potrebbero comportarsi nella Stanza Magica che sono stati utili a definire il design di futuri spazi intelligenti, dimostrando l'efficacia della metodologia applicata.

La logica della Stanza Magica è basata sulle teorie della cognizione simulativa, ovvero l'approccio allo studio della cognizione basato sulla teoria della mente incarnata (Wilson, 2002) e dell'integrazione sensoriale (Ringland et alii, 2014). Il primo enfatizza il ruolo formativo dell'incarnazione (il modo in cui le capacità senso-motorie di un organismo permettono di interagire con successo

con l'ambiente fisico) nello sviluppo delle abilità cognitive. Le esperienze corporee promuovono i processi cognitivi legati alla padronanza delle contingenze senso-motorie e stimolano le abilità cognitive di livello superiore come l'immaginario mentale, la memoria associativa e implicita, il ragionamento e la risoluzione dei problemi. Le teorie d'integrazione sensoriale affermano che l'apprendimento dipende dalla capacità di prendere, integrare ed elaborare più informazioni sensoriali al fine di pianificare e organizzare il comportamento. Quando questo processo presenta delle mancanze o rallentamenti, nei soggetti con NDD si crea una rappresentazione mentale anormale del mondo esterno, che a sua volta influenza la capacità di comportamenti appropriati in tutti gli aspetti della vita. Gli interventi specifici per le persone con NDD mirano a stimolare i meccanismi percettivi di base e a promuovere l'apprendimento percettivo (Fahle and Poggio, 2002).

*Ambito di ricerca* – A fronte del quadro delineato, con riferimenti disciplinari in continuo sviluppo proprio per l'evoluzione degli scenari tecnologici, che in maniera sempre più fluida intersecano gli ambiti della medicina e della formazione/educazione (Fig. 5), è necessario porsi alcune domande cui corrispondono altrettante sfide di ricerca. È possibile costruire una soluzione comparabile a quelle presenti sul mercato, in quanto alle funzioni svolte, nell'interattività e nella completezza degli stimoli sensoriali, mantenendo il costo accessibile? È possibile rendere accessibile tecnologie avanzate e specializzate a un pubblico più vasto possibile?

Il paper indaga queste domande e vuole dare risposta attraverso il progetto di Merlinò, partendo dalla costruzione dello scenario dello stato dell'arte, e ponendo poi le basi per la definizione di un modello che, attraverso linee guida e una metodologia specifica flessibile, diventi un progetto replicabile su larga scala per utenza e territorio. Merlinò è una stanza multisensoriale mobile che utilizza la dimensione ludica a fini pedagogici per bambini con disabilità intellettiva, progettata in un'ottica di produzione industriale. È uno strumento montabile, mobile e configurabile da utenti senza specifiche competenze tecniche, con il fine di rendere un oggetto educativo e di prevenzione a di-



Fig. 3, 4 - Ludomi prototype and Carrying out Ludomi activity, realised in Cornaredo Municipality (MI).

sposizione del sistema scolastico e socio sanitario.

**La metodologia** – La fase di progettazione è stata sviluppata seguendo un approccio ibrido formato dal pensiero progettuale e da metodi scientifici. Uno degli approcci di Design Thinking più utilizzati che è stato impiegato è il ‘pensiero divergente’, come modo per garantire che molte soluzioni possibili vengano esplorate in prima istanza, cui segue poi il ‘pensiero convergente’ come prassi metodologica per selezionare e filtrarle fino alla soluzione finale, più mirata e supportata da un’analisi adeguata (Beckman and Barry, 2007). In quest’ordine, il metodo progettuale si è basato sulle ricerche condotte dal team multidisciplinare di Ludomi, dopodiché sono stati esaminati i casi studio riportati nella parte di contestualizzazione, per la comprensione dello stato dell’arte, analizzando punti di forza e debolezza.

Dalla creazione e dall’analisi di uno scenario con espresse le potenzialità e i limiti delle soluzioni esistenti, sono stati stilati gli obiettivi e i requisiti che la soluzione innovativa deve avere, ipotizzando poi tre soluzioni principali. Le soluzioni ipotizzate sono state messe a confronto, verificando la fattibilità attraverso la richiesta di preventivi che hanno permesso una chiara valutazione delle idee e scelta della soluzione ottimale (Fig. 6). Per dare una visione completa rispetto alla metodologia applicata alla ricerca e al progetto proposto, imprescindibile è il ruolo del design e in particolare del designer, in quanto progettista e mediatore della complessità progettuale, spesso nel ruolo di guida alla progettazione (Beckman and Barry, 2007; Howard and Melles, 2011).

**Merlino: requisiti e obiettivi** – I requisiti e i vincoli del progetto, letti proprio come opportunità di progetto, sono stati definiti rispetto a sei tematiche emerse dall’analisi dei casi studio:

- Ottimizzazione dei costi: la componentistica deve essere reperibile sul mercato senza necessità di customizzazione dei prodotti, ma derivante dall’assemblaggio di componenti a costo contenuto e accessibile;
- Comodità d’uso e di gestione: l’installazione deve essere semplice e veloce, integrando il maggior numero di componenti nei moduli premontati; il

controllo dell’intera stanza deve avvenire tramite un’unica interfaccia di semplice utilizzo per operatori non specializzati;

- Trasportabilità: la struttura deve essere trasportabile con mezzi di trasporto non speciali, come ad esempio un furgone di medie dimensioni, gestibile da una o due persone negli spostamenti all’interno degli edifici e con facile montaggio;
- Scalabilità del progetto: il progetto deve essere riproducibile in diversi luoghi e contesti, quali scuole, ospedali, spazi pubblici, centri civici, associazioni, ecc.;
- Flessibilità nel tempo: la stanza deve essere predisposta per future implementazioni ed essere in grado di adattarsi agli aggiornamenti tecnologici e alle esigenze nelle diverse applicazioni;
- Attrattività: il progetto s’interfaccia con i bambini, che devono ricevere una piacevole sensazione nei confronti dell’ambiente, percependolo intrigante; deve quindi comunicare un aspetto giocoso e divertente che diventi oggetto del desiderio del bambino, celando ai più il lato tecnico/ tecnologico ed esaltando il suo lato magico e misterioso.

I requisiti definiti dall’analisi dei casi studio, riportati nella Fig. 7, sono stati sviluppati come elementi progettuali in un’ottica olistica di progettazione, aumentando la resilienza del prodotto stesso (Galliers and Currie, 1999).

**Merlino: sviluppo prodotto** – L’ottimizzazione dei costi è stata assicurata grazie all’uso di componenti già presenti sul mercato, ovvero elementi standard facilmente reperibili, e grazie alla progettazione della struttura divisa in due parti che rende estremamente flessibile nel tempo l’architettura. La parte superiore, sede di tutte le strumentazioni tecnologiche, prevede la sostituzione e l’aggiornamento delle attrezzature nel tempo. La parte inferiore consente la chiusura della struttura, in modo tale da permettere la movimentazione dei singoli moduli senza dover smontare interamente l’impianto, evitando difficili e lunghe regolazioni. Un altro aspetto considerato per l’ottimizzazione dei costi è la necessità di personale specializzato durante l’utilizzo della stanza magica: per questo motivo Merlino è stato pensato per essere controllato tramite un dispositivo tablet, che consente a insegnanti e terapeuti di utilizzare in autonomia la

struttura. Per soddisfare il requisito di comodità d’uso e di gestione è stata semplificata l’installazione e il montaggio della struttura, grazie all’impiego di snodi con cerniere autobloccanti e metodi di aggancio a leva tra i moduli. Per motivi di sicurezza e praticità, i cablaggi risiedono nella parte alta della struttura e in apposite canaline interne ai pannelli al di fuori della portata dei bambini.

Prima scelta progettuale è stata quella di realizzare una struttura modulare, che rende per sua natura il progetto scalabile e ne semplifica il trasporto. La necessità di avere una struttura trasportabile ha avuto un impatto su tutti gli aspetti del progetto, in particolare ogni modulo è stato dimensionato per essere sollevato, spostato e maneggiato da due persone all’interno di edifici. Considerando gli standard di sicurezza per la salute degli operatori sanciti dalle normative europee, le quali impongono un peso massimo di 25 kg per persona, ogni modulo pesa non oltre i 50 kg (DLgs 626/94 – Movimentazione manuale dei carichi). Per il contenimento del peso è stato compiuto un preciso studio dei materiali, in modo tale da conferire rigidità strutturale ma leggerezza complessiva. In ogni parete, infatti, è stata mantenuta solo la cornice esterna in legno massello e alleggerito l’interno con un riempimento alveolare in modo da formare un pannello tamburato.

Le dimensioni totali della struttura sono il risultato di considerazioni progettuali e di input funzionali: altezza standard degli spazi interni (l’altezza interna utile, misurata da pavimento a soffitto, non può essere inferiore a 2,7 metri); areazione di uno spazio raccolto, in grado di creare un ambiente confortevole e non dispersivo agli occhi di un bambino, ma allo stesso tempo vivibile anche per un adulto. Queste considerazioni hanno portato alla definizione delle dimensioni esterne nella sua configurazione aperta e assemblata di 3x3 metri di perimetro base e di 2,7 metri in altezza interna. Per quanto riguarda la trasportabilità invece si è lavorato sulle dimensioni del singolo modulo, affinché potesse essere trasportato su automezzi facilmente reperibili, come furgoni di medie dimensioni ed essere trasferito, a mano da due persone, all’interno degli edifici, tenendo pertanto conto di: dimensione standard delle porte; dimensione standard delle rampe di

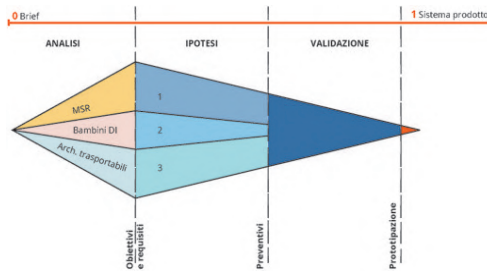
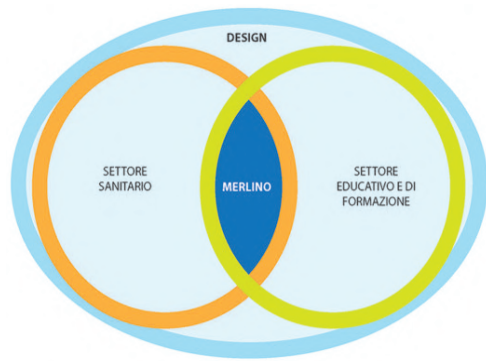


Fig. 5 - Field of expertise of Merlino project.

Fig. 6 - Flow diagram of the methodology applied.

scale; esempio di furgoni di medie dimensioni.

Per creare un'immagine piacevole e intrigante che suggerisse un aspetto magico agli occhi di un bambino, in grado di attivare empatia nell'interazione, si è lavorato sull'aspetto esterno della stanza, essendo invece vincolati nella forma interna. Infatti, era necessario mantenere tre pareti perpendicolari a terra per una semplicità di regolazione dei proiettori. Per rendere la forma esterna più accattivante e interessante si è agito a livello grafico e cromatico con l'utilizzo di pattern, mentre per alleggerire ed eliminare la percezione della cubicità si è pensato di rivestire la struttura con una tenda colorata, elemento caratterizzante del prodotto e del personaggio che intende rappresentare, Merlino appunto. La tenda è pertanto un elemento progettuale e simbolico: sia funzionale sia decorativo, sia d'immagine sia di isolamento, una pelle esterna che, oltre a conferire una forma della quale si perdonano i confini, nasconde la parte strutturale e tecnologica, consentendo l'utilizzo di materiali più grezzi, che quindi non richiedono finiture superficiali estetiche costose, oltre alla possibilità da parte degli operatori di entrare ed uscire dalla struttura rapidamente.

Gli attori coinvolti a vario titolo hanno relazioni più o meno dirette con la stanza che, considerando il suo intero ciclo di vita, si estende dal personale che si occupa della realizzazione del prodotto, agli operatori che offrono il servizio, o che gestiscono il pacchetto, in funzione delle destinazioni. Si vedono coinvolte, quindi, figure come medici, educatori, insegnanti, ragazzi con e senza disabilità, le loro famiglie, l'apparato amministrativo delle strutture ospitanti e il personale per la messa in opera del progetto (Fig. 8).

**Implicazioni socio-economiche** – Anche gli Enti pubblici, quali Ospedali e Scuole (Fig. 9) oppure organizzazioni private come le associazioni, stanno pensando a nuove soluzioni, in grado di dare risposte alternative, attraverso l'adozione di strumentazione tecnologicamente avanzata, a problemi che fino ad oggi sono stati affrontati senza una metodologia specifica, ma di caso in caso. Queste possibilità rimangono limitate a una pianificazione dei servizi pubblici che ancora fatica a garantire l'accessibilità a tutta la popolazione, considerando le differenti possibilità economiche e la distribuzione delle strutture attrezzate sul territorio.

La Commissione sui Determinanti Sociali della Salute dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), nel suo Report conclusivo dal titolo *Closing the Gap in a Generation: Health Equity through Action on the Social Determinants of Health* (2008), ha stimato che oltre la metà della popola-

zione mondiale ha seri problemi di accesso ai servizi sanitari e rischia di andare incontro a spese catastrofiche a causa di una malattia. Ciò avviene principalmente quando gran parte della popolazione ha un reddito basso, vive in zone periferiche e i sistemi sanitari pubblici sono distanti, e solo quelli più centrali sono ben equipaggiati, costringendo le persone a lunghi viaggi che, data la frequenza, sono anche molto costosi.

La fruizione di servizi specialistici rivela alti livelli di disuguaglianza a sfavore dei gruppi più disagiati, così come le prestazioni legate ai ricoveri o al mancato accesso a procedure e strutture innovative (Soletterre, 2018). Uno degli obiettivi del progetto Merlino è quello di dare la possibilità a chi non abita in grandi centri abitati, ovvero in prossimità di strutture attrezzate, di poter usufruire ugualmente di servizi medici all'avanguardia, senza la necessità di compiere lunghi spostamenti quotidiani. La realizzazione di una struttura trasportabile in grado di ospitare un sistema multisensoriale, dove i pazienti possono esplorare, sperimentare e socializzare, in condizioni controllate, assieme a familiari e assistenti, eviterebbe a molte famiglie di affrontare continui viaggi dispendiosi, sia a livello economico che di tempo. Senza contare il valore della raccolta dati, che rappresenta una delle grandi sfide della nostra epoca: poter disporre di dati mirati, raccolti durante l'interazione ambiente/uomo, variabili sulla base dei parametri esterni, rappresenta sicuramente un grande patrimonio per chi deve poi definire le terapie e gli interventi necessari sul singolo paziente.

**Conclusioni** – La definizione di un metodo progettuale e di un prodotto, con i requisiti di cui sopra, rappresenta per lo stato dell'arte sicuramente un miglioramento significativo sia in termini scientifici sia in termini di disseminazione dei risultati, e quindi di replicabilità. La flessibilità che caratterizza Merlino, proprio nel suo concept originario, consentirà oltre alla diffusione quasi polverizzata sul territorio, anche la possibilità di mantenere aggiornati software e hardware, presupposto necessario calcolando la velocità di evoluzione degli stessi. E ciò significa adattabilità a contesti diversi e allargamento a fasce di utenza nuove. Ma non solo. Anche da un punto di vista commerciale, per la collocazione sul mercato, Merlino è sicuramente un progetto interessante, dal momento che permette di sfruttare un investimento unico per l'utilizzo in più sedi, dando la possibilità di essere usato anche in luoghi che, normalmente, non avrebbero la possibilità di essere dotati di tecnologie così avanzate. Nella sua impostazione strutturale il sistema soddisfa pienamente i requisiti di trasportabilità,

montaggio, avviamento e semplicità nell'utilizzo, attraverso la sua modularità e l'integrazione dei componenti all'interno della struttura premontata.

Merlino ha una sua precisa estetica comunicativa, la sua immagine rispecchia, con le sue caratteristiche di gioco attraente e misterioso, l'aspetto del personaggio che rappresenta – il mago Merlino – attivando una serie di reazioni positive nella propensione dei bambini e degli adulti a utilizzarlo e a considerarlo un'attrezzatura educativa e non esclusivamente medica. Particolare attenzione è stata rivolta a rendere il perimetro strutturale libero e accattivante, nascondendo la tecnologia e i cablaggi all'interno di spazi predeterminati. Merlino pone le basi per la realizzazione di una nuova categoria di prodotti che possono essere utilizzati direttamente nei luoghi dove c'è una necessità specifica, dislocando sul territorio servizi che siamo abituati a immaginare solo in grandi strutture centralizzate. Inoltre, il progetto, per la sua natura modulare, permette di mantenere i costi contenuti e lascia aperte le possibilità d'implementazione dell'hardware e sviluppo di applicativi software per nuovi tipi d'interazione. Si definisce quindi un modello che, dopo la fase di sperimentazione sarà replicabile in altri ambiti che spaziano dalla formazione, all'intrattenimento, al marketing, al mondo della ricerca e al settore medico.

Ipotizzando una diffusione su larga scala di questo sistema, Merlino potrebbe diventare un kit in dotazione alle scuole e delle strutture socio-sanitarie, con molteplici funzioni tra cui quella di modificare, attraverso la realtà virtuale, l'approccio alle attività didattiche e pratiche terapeutiche. L'educazione oggi mira, attraverso l'insegnamento tradizionale, allo sviluppo delle facoltà cognitive e all'apprendimento nozionistico, ma non è ancora stata definita una strategia efficace per il coinvolgimento della sfera emozionale del bambino. In conclusione attraverso l'uso delle MSR, si propone lo sviluppo di un modello didattico e di supporto al settore sanitario mirato alla stimolazione intellettuale, creando scenari immersivi, in grado di suscitare forti reazioni emotive, per permettere all'utente di fare esperienza, in modo controllato, di dinamiche sociali e di interazione con gli altri e il mondo esterno.

**ENGLISH**

*Technology upraised to a leading role in advancement of the medical, health and training fields, where new digital tools are already in use, such as the use of reality increases during the execution of medical interventions, telemedicine solutions to assist patients remotely, the adoption of interactive whiteboards (LIM) in school classrooms or artificial intelligence to perform predictive analysis and new robotic tools that can facilitate the rehabilitation process. We are only at the beginning of an epoch-making turning point, in which the healthcare system is called upon to seize the opportunities offered by the digital revolution (Baricco, 2018). The ability of devices to collect and store information, to evaluate and re-elaborate data for the establishment of databases and profiles in continuous update, which can be consulted remotely by human and artificial intelligence, is an efficient and sustainable solution in terms of both environmental and economic costs. This new frontier in healthcare sector is defined as 'value-based healthcare', and represents a totally new*

strategic approach to improving healthcare systems, but in order to function, data must be objectified by continuous quantification. Mainly for this reason it is essential to use computer models, such as smart environments, capable of systematically monitoring and recording the results (Ficocelli, 2019). Investments in these fields by huge multinationals, such as Philips and Alliance, confirm the global trend towards the systematic adoption of instruments that support the new frontier of healthcare, defined by them as 'connected care' (Drobac and Gaus, 2014).

State of the art – Thanks to current technologies, a normal gaming room can be transformed into a Smart Interactive Multisensory Playroom (LMSI) or a Multisensory Environment (MSEs), also known as a 'smart' or 'magical' space: a gaming environment where children are exposed to a wide variety of stimuli, which through fun and relaxation aims to intensify feelings and emotions (Slevin and McClelland, 1999). The multisensory therapy associated with MSRs environments has developed over several years since the 1980s. Numerous publications study its effectiveness (Slevin and McClelland, 1999) and describe its details (Hulsegge and Verheul, 1987; Haggard and Hutchinson, 1991; Kewin, 1994). An objective definition of what multisensory therapy is, is defined as limiting by Verheul and Hulsegge (1987, p. 11) who state: «One could give many descriptions of what exactly Snoezelen is, but through word and image it is only possible in part to give an exact representation of what is happening». Ultimately, only personal experience can provide a complete picture. From a technical point of view of MSEs, scientist Mark Weiser (2004, pp. 94-104) defines these spaces as «a physical world that is deeply and invisibly interconnected with perfectly integrated sensors, actuators, displays and computational elements». In addition to the relationship between space and technology, combined with the aim of making improvements in everyday life, multisensory therapies are based on theoretical and empirical research in psychology and neuroscience, in order to identify the relationship between physical activity and cognitive processes (Dourish, 2001).

Worldwide, the multi-sensory environments (MSEs), today considered as reference, are those of Snoezelen, originally born in the Netherlands in the late 80s at the Hartenberg Institute (Slevin and McClelland, 1999). The multisensory therapy Snoezelen aims to provide sensory stimuli in a controlled way, for relaxation and leisure for people with sensory and intellectual disabilities. It is a specially designed environment, equipped with soft lights of various colours, displays, fiber-optic lighting, wall projections, tactile objects, bubble tubes, aroma diffusers, sound system and furniture suitable for relaxation, such as water cushions and mattresses (Slevin and McClelland, 1999). Snoezelen rooms may vary in scale, shape and technology, and their configurations differ greatly compared to the medical and playful devices inside (Kaplan et alii, 2006). An interesting case study, evolution of Snoezelen technology, is the case *MEDIATE* (Multisensory Environment Design for an Interface between Autistic and Typical Expressiveness). An interactive environment that generates real-time stimuli (visual, auditory and vibrotactile) so that children with low-functioning autism, unable to

communicate verbally, can eventually express themselves and 'have fun', allowing the creation of a data archive in the cloud available to therapists and teachers for the creation of a personal profile, which will then become a therapeutic archive from which you can recognize the most effective strategies.

Children with autism often fall into repetitive attitudes such as rocking movements or slamming an arm or hand when they feel overwhelmed by the surrounding stimuli. Apparently, these stereotypical movements help them to isolate themselves from the environment and to feel comfortable and relaxed. They can also be very repetitive in their actions when they are obsessed with something they are keen on and then repeat it in an over-excited and compulsive way. Both attitudes are considered undesirable by psychologists, because they isolate the child from the world. For this reason, software has been developed to stimulate creative attitudes, so that if the child performs non-repetitive actions, the environment increases its complexity to make the interaction more complete (Parés et alii, 2004).

In Italy, many Institutes are investing in research and development in the application of immersive technologies and augmented reality for therapeutic purposes, such as the Auxological Institute of Milan, in the Laboratory of Technology Applied to Neuroscience, by Prof. Giuseppe Riva who, after 20 years of study on Virtual Reality, boasts the largest number of publications in the world on the subject, and almost a million euro of funding. The project is called *CAVE* (Computer Assisted Virtual Environment), which consists in the creation of environments for the implementation of virtual programs to support therapeutic intervention. Thanks to the prototyping of the immersive virtual environments, it was decided to use a non-invasive technology, i.e. not a darkening viewer, but active 3D glasses, which allow to see both augmented reality and oneself (Cipresso et alii, 2013). Excellent results have been obtained and to date the Auxological Institute is the only facility to be used for motor and cognitive rehabilitation, even for elderly patients.

Other initiatives underway, however, are aimed at an audience with special needs (SEN), defined by English legislation in *The Children and Families Act 2014* as 'children or young people with special needs', and in particular those with motor disabilities and intellectual disabilities (NDD). NDD is a generic term that includes a group of disorders (e.g. Intellectual Disability, ADHD – Attention Deficit Hyperactivity Disorder and ASD – Autistic Spectrum Disorder, Down's Syndrome, Asperger's Syndrome) that arise during the developmental period and are associated with deficits in the cognitive, social and motor spheres, resulting in severe impairments in adaptive behaviour and basic life skills.

The LudoMi project – The case study of reference is *LudoMi*, a project of an LMSI for children with disabilities in the Milanese suburbs, as an innovative technological solution that can be ground of new educational services (Cosentino et alii, 2019; Figg. 1-3). *Merlino*, as an integrated project at *LudoMi*, was born as a transportable extension. *Merlino* has created a physical dimension to the contents of *LudoMi*, paying attention to keeping costs

low, using the same type of technology, creating a transportable structure, and has found during the design implementations of hardware compared to the initial project. The value and effectiveness of the project that the *LudoMi* team has realized, have been demonstrated by the research carried out and described in a scientific publication entitled '*Magic Room: A Smart Space for Children with Neurodevelopmental Disorder*', published by Franca Garzotto and Mirko Gelsomini (2017). Exploratory studies were conducted with the collaboration of eight assistants and nineteen children with severe disabilities in the NDD spectrum, which used the intelligent room for four months with encouraging results (Fig. 4). The document also offers insights into how these target groups might behave in the *Magic Room* that have been helpful in defining the design of future smart spaces, demonstrating the effectiveness of the methodology applied.

The logic of the *Magic Room* is based on the theories of simulative cognition, i.e. the approach to the study of cognition based on the theory of the embodied mind (Wilson, 2002) and of sensory integration (Ringland et alii, 2014). The first one underlines the formative role of the incarnation (the way in which the sensory-motor abilities of an organism allow to successfully interact with the physical environment) in the development of cognitive abilities. Body experiences promote cognitive processes related to the mastery of sensory-motor contingencies and stimulate higher-level cognitive abilities such as mental imagery, associative and implicit memory, reasoning and problem solving. Theories of sensory integration state that learning depends on the ability to collect, integrate and process sensory information, in order to plan and manage personal behaviour. When this process presents deficiencies or slowdowns, subjects with NDD create an abnormal mental representation of the external world, which influences the ability to appropriate attitudes in all aspects of life. Specific interventions for people with NDD aim to stimulate basic perceptual mechanisms and promote perceptual learning (Fahle and Poggio, 2002).

Field of research – Faced with the picture outlined, with disciplinary references in continuous development due to the evolution of technological scenarios, which increasingly fluidly intersect the areas of medicine and education/training (Fig. 5), it is necessary to ask some questions which correspond to as many research challenges. Is it possible to build up a solution that is comparable to those on the market in terms of performance, interactivity and completeness of sensory stimuli, maintaining cost accessible? Is it possible to make advanced and specialised technologies accessible to a wider audience?

	Snoezelen	MEDIATE	CAVE Auxologico	Ludomi	Merlino
Sensì coinvolti	4	4	3	4	4
Adattività del software	1	5	3	2	2
Flessibilità dell'attrezzatura	3	1	2	2	5
Necessità di personale specializzato in uso	no	si	si	no	no
Trasportabilità	no	no	no	no	si
Costo	medio-alto	medio-alto	alto	basso	basso

Fig. 7 - Comparison table of the case studies and evaluation of *Merlino* project elements.

The paper investigates these questions and wants to give an answer through Merlino's project, starting from the construction of the state of the art scenario, and then laying the foundations for the definition of a model that, through guidelines and a specific flexible methodology, becomes a large-scale replicable project for users and territory. Merlino is a mobile multisensory room that uses the playful dimension for educational purposes for children with intellectual disabilities, designed with an industrial production perspective. It is a mountable, mobile and configurable tool for users without specific technical skills, with the aim of making an educational and preventive object available to the school and social-health system.

**Methodology** – The design phase has been developed following a hybrid approach inspired by design thinking and scientific methods. One of the most used approaches of Design Thinking use 'divergent thinking', as a way to ensure that many possible solutions are explored, followed by 'converging thinking' as a methodological practice to select and filter them until the final solution, more focused and supported by a proper analysis (Beckman and Barry, 2007). In this order, the design method was based on the research conducted by the multidisciplinary team of LudoMi, after which the case studies reported in the contextualization part were examined, for the understanding of the state of the art, examining strengths and weaknesses.

From the creation and analysis of a scenario with the expressed potentialities and limits of the existing solutions, the objectives and requirements that the innovative solution must have been drawn up, then assuming three main solutions. The hypothesised solutions were compared, verifying their feasibility through the request for estimates that allowed a clear evaluation of the ideas and the choice of the optimal solution (Fig. 6). In order to give a complete view of the methodology applied to the research and the project, design and the designer has the role of mediator and guide in the complexity of processes (Beckman and Barry, 2007; Howard and Melles, 2011).

**Merlino: requirements and objectives** – The requirements and constraints of the project, read as project opportunities, were defined with respect to six issues that emerged from the analysis of the case studies:

- Cost optimization: the components must be available on the market without the need for customization of products, but resulting from the assembly of components at a low cost and accessible;
- Use and management convenience: the installation must be simple and fast, integrating the largest number of components in the pre-assembled modules; the control of the entire room must be done through a single interface that is easy to use for non-specialized operators;
- Transportability: the structure must be transportable with non-special means of transport, such as a medium sized van, manageable by one or two people when moving inside the buildings and with easy assembly;
- Scalability of the project: the project must be reproducible in different places and contexts, such as schools, hospitals, public spaces, civic centres, associations, etc.;
- Flexibility over time: the room must be prepared

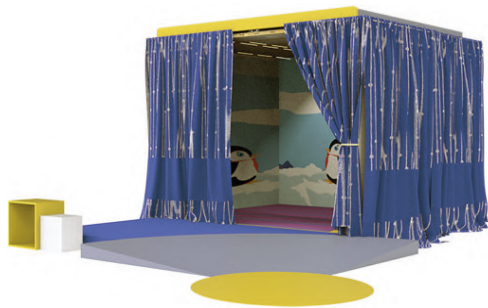


Fig. 8 - Merlino, three-dimensional model of MSEs.

for future implementations and be able to adapt to technological updates and needs in different applications;

- Attractiveness: the project interfaces with the children, who must receive a pleasant sensation towards the environment, perceiving it as intriguing; it must therefore communicate a playful and amusing aspect that becomes the object of the child's desire, concealing the technical/technological side from most and exalting its magical and mysterious side.

The requirements defined by the analysis of the case studies, reported in Fig. 7, have been developed as design elements in a holistic design perspective, increasing the resilience of the product itself (Galliers and Currie, 1999).

**Merlino: product development** – Cost optimisation has been contained thanks to the use of components already on the market: using standard elements easily available, and designing a modular structure divided, that makes the architecture extremely flexible over time. The upper part, where all the technological instruments are located, makes easy the replacement and updating of the equipment over time. The lower part allows the closure of the structure, allowed the movement of individual modules without having to dismantle the entire plant, avoiding difficult and lengthy adjustments. Another aspect considered for cost savings is the need for specialised personnel during the use of the magic room: for this reason, Merlino has been designed controllable by a tablet device, which allows teachers and therapists to use the structure independently. To meet the requirement of ease use and management, the installation and assembly of the structure has been simplified, thanks to the use of joints with self-locking hinges and methods of lever attachment between the modules. For safety and practical reasons, the wiring is located in the upper part of the structure and in special channels inside the panels outside the reach of children.

The first design choice was to create a modular structure, which by its nature makes the project scalable and simplifies transport. The need to have a transportable structure had an impact on all aspects of the project, in particular each module was sized to be lifted, moved and handled by two people inside buildings. Considering the health and safety standards of the operators established by the European regulations, which impose a maximum weight of 25 kg per person, each module weighs no more than 50 kg (DLgs 626/94 – Manual handling of loads). In order to contain the weight, a precise study of the materials has been carried out, so as to confer structural rigidity but overall lightness. In

fact, in each wall, only the external frame in solid wood has been kept and the inside has been lightened with a honeycomb filling in order to form a hollow core panel.

Total dimensions of the structure are the result of design considerations and functional inputs: standard height of the internal spaces (the useful internal height, measured from floor to ceiling, cannot be less than 2.7 meters); aeration of a collected space, able to create a comfortable and non-dispersive environment in the eyes of a child, but at the same time liveable for an adult. External dimensions are the result of the above considerations, in its open and assembled configuration of 3x3 meters of perimeter base and 2.7 meters in height inside. As far as transportability is concerned, on the other hand, we worked on the dimensions of the single module, so that it could be transported on easily available vehicles, such as medium sized vans, and be transferred, by hand, by two people, inside the buildings, thus taking into account: standard size of the doors; standard size of the staircases; example of medium sized vans.

To create a pleasant and intriguing image that suggested a magical aspect in the eyes of a child, able to activate empathy in the interaction, we worked on the external aspect of the room, being instead bound in the internal form. In fact, it was necessary to keep three walls perpendicular to the ground for a simple adjustment of the projectors. In order to make the external shape more attractive and interesting, the graphic and chromatic level was adjusted with the use of patterns, while to lighten and eliminate the perception of the cubic shape, the structure was covered with a coloured curtain, a characteristic element of the product and of the character it intends to represent, Merlino. The curtain is therefore a design and symbolic element: both functional and decorative, both in terms of image and insulation, an external skin that, in addition to giving a shape of which the boundaries are lost, hides the structural and technological part, allowing the use of more raw materials, which therefore do not require expensive aesthetic surface finishes, as well as the possibility for operators to enter and exit the structure quickly.

The actors involved in various ways have a more or less direct relationship with the room, which, considering its entire life cycle, extends from the staff who are responsible for the creation of the product, to the operators who offer the service, or who manage the package, depending on the destination. Therefore, figures such as doctors, educators, teachers, children with and without disabilities, their families, the administrative apparatus of the host structures and the staff for the implementation of the project are involved (Fig. 8).

**Socio-economic implications** – Public bodies, such as Hospitals and Schools (Fig. 9) or private organisations such as associations, are also thinking about new solutions. Looking for alternative answers that through the adoption of technologically advanced instrumentation, are able to solve problems that until now have been tackled without a specific methodology. These possibilities remain limited to a planning of public services that still struggles to ensure accessibility to the entire population, considering the different economic possibilities and the distribution of facilities in the area.

The World Health Organization's (WHO)



Fig. 9 - Merlino, three-dimensional model of MSEs set in the atrium of a school.

Commission on Social Determinants of Health, in its final report entitled *Closing the Gap in a Generation: Health Equity through Action on the Social Determinants of Health* (2008), estimated that more than half of the world's population has serious problems of access to health services and is at risk of incurring catastrophic costs due to a disease. This happens mainly when a large part of the population has a low income, lives in peripheral areas and public health systems are distant, and only the most central ones are well equipped, forcing people to long journeys which, given the frequency, are also very expensive.

The use of specialist services reveals high levels of inequality to the detriment of most disadvantaged groups, as well as services related to hospital admissions or lack of access to innovative procedures and facilities (Soletierre, 2018). One of the objectives of the Merlino project is to give the possibility to those who do not live in large towns, i.e. in the proximity of equipped facilities, to be able to use equally advanced medical services, without the need to make long daily trips. The creation of a transportable structure capable of accommodating a multi-sensory system, where patients can explore, experiment and socialise, under controlled conditions, together with family members and

caregivers, would avoid many families having to face continuous costly and time-consuming journeys. Not to mention the value of data collection, which is one of the great challenges of our time: having targeted data, collected during the interaction environment/man, variable on the basis of external parameters, is certainly a great asset for those who must then define the necessary therapies and interventions on the individual patient.

**Conclusions** – The definition of a design method and product, with the above requirements, represents for the scientific community a significant improvement in terms of dissemination of results, and therefore repeatability. The flexibility that distinguishes Merlino, precisely in its original concept, will allow, in addition to the spread diffusion on the territory, also the possibility to keep software and hardware updated, a necessary prerequisite preventing the quick evolution of technology. And this means adaptability to different contexts and widening to new user groups. But not only that. Also from a commercial point of view, for its position on the market, Merlino is certainly an interesting project, since it allows you to take advantage of a single investment using it in multiple locations, with the opportunity to use it in places that, usually, would not

have the possibility to be equipped with such advanced technologies. In its structural layout, the system fully meets the requirements of portability, assembly, start-up and ease of use, through its modularity and integration of components within the pre-assembled structure.

Merlino has a precise communicative aesthetic, its image reflects, with its characteristics of attractive and mysterious game, the appearance of the character that represents – the magician Merlin – activating a series of positive reactions in the propensity of children and adults to use it, considering it as an educational equipment and not only medical. Special attention has been made on the structural perimeter freedom and attractiveness, hiding the technology and wiring within predetermined spaces. Merlino create the foundations for the creation of a new category of products that can be used directly in places where there is a specific need. It allows to displace costumed services over the territory, that we are used to imagine only in big central facilities. In addition, the project, due to its modular nature, allows to maintained costs low and leaves open the possibilities of hardware implementation and development of software applications for new types of interaction. A model is therefore defined in a way that, after the experi-



Fig. 10 - Transport and assembly of Merlino modules.

mentation phase, will be replicable in other areas ranging from training to entertainment, marketing, research and the medical sector.

Assuming a large-scale diffusion of this system, Merlino could become a kit provided to schools, social and health facilities, with multiple functions thanks to virtual reality, changing the approach to educational activities and therapeutic practices. Education today aims, through traditional teaching, at the development of cognitive faculties and notional learning, but an effective strategy for the involvement of the emotional sphere of the child has not yet been defined. In conclusion, through the use of MSEs, we propose the development of a didactic model and support to the health sector aimed at intellectual stimulation, creating immersive scenarios, able to arouse strong emotional reactions, to allow users to experience, in a controlled way, social dynamics and interaction with others and the outside world.

#### REFERENCES

- Baricco, A. (2018), *The Game*, Giulio Einaudi editore, Torino.
- Beckman, L. and Barry, M. (2007), "Innovation as a Learning Process: embedding design thinking", in *California Management Review*, vol. 50, n. 1, pp. 24-56.
- Cipresso, P., La Paglia, F., La Cascia, C., Riva, G., Albani, G. and La Barbera, D. (2013), "Break in volition: a virtual reality study in patients with obsessive-compulsive disorder", in *Experimental Brain Research*, vol. 229, issue 3, pp. 443-449.
- Cosentino, G., Leonardi, G., Gelsomini, M., Spitale, M., Gianotti, M., Garzotto, F. and Arquilla, V. (2019), "GENIEL: an auto-generative intelligent interface to empower learning in a multi-sensory environment", in *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion (IUI '19)*, ACM, New York (USA), pp. 27-28.
- Dourish, P. (2001), *Where the action is: the foundations of embodied interaction*, MIT press, Cambridge, Massachusetts.
- Drobac, K. and Gaus, C. (2014), "Connected Care Is Key to Accountable Care: The Case for Supporting Telehealth in ACOs", in *The American Journal of Accountable Care*, vol. 2, n. 2, pp. 25-26.
- Fahle, M. and Poggio, T. (eds) (2002), *Perceptual learning*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Ficocelli, S. (2019), *Innovation-driven healthcare: viaggio oltre le nuove frontiere della salute*. [Online] Available at: [https://www.repubblica.it/dossier/tecnologia/talks-on-tomorrow-2018/2019/03/08/news/talks\\_on\\_tomorrow-221001366/?ref=search](https://www.repubblica.it/dossier/tecnologia/talks-on-tomorrow-2018/2019/03/08/news/talks_on_tomorrow-221001366/?ref=search) [Accessed 10 April 2019].
- Galliers, R. and Currie, W. (eds) (1999), *Rethinking Management Information Systems: An Interdisciplinary Perspective*, Oxford University Press, New York.
- Garzotto, F. and Gelsomini, M. (2017), "Magic Room: A Smart Space for Children with Neurodevelopmental Disorder", in *IEEE Pervasive Computing*, vol. 17, issue 1, pp. 38-48.
- Haggard, L. E. and Hutchinson, R. (1991), "Snoezelen: an approach to the provision of a leisure resource for people with profound and multiple handicaps", in *Journal of the British Institute of Mental Handicap*, vol. 19, pp. 51-55.
- Howard, Z. and Melles, G. (2011), "Beyond designing: Roles of the designer in complex design projects", in *OZCHI 2011 Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference: Design, Culture and Interaction*, ACM, Canberra, Australian Capital Territory, Australia, pp. 152-155.
- Hulsegge, A. and Verheul, J. (1987), *Snoezelen Another World. A Practical Book of Sensory Experience Environments for the Mentally Handicapped*, Rompa, Chesterfield (UK).
- Kaplan, H. M., Clopton, M., Kaplan, M., Messbauer, L. and McPherson, K. (2006), "Snoezelen multi-sensory environments: Task engagement and generalization", in *Research in Developmental Disabilities*, vol. 27, pp. 443-455.
- Kewin, J. (1994), "Snoezelen. The reason and the method", in Hutchinson, R. and Kewin, J. (eds), *Sensations and disability: Sensory environments for leisure, Snoezelen, education and therapy*, Rompa, Chesterfield (UK).
- Parés, N., Carreras, A., Durany, J., Ferrer, J., Freixa, P., Gómez, D., Kruglanski, O., Parés, R., Ribas, I. J., Soler, M. and Sanjurjo, A. (2004), "MEDIATE: An interactive multisensory environment for children with severe autism and no verbal communication", in *3rd International Workshop on Virtual Rehabilitation (IWVR '04)*, Lausanne, Svizzera, pp. 1-9. [Online] Available at: [https://pdfs.semanticscholar.org/0676/8e2cda070abd4d44050edbc808920403a681.pdf?\\_ga=2.28878588.1303837857.1557213218-1890251487.1555255686](https://pdfs.semanticscholar.org/0676/8e2cda070abd4d44050edbc808920403a681.pdf?_ga=2.28878588.1303837857.1557213218-1890251487.1555255686) [Accessed 8 April 2019].
- Ringland, K. E., Zalapa, R., Neal, M., Escobedo, L., Tentori, M. and Hayes, G. R. (2014), "SensoryPaint: a multimodal sensory intervention for children with neurodevelopmental disorders", in *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, ACM digital library, New York, pp. 873-884.
- Slevin, E. and McClelland, A. (1999), "Multisensory environments: are they therapeutic? A single-subject evaluation of the clinical effectiveness of a multisensory environment", in *Journal of Clinical Nursing*, vol. 8, issue 1, pp. 48-56.
- Soleterre (2018), *Salute è salute sociale. Il Programma Internazionale per l'Oncologia Pediatrica di Solterre*. [Online] Available at: [https://soleterre.org/wp-content/uploads/2017/08/dossier\\_FEB\\_2018\\_SOLETERRE\\_OK.pdf](https://soleterre.org/wp-content/uploads/2017/08/dossier_FEB_2018_SOLETERRE_OK.pdf) [Accessed 6 April 2019].
- Weiser, M. (1991), "The computer of the twenty-first century", in *Scientific American*, vol. 265, n. 3, pp. 94-104.
- Wilson, M. (2002), "Six views of embodied cognition", in *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 9, pp. 625-636.

<sup>a</sup> MARIO BISSON, Architect, is Associate Professor at the Department of Design of the Politecnico di Milano (Italy) and Scientific Director of the interdepartmental laboratory EDME and Scientific Director of the Colour Laboratory; he is also founder and Scientific Director of MDA, and member of the Board of Directors of Polidesign srl. Mob. +39 331/72.65.620. E-mail: [mario.bisson@polimi.it](mailto:mario.bisson@polimi.it)

<sup>b</sup> SHANTI ANDREANA ALBERTI DI CATENAJO, Product designer for innovation, he carries out professional research in the field of product and service design, has collaborated on exhibitions and projects of international importance. Mob. +39 393/82.59.738. E-mail: [shanti.alberti@mail.polimi.it](mailto:shanti.alberti@mail.polimi.it)

<sup>c</sup> STEFANIA PALMIERI, Architect and PhD, she is Researcher in Industrial Design at the Department of Design of the Politecnico di Milano, Italy. She is responsible for relations with companies and professions for the School of Design. Her teaching, research and management activities aim to create a network of collaboration with the world of production, aimed at strengthening and stabilizing synergies between universities and businesses for the creation of cultural networks and exchange. Mob. +39 335/67.59.314. E-mail: [stefania.palmieri@polimi.it](mailto:stefania.palmieri@polimi.it)

Research & Experimentation

design

## RESTONED DALLA POLVERE DI SCARTO ALLA PIETRA SOSTENIBILE

### RESTONED FROM WASTE MATERIAL TO SUSTAINABLE STONE

Annalisa Di Roma<sup>a</sup>, Alessandra Scarcelli<sup>b</sup>, Vincenzo Minenna<sup>c</sup>

#### ABSTRACT

La ricerca ReSTONED indaga il tema della sostenibilità ambientale connessa al ciclo di produzione, a partire dal reimpiego di materiale di sfrido lapideo, da trasformare in nuovo materiale per prodotti indoor e outdoor. La ricerca si colloca nell'ambito d'indagine dell'innovazione di prodotto, con particolare riferimento a materiale da fonti naturali e oggetti d'arredo. In un'ottica di potenziamento dell'economia circolare regionale, l'ipotesi della ricerca è che lo scarto di produzione, definito 'fangio di lavorazione', possa essere ri-processato al fine di ottenere nuovo materiale con caratteristiche rinnovate sia dal punto di vista tecnico sia dal punto di vista estetico.

The ReSTONED research investigates the theme of environmental sustainability related to the production cycle, starting with the reuse of the stone waste material, to be transformed into new material for indoor and outdoor products. The research is based in the product innovation field, with particular reference to materials from nature sources and furniture. With a view to strengthening the regional circular economy, the research hypothesis is that the production waste, defined as 'processing mud', can be re-processed in order to obtain new material with renewed characteristics both from a technical and an aesthetic point of view.

#### KEYWORDS

design sostenibile, innovazione di prodotto, design lapideo, economia circolare, manifattura digitale

sustainable design, product innovation, stone design, circular economy, digital manufacturing

Il paper propone gli esiti della ricerca ReSTONED, svolta dagli autori sul tema della sostenibilità ambientale connessa al ciclo di produzione verso una ecologia industriale (Almeida, Branco and Santos, 2007; Forlani, 2010; Andrews, 2015), nell'ottica del potenziamento dell'economia circolare regionale, a partire dal reimpiego di materiale di sfrido lapideo da trasformare in nuovo materiale, per prodotti indoor e outdoor. Tale ricerca parte da alcune premesse di metodo derivanti dagli attuali orientamenti promulgati dalla Comunità Europea (2014, 2015), in particolare dal Rapporto dal titolo Verso un'Economia Circolare: Programma per un'Europa a Zero Rifiuti: in esso vengono illustrate le linee di indirizzo da seguire per accrescere il riciclo e usare in modo più efficiente le risorse, limitare la dipendenza dalle fonti di approvvigionamento incerte, ridurre i rifiuti e prevenire la perdita di materiali pregiati, con la finalità di indurre un minor impatto ambientale e creare nuovi posti di lavoro. La serie di misure conseguenti al Rapporto della Comunità Europea è stata recepita dalla Regione Puglia, sottoscrittrice della Charter of the Italian Way for Circular Economy (ICESP, 2018).

In particolare, la ricerca si colloca nell'ambito d'indagine dell'innovazione di prodotto, con particolare riferimento a materiale di origine naturale, 'non rinnovabile' naturalmente, per il quale è necessario mettere a punto strategie per il re-impiego finalizzate all'applicazione per il prodotto. Lo studio è stato condotto in partnership con alcune aziende del territorio pugliese degli ambiti lapideo e chimico-industriale. L'ipotesi della ricerca è che lo scarto di produzione, in particolare il cosiddetto 'fangio di lavorazione', possa essere ri-processato al fine di ottenere nuovo materiale con caratteristiche rinnovate sia dal punto di vista tecnico sia dal punto di vista estetico. La ricerca prevede una seconda fase, a cui si accennerà nelle conclusioni, che sostituirà la matrice utilizzata (resina epossidica) con resine di origine bio, al fine di raggiungere gli obiettivi di sostenibilità sino al fine vita del materiale e del prodotto.

Le ipotesi di studio sono sostenute mediante due fasi della ricerca: Desk, volta alla definizione dello stato dell'arte inerente al design dei manufatti lapidei e del materiale lapideo ri-composto, e alle implicazioni sul piano socio-culturale della produzione di manufatti riferiti al territorio di provenienza (Follesa, 2013); Field, mediante alcune sperimentazioni che riguardano il design del materiale con riferimento alla caratterizzazione estetica e tecnico prestazionale (Pappalettere, Casavola and Pappalettera, 2014).

Le basi razionali della ricerca evidenziano una delle esigenze di innovazione che accomuna le aziende del settore lapideo pugliese: riciclare i numerosi scarti/sfridi di lavorazione anche al fine di ottenere nuovi prodotti in pietra ricomposta, caratterizzati da prestazioni estetiche e tecniche innovative. Ad ora i fanghi di lavorazione, infatti, sono definiti 'rifiuti speciali' da conferire a discarica, con gli oneri connessi e le ricadute di impatto ambientale che ne conseguono (Morgante, 2013): essi sono fanghi di segazione originati durante l'asportazione di materiale dai blocchi in pietra, un processo di lavorazione che avviene in umido per questioni tecniche e di sicurezza. La principale implicazione culturale che si sostiene è che lo sviluppo di materiali da fonti naturali 'non rinnovabili' come la pietra, mediante il re-impiego del fango di lavorazione, oltre a obbedire alle sempre più stringenti esigenze di sostenibilità ambientale (Vezzoli, 2016), introdurrebbe nel settore del design di prodotto e dell'arredo la novità di un materiale riferibile al territorio di provenienza, in grado di attivare il riconoscimento e auto-riconoscimento dell'utente a fronte di una cultura materiale riferibile al settore lapideo.

Obiettivo generale dello studio effettuato è stato lo sviluppo di un materiale agglomerato utilizzando almeno il 50% di sfridi lapidei, e la definizione delle caratteristiche di una nuova classe di prodotti. L'innovazione di prodotto è intesa nella versatilità d'impiego in differenti processi produttivi, sia di tipo additivo sia di tipo sottrattivo (a stampo / per lastre / per blocchi lavorabili). Il riuso di scarto da lavorazione comporterà minor consumo di pietra e quindi minore attività di estrazione, inducendo processi virtuosi in una filiera produttiva ad oggi inquinante, per il consumo di energia grigia, per i trasferimenti in discarica degli scarti, ecc. Al fine di dimostrare le ipotesi della ricerca dal punto di vista del design del prodotto, il contributo descrive una serie di dimostratori, tra i quali lastre ed alcuni prodotti per l'illuminazione, progettati dagli autori. Tra le principali innovazioni estetiche introdotte si fa riferimento alle qualità di trasparenza del materiale ricomposto, capaci di svelare maggiore o minore opacità quando attraversato da fasci di luce, e di ricostituire l'omogeneità naturale della





Fig. 1 - Stone quarry, Apricena (credit: V. Minenna, 2017).



Fig. 2 - Slab processing waste, Dalia Stone Design, Ostuni (credit: P. Boscarino, 2017).

pietra opaca al cessare dell'esposizione luminosa. Il progetto delle lampade sostiene attivamente questo aspetto, attraverso la definizione di variazioni programmate nella composizione del materiale.

In conclusione si discutono i risultati di tale ricerca e le relative possibili ricadute per i settori industriali pertinenti; i possibili esiti a lungo termine prevedono che: le tecnologie in ambito digitale consentiranno di rendere il processo produttivo più eco-sostenibile; la ricerca nell'ambito del design del materiale lapideo ricomposto darà luogo alla nascita di una classe di artefatti sempre più connessi ai territori di riferimento, sia dal punto di vista estetico sia per quel che riguarda le implicazioni socio-culturali.

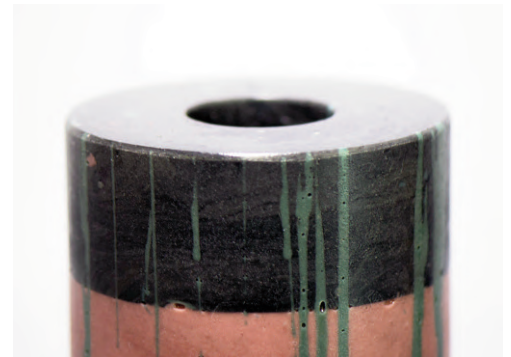
*Inquadramento della ricerca e stato dell'arte* – La sperimentazione illustrata nel presente paper è stata avviata all'interno del progetto di ricerca MAIND<sup>1</sup> (MATERIALI eco-innovativi e tecnologie avanzate per l'INDustria Manifatturiera e delle costruzioni) svolto tra il 2013 e il 2018, nel quale il Politecnico di Bari ha avuto un ruolo rilevante rispetto alla caratterizzazione di nuovi materiali e prodotti. Nello specifico, l'obiettivo realizzativo a cui si fa riferimento ha riguardato la definizione delle specifiche estetiche e percettivo-sensoriali di materiali polimerici e compositi da fonti rinnovabili, con riferimento al settore d'impiego dell'arredo. I risultati ottenuti in questa prima fase hanno posto le premesse per il prosieguo della ricerca, formalizzandosi nel progetto ReSTONED<sup>2</sup>, che inquadra il focus dell'indagine relativamente allo sviluppo di nuovi materiali compositi a base naturale, sul reimpiego di polveri lapidee. La fase sperimentale è stata supportata da aziende del territorio pugliese, in particolare dalla Pimar, per quanto attiene materiali e competenze dell'ambito lapideo, e dalla Marmoplast, per il

settore chimico-industriale relativo alle resine.

La vocazione del territorio pugliese nei processi di estrazione e lavorazione della pietra da taglio ha determinato lo sviluppo di un fiorente distretto nell'ambito lapideo, contando numerose piccole e medie aziende, e quindi con rilevanza nell'economia regionale<sup>3</sup> ma anche nazionale: con un'estrazione di circa un milione e mezzo di tonnellate di materiale di grezzo la Puglia risulta la seconda regione italiana, preceduta solo dalla Toscana (Fig. 1). L'attività estrattiva produce materiale indirizzato prevalentemente al settore edile, della ricomposizione ambientale, chimico e dell'arredamento (Regione Puglia, 2009). La problematica ambientale non ha lasciato illeso questo settore produttivo: oggi le fasi di estrazione, taglio e lavorazione della pietra naturale comportano una sostanziosa produzione di scarti e sfridi di produzione, dalla caratterizzazione geometrica e morfologica molto differenziata, dovuta alle singolari peculiarità delle varie fasi di lavorazione (Fig. 2). Per rispondere alle incombenti esigenze di ecosostenibilità, rese più stringenti dalla natura del sistema ambientale legato alle cave di estrazione, non rinnovabile in tempi quantificabili, il Piano regionale delle attività ha favorito lo sviluppo e l'ammodernamento dei sistemi e dei processi del comparto lapideo, finalizzandolo al recupero degli scarti provenienti da cava e da lavorazione.

Lo scarto lapideo caratterizza da diverso tempo lo scenario contemporaneo del design, in sperimentazioni che mirano alla valorizzazione delle qualità formali ed estetiche dei residui di pietra, in particolare lastre e piccoli blocchi (Pavan, 2007), che assumono nuove configurazioni dopo lavorazioni di taglio o fresatura, trasformandosi in prodotti e complementi d'arredo (Badalucco and Casarotto, 2018). Comunemente, invece, questi residui vengono sottoposti a frantumazione e ridotti in inerti, graniglie e polveri, che costituiscono il pietrisco nella composizione del cemento e del laterizio, oppure possono essere riaggregati insieme, attraverso leganti, per realizzare nuovo materiale, la cosiddetta pietra ricomposta. La natura dei leganti determina le variabili prestazionali del composto, in termini di resistenza e durabilità: inorganica, come il Portland, oppure organica sintetica, come la resina poliesteri, la matrice ricomponi i frammenti lapidei in una massa da colata, che necessita di uno stampo per tradurre la materia in materiale.

L'ambito applicativo della pietra ricomposta risulta essere, in particolare, il mondo dei rivestimenti, delle pavimentazioni e dei piani da lavoro. Resine e polveri vengono compattate per restituire la monoliticità della pietra, in un tentativo di mimesi, e trasformate in lastre o blocchi (Dal Buono, 2011). Okite, Marmoresina, Biopietra, Ecostone, Bretonstone Quartz, Swanston, sono solo alcuni dei nomi commerciali di specifici compositi con base in graniglia di pietra. Nell'ambito della pubblicistica relativa alla pietra ricomposta da riferire al design di prodotto si evidenzia l'esiguità dei contributi significativi. È più recente, invece, una maturata attenzione verso l'uso degli agglomerati lapidei nell'ambito del design, in forme e principi innovativi. Un esempio di questo approccio è dato da Mi Zhang, uno studente della Central Saint Martins College of Art and Design, che nel 2016 ha realizzato una serie di vasi partendo dalle polveri di pietra derivanti dall'estrazione mineraria nella Quyang Town, in Cina. Mescolando la pol-



Figg. 3, 4 - Mi Zhang: vases in stone powder and pine resin (credit: [www.dezeen.com/2016/06/23/mi-zhang-central-saint-martins-graduate-dust-stone-quarries-colourful-vases](http://www.dezeen.com/2016/06/23/mi-zhang-central-saint-martins-graduate-dust-stone-quarries-colourful-vases)).

vere di marmo con la resina di pino locale e con pigmenti naturali, Mi Zhang ha progettato un materiale resistente e completamente biodegradabile, contribuendo così all'economia circolare del suo Paese (Figg. 3, 4).

*Fasi della ricerca* – Le attività di ricerca sono state svolte secondo le seguenti fasi: Desk 1, analisi dello stato dell'arte riferito al prodotto e al materiale lapideo di natura ricomposta con i relativi settori d'impiego per il tac e l'arredo; Desk 2, definizione delle qualità formali del materiale in relazione alla interazione con fonti di illuminazione di tipo naturale e artificiale; Desk 3, sviluppo di concept; Field 4, definizione di alternative (sperimentazioni pratiche); Field 5, valutazione e selezione anche mediante prove tecniche oggettive (con particolare riferimento alla traslucenza e alla resistenza meccanica); Field 6, sintesi finale, classificazione dei concept e dei prototipi fisici prodotti (dimostratori).

In riferimento alle sperimentazioni (Field 4-6) la ricerca fa riferimento ad alcune istanze dell'User Centre Design Methods (Norman and Draper, 1986), come di seguito si descriverà puntualmente, che attengono a: coinvolgimento esperienziale ed emozionale dell'utente e definizione di artefatti emozionali (Norman, 2004); iteratività degli esperimenti descritti in modo da consentire la ripetibilità e la scalabilità degli esiti; multidisciplinarietà del team di ricerca che include le componenti del design, della chimica e della ingegneria meccanica. L'approccio multidisciplinare della ricerca ReSTONED si caratterizza, così, per la coesistenza di due ambiti prevalenti che illustrano da una parte la concezione di nuovo prodotto, a partire dalle caratteristiche tecnico prestazionali e formali del materiale lapideo ricomposto, dall'altra l'ambito della caratterizzazione tecnica del materiale con le op-

portune prove strumentali di verifica, a partire da una serie di parametri che pervengono dal concept di prodotto (responsività passiva del materiale alla illuminazione e possibilità di produrre forme complesse per collaggio a stampo). La ricerca, in questo modo, punta a sviluppare artefatti e sistemi luminosi che consolidino un nuovo 'senso' (Mangano, 2010) del materiale lapideo in relazione a un nuovo e imprevisto comportamento alla luce, valorizzando l'approccio all'innovazione di significato degli artefatti (Verganti, 2011).

*Descrizione della sperimentazione* – In questo paragrafo si sintetizzano gli esiti della parte originale della ricerca, che ha portato allo sviluppo di campioni fisici. In particolare si fa riferimento alle fasi Field 4 e 5, descrivendo il processo che ha condotto alla produzione di 35 campioni di materiale, e le relative prove tecniche di traslucenza e sforzo meccanico. Le polveri utilizzate per le sperimentazioni sono provenienti da diversi bacini estrattivi pugliesi, quali Apricena, Trani e Lecce (Fig. 5). Questo aspetto incide prevalentemente sulle variazioni formali, basate sul rilevamento del colore naturale della pietra distinguibile nei diversi campioni prodotti.

La resina utilizzata è di tipo epossidico, in due differenti composizioni<sup>4</sup>. Le caratteristiche fisiche, il colore, il calibro delle polveri, provenienti dai diversi bacini estrattivi, incidono significativamente sulla natura dei campioni prodotti. Le variazioni introdotte sperimentalmente riguardano: 1) la percentuale delle polveri utilizzate; 2) l'aggiunta di pigmenti naturali e/o acrilici; 3) gli spessori di layerizzazione della resina; 4) la tipologia di stampo utilizzato. La fase di caratterizzazione fisica dei materiali compositi sperimentati (Field 5), è stata condotta presso il Laboratorio di prove meccaniche del Dipartimento DMMM del Politecnico di Bari. Si è proceduto a svolgere le prove di seguito descritte.

1) Verifica per trazione del materiale portato a rottura. La strumentazione usata è consistita in un telaio di carico elettromeccanico compatto, tipo MTS, per prove monotoniche, dotato di comandi digitali MTS ad alta risoluzione per l'acquisizione dei dati. I provini realizzati per questo test si sono attenuti alle dimensioni e ai profili standard per la tipologia di analisi, in una misura compresa tra 8x2 cm per 4-8 mm di spessore. Un primo test ha valutato le performance di provini realizzati a partire da polveri di marmo di Apricena, con percentuali variabili di carica: i risultati ottenuti dimostrano che non esiste una correlazione fra concentrazione di polvere utilizzata e proprietà meccaniche. Il provino con tensione a rottura maggiore è quello ottenuto con 60% polveri, mentre quello con tensione a rottura minore è ottenuto con il 70% (Fig. 6). Questa assenza di correlazione è stata riscontrata anche in altri studi, sebbene le concentrazioni in gioco fossero più basse rispetto a quelle presentate.

Un aspetto rilevante della prova è il valore ottenuto alla tensione a rottura, che risulta comunque inferiore rispetto a quanto atteso per la resina pura. La variabilità dei dati ottenuti lascia supporre che la metodologia di realizzazione del provino abbia effetti più marcati sulle proprietà meccaniche di quante ne abbia la composizione chimica del composito. Fra i parametri realizzativi, in particolare, si è voluto investigare se l'invecchiamento del provino abbia effetti sulle proprietà stesse. A tal fine un

secondo set di prove è stato condotto su provini realizzati nella medesima giornata. I dati ottenuti confermano, in linea generale, le deduzioni ritrovate precedentemente, ovvero l'influenza di altri parametri realizzativi maggiore rispetto alla composizione chimica. Il test esplorativo sui compositi lapidei armati con fibre di vetro sembra indicare una maggiore tensione di rottura in questo caso.

Una terza verifica ha testato polveri differenti. I campioni utilizzati per questo test sono stati otto, con una variazione percentuale delle cariche così distribuita: 10% - 20% - 50% polvere di Trani; 10% - 20% - 50% polvere di Lecce; 25% polvere di Trani + 25% polvere di Lecce (spessore 8 mm); 25% polvere di Trani + 25% polvere di Lecce (spessore 4 mm). La distribuzione delle polveri all'interno delle resine si è mantenuta pressoché costante per tutta la sezione del provino. Gli strumenti hanno rilevato l'andamento delle curve, istante per istante, fino al momento di rottura. Gli esiti portano in evidenza come l'aggiunta di polveri determini una riduzione della tensione di rottura del provino e quindi un miglioramento delle proprietà meccaniche, se confrontate alle performance della resina pura (Figg. 7, 8).

2) Test di traslucenza del materiale. I risultati sono ottenuti valutando il rapporto percentuale tra l'intensità della luce assorbita da un campione e quella che lo attraversa. Le prove sono state effettuate utilizzando appositi provini cilindrici caratterizzati dalle diverse concentrazioni di polveri e leganti. Posti davanti a un proiettore dotato di lenti colorate, i campioni sono stati attraversati da fasci luminosi di diversa qualità spettrale, luce bianca, rossa, verde e blu. Uno spettrofotometro collegato a un software di comparazione dei dati ottici, ha registrato per ogni fascio emesso le radiazioni assorbite e rilasciate dalla materia, restituendo dei grafici (Fig. 9). Per la regolazione del software sono stati utilizzati due provini, quello con la minore e con la maggiore concentrazione di polveri della quale si disponeva, in modo da stabilizzare il valore iniziale. I dati numerici che la camera riesce a registrare sono compresi tra 0 e 255; il valore iniziale ottenuto per la sperimentazione è stato 138.

Per i provini con differenze di spessore o cromatiche, si è scelto di rilevare la traslucenza in più punti, quelli ritenuti più significativi, del provino. I risultati ottenuti hanno dimostrato che, a parità di materiale, i valori di trasparenza, opacità e traslucenza variano se questo è sottoposto a radiazioni differenti. Sulla variazione nei differenti campioni testati incide oltre modo la quantità di carica, il tipo di pietra d'appartenenza e la sua grana, lo spessore della superficie generata e il tipo di resina (Fig. 10). Il provino realizzato con polveri di Apricena, ad esempio, risulta essere più traslucido degli altri, fatta eccezione per il test sotto radiazioni di luce verde, i cui valori risultano essere completamente annullati.



Fig. 5 - Stone powders from Apricena, Trani and Lecce (credit: V. Lorusso, 2017).

*Dimostratori* – La produzione dei campioni prodotti nella fase Field 4 e la valutazione delle performance tecniche associate alla fase Field 5 hanno consentito lo sviluppo di un dimostratore fisico che validasse la qualità ricercata del materiale in relazione al comportamento alla illuminazione artificiale: un paralume allungato che allude al tronco di cono, scandito nella superficie esterna da 16 scanalature verticali. Si è scelto di lavorare sulla valutazione del comportamento del materiale in colata in uno stampo a geometria complessa.

Infatti dalle prove di laboratorio preliminari, di seguito descritte, emerge quanto l'adesione della massa composita alle pareti dello stampo influisca sulla qualità formale delle superfici finali, con chiara difficoltà nei casi in cui queste non giacciono su piani orizzontali, ma verticali o curvi. L'aderenza alla superficie del materiale è in tal caso stata facilitata dall'aggiunta di gel specifici. I primi test formali sono stati quindi effettuati utilizzando dei palloncini gonfiabili, sui quali la resina è stata applicata tramite pennello (Fig. 11). I risultati ottenuti hanno incoraggiato nuovi test, sperimentando materiali alternativi per la costruzione degli stampi. La natura fluida della resina le permette di assumere forme anche complesse, per cui sono stati realizzati degli stampi in silicone della forma desiderata, adatti a colarci il composito e a sformarlo agevolmente. La gomma siliconica, liquida o in pasta, è infatti un prodotto che si presta perfettamente allo scopo descritto: è dotata di alte prestazioni di elasticità, che aiuta nello sformo di sottosquadri anche rilevanti; presenta ottime qualità di anti aderenza, evitando fenomeni di attaccamento del composito sulla parete; assicura fedeltà di riproduzione del modello.

La manifattura digitale ha supportato la fase realizzativa del dimostratore finale e del relativo stampo, attraverso la costruzione della matrice positiva in PLA, ottenuta con stampa 3D per deposizione di filamento, necessaria alla definizione dello stampo siliconico (Figg. 12, 13). Dopo alcune prove per verificare le qualità dello stampo in silicone, effettuate in piccoli provini (Figg. 14, 15), è stato concepito il prodotto finale dalla geometria complessa. Il paralume svela la proprietà del materiale ricomposto di reagire alla retroilluminazione, mostrando un gradiente luminoso associato alla diversa percentuale di polvere distribuita lungo la intera superficie. Le caratteristiche formali del materiale, in assenza di illuminazione, risultano essere omogenee sia rispetto al colore sia rispetto alla opacità. La retroilluminazione modifica completamente la percezione del materiale che appare più opaco alla base in corrispondenza della sorgente luminosa e più trasparente in corrispondenza della sommità. (Figg. 16, 17). Infine il buon comportamento della massa di colata in resina e polvere lapidea alla geometria del dimostratore rappresenta una potenzialità del materiale allo stato dell'arte

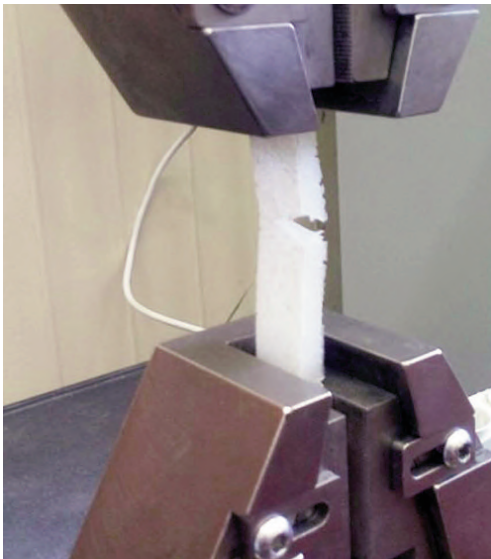
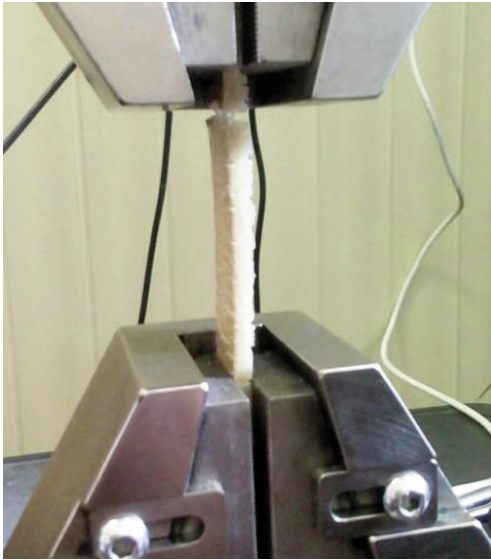
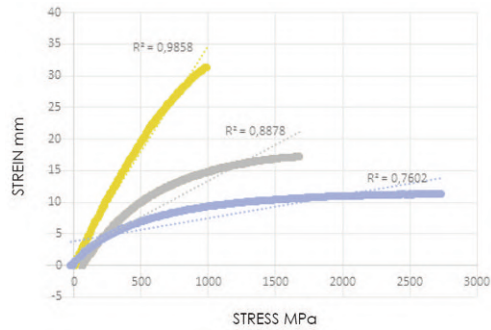


Fig. 6 - Tensile test result graphs for specimens in powdered Apricena marble with 50% (grey), 60% (orange), 70% (blue) filler (credit: V. Lorusso, 2017).

Fig. 7, 8 - Test specimen subjected to tensile testing with 10% Trani stone dust charge; Tensile test specimen with 20% Trani stone dust charge; breaking point (credits: F. Valente, 2018).

non ancora verificata: difatti i manufatti in pietra ricomposta, attualmente, sono prevalentemente realizzati sotto forma di lastra o blocco.

**Conclusioni** – L'utilizzo delle resine epossidiche per lo sviluppo dei campioni realizzati rappresenta una fase d'avvio dello studio, in accordo alle esigenze del partner aziendale Marmoplast. Una seconda fase di studio porterà in valore la potenzia-

lità di incidere positivamente sul tema della sostenibilità ambientale attraverso un nuovo materiale ricomposto, che non solo recupererà lo 'sfrido' di lavorazione della pietra, ma anche utilizzerà resine a matrice bio-based. Nell'ultimo decennio, infatti, gli sforzi della ricerca accademica e di quella industriale sono stati rivolti a un approfondimento sulla produzione di materiali polimerici 'bio-based', definiti tali in quanto originati da materie prime rinnovabili e compatibili con l'ambiente.<sup>5</sup>

ReSTONED si inserisce quindi all'interno dello stato dell'arte relativo ai materiali sostenibili sia per quel che attiene alla dinamica della produzione sia per quel che riguarda le caratteristiche ecologiche del materiale da fonte non rinnovabile, utilizzato nella sua forma di 'rifiuto speciale', ovvero 'fango di lavorazione'. Di fatto in questo ambito molta ricerca finalizza il proprio focus sui processi e sui materiali da destinare agli ambiti di applicazioni dell'edilizia e dell'interior (Almeida, Branco and Santos, 2007; Giorgi, Lavagna and Campioli, 2017). ReSTONED punta, invece, a mettere a sistema una dinamica di valorizzazione dello scarto lapideo al fine di ottenere un impatto positivo sul complesso equilibrio dell'ecosistema che ha a che vedere con il consumo del suolo e con la valorizzazione dell'economia circolare (ISPRA, 2016). Inoltre la ricerca punta a individuare un settore di impiego per il materiale per il prodotto industriale.

Il percorso di scalabilità della ricerca agli ambiti industriali di applicazione è aperto, e in questo lo studio proposto ha i limiti di una sperimentazione condotta 'artigianalmente' in riferimento alle tecniche di incorporamento del particolato lapideo con le resine leganti utilizzate. Tuttavia, il rigore metodologico che contraddistingue tutti i passaggi, dalla sperimentazione alla verifica tecnico-prestazionale, rende possibile la scalabilità dei risultati e il passaggio a una sperimentazione in ambito propriamente industriale. Tra le ricadute attese il progetto mira a valorizzare il contesto socio culturale all'interno del quale l'estrazione e lavorazione del lapideo avviene puntando a una risignificazione degli artefatti che avranno vita dal materiale di scarto, in grado di indurre una dinamica di identità di un materiale territorialmente riferito.

#### ENGLISH

The paper proposes the results of the ReSTONED research, carried out by the authors about the theme of environmental sustainability related to the production cycle towards an industrial ecology (Almeida, Branco and Santos, 2007; Forlani, 2010; Andrews, 2015), with a view to strengthening the regional circular economy, starting from the reuse of waste stone material to be transformed into new material, for indoor and outdoor products. This research starts from some methodological premises deriving from the current guidelines promulgated by the European Community (2014, 2015), in particular from the Report entitled *Towards a Circular Economy: Programme for a Zero Waste Europe: this document sets out the guidelines to be followed to increase recycling and make more efficient use of resources, limit dependence on uncertain sources of supply, reduce waste and prevent the loss of valuable materials, with the aim of reducing environmental impact and creating new jobs. The series of measures resulting from the European Community Report has been implemented by the Puglia Region, a signa-*

*tory to the Charter of the Italian Way for Circular Economy (ICESP, 2018).*

*In particular, the research is based on the product innovation field, with particular reference to material of natural origin, 'non-renewable' by nature, for which it is necessary to develop strategies for reuse aimed at the application for the product. The study was conducted in partnership with some companies based in the Apulian Regional in the sectors of the stone product and production and in the chemical industry. The hypothesis of the research is that the production waste, in particular the so-called 'working mud', can be re-processed in order to obtain new material with renewed characteristics both from a technical and an aesthetic point of view. The research foresees a second phase, which will be mentioned in the conclusions, which will replace the matrix used (epoxy resin) with resins of organic origin, in order to achieve the objectives of sustainability until the end of life of the material and the product.*

*The study hypotheses are supported by two phases of research: Desk, aimed at defining the state of the art inherent in the design of stone artefacts and re-composed stone material, and the socio-cultural implications of the production of artefacts referring to the territory of origin (Follesa, 2013); Field, through some experiments concerning the design of the material with reference to the aesthetic and technical performance characterization (Pappalettere, Casavola and Pappalettera, 2014).*

*The rational basis of the research highlights one of the needs of innovation that unites companies in the stone industry of Puglia: recycle the many waste/scrap processing in order to obtain new products in recomposed stone, characterized by aesthetic performance and innovative techniques. At present, processing sludge is defined as 'special waste' to be sent to landfill, with the associated costs and the resulting environmental impact (Morgante, 2013): they are sawdust sludge originated during the removal of material from stone blocks, a process that takes place wet for technical and safety reasons. The main cultural implication that is claimed is that the development of materials from 'non-renewable' natural sources such as stone, through the re-use of mud processing, in addition to obeying the increasingly stringent requirements of environmental sustainability (Vezzoli, 2016), would introduce in the field of product design and furniture the novelty of a material referable to the territory of origin, able to activate the recognition and self-recognition of the user in the face of a material culture related to the stone industry.*

*The general objective of the study was the development of an agglomerated material using at least 50% stone waste, and the definition of the characteristics of a new class of products. Product innovation is understood in the versatility of use in different production processes, both additive and subtractive (moulded / for slabs / for workable blocks). The reuse of waste from processing will result in lower consumption of stone and therefore less extraction activity, inducing virtuous processes in a production chain that is currently polluting, for the consumption of grey energy, for the transfer of waste to landfill, etc.. In order to demonstrate the research hypotheses from the point of view of product design, the contribution describes a series*

of demonstrators, including slabs and some lighting products, designed by the authors. Among the main aesthetic innovations introduced, reference is made to the qualities of transparency of the recomposed material, capable of revealing greater or lesser opacity when crossed by beams of light, and of reconstituting the natural homogeneity of opaque stone when the light exposure ceases. The lighting devices design supports this aspect by defining programmed variations in the composition of the material.

In conclusion, the results of this research and its possible effects on the relevant industrial sectors are discussed; the possible long-term outcomes are that: technologies in the digital environment will make the production process more eco-sustainable; research in the field of design of recomposed stone material will give rise to the emergence of a class of artifacts increasingly related to the territories of reference, both from an aesthetic point of view and with regard to the socio-cultural implications.

Research framework and state of the art – The experimentation illustrated in this paper was initiated as part of the MAIND<sup>1</sup> research project (Eco-innovative materials and advanced technologies for the manufacturing and construction industries) carried out between 2013 and 2018, in which the Politecnico di Bari played a significant role in the characterization of new materials and products. Specifically, the implementation objective to which reference is made concerned the definition of aesthetic and perceptual-sensory specifications of polymeric and composite materials from renewable sources, with reference to the field of use of the furniture. The results obtained in this first phase have laid the foundations for the continuation of the research, formalizing in the project RESTONED<sup>2</sup>, which frames the focus of the investigation on the development of new composite materials based on nature, on the reuse of stone dust. The experimental phase was supported by companies from the Apulian territory, in particular by Pimar, as regards materials and expertise in the stone sector, and by Marmoplast, for the chemical-industrial sector relating to resins.

The vocation of the Apulian territory in the processes of extraction and processing of stone for cutting has determined the development of a flourishing district in the stone industry, counting many small and medium-sized companies, and therefore with relevance in the regional economy<sup>3</sup> but also nationally: with an extraction of about one and a half million tons of raw material Puglia is the second Italian region, preceded only by Tuscany (Fig. 1). The mining activity produces material mainly addressed to the construction sector; environmental recomposition, chemical and furniture (Puglia Region, 2009). The environmental problem has not left this production sector unharmed: today the phases of extraction, cutting and processing of natural stone involve a substantial production of waste and scrap production, with a very different geometric and morphological characterization, due to the unique peculiarities of the various processing phases (Fig. 2). In order to meet the impending need for eco-sustainability, made more stringent by the nature of the environmental system linked to quarries, which is not renewable in quantifiable time, the Regional Busi-

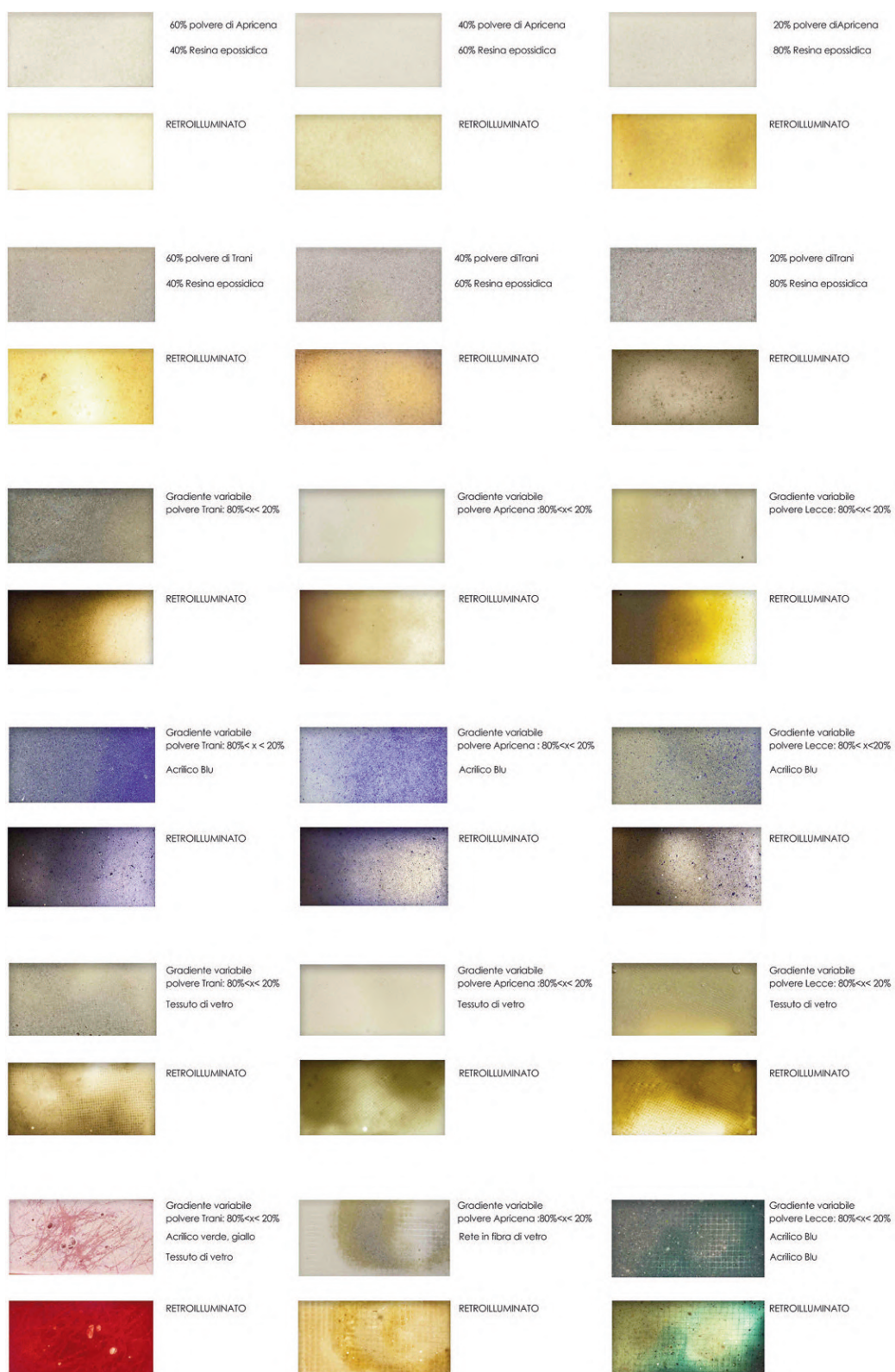


Fig. 9, 10 - Translucency test environment (credit: V. Lorusso, 2017); Effects obtained on specimens in natural light and backlit.

ness Plan has encouraged the development and modernization of systems and processes in the stone industry, finalizing it to the recovery of waste from quarries and processing.

For some time now, stone waste has characterised the contemporary design scene in experiments aimed at enhancing the formal and aesthetic qualities of stone residues, in particular slabs and small blocks (Pavan, 2007), which take on new configurations after cutting or milling, transforming themselves into products and furnishing accessories (Badalucco and Casarotto, 2018). Commonly, however, these residues are crushed and reduced to aggregates, grits and dust, which constitute the stone in the composition of cement and brick, or can be regrouped together, through binders, to create new material, the so-called re-composed stone. The nature of the binders determines the performance variables of the compound, in terms of strength and durability: inorganic, like Portland, or synthetic organic, like polyester resin, the matrix recomposes the stone fragments into a casting mass, which requires a mould to translate the material into material.

The field of application of reconstituted stone is, in particular, the world of cladding, flooring and worktops. Resins and powders are compacted to restore the monolithic nature of stone, in an attempt at mimesis, and transformed into slabs or blocks (Dal Buono, 2011). Okite, Marmoresina, Biopietra, Ecostone, Bretonstone Quartz, Swanson, are just a few of the trade names of specific stone grit-based composites. In the field of publications relating to reconstituted stone to be referred to product design, it should be noted that only a small number of significant contributions were made. More recently, on the other hand, there has been a mature focus on the use of stone agglomerates in the field of design, in innovative forms and principles. An example of this approach is given by Mi Zhang, a student at Central Saint Martins College of Art and Design, who in 2016 made a series of vases from stone dust from mining in Quyang Town, China. By mixing marble dust with local pine resin and natural pigments, Mi Zhang designed a strong and completely biodegradable material, thus contributing to the circular economy of his country (Figg. 3, 4).

Phases of the research – The research activities were carried out in the following phases: Desk 1, analysis of the state of the art with reference to the product and the stone material of re-composed nature with its areas of use for the tac and furniture; Desk 2, definition of the formal qualities of the material in relation to the interaction with natural and artificial lighting sources; Desk 3, concept development; Field 4, definition of alternatives (practical experiments); Field 5, evaluation and selection also through objective technical tests (with particular reference to translucency and mechanical resistance); Field 6, final synthesis, classification of concepts and physical prototypes produced (demonstrators).

With regard to the experiments (Field 4-6), the research refers to some instances of the User Centre Design Methods (Norman and Draper, 1986), as will be described below, which concern: the experiential and emotional involvement of the user and the definition of emotional artifacts (Norman, 2004); the iterativity of the experiments described

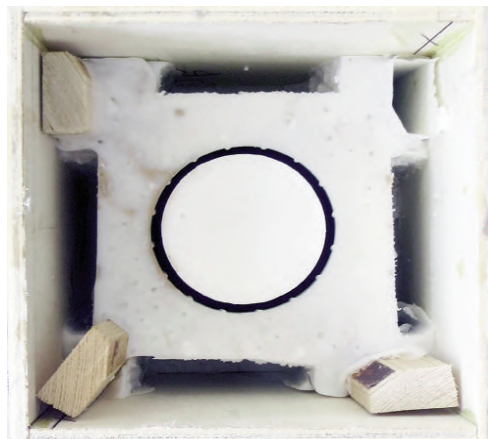


Fig. 11 - Resin and stone powder pouring, experimentation on balloon (credit: F. Valente, 2018).

Figg. 12, 13 - Positive Pla matrix obtained with a 3D printer; Silicone mould of the lamp (credits: F. Valente, 2018).

also as to allow the repeatability and scalability of the results; the multidisciplinary research team that includes the components of design, chemistry and mechanical engineering. The multidisciplinary approach of ReSTONED research is thus characterized by the coexistence of two main areas that illustrate, on the one hand, the conception of a new product, starting from the technical, performance and formal characteristics of the re-composed stone material, and, on the other hand, the technical characterization of the material with the appropriate instrumental verification tests, starting from a series of parameters that come

from the product concept (passive responsiveness of the material to lighting and the possibility of producing complex shapes for mould casting). In this way, the research aims to develop artifacts and lighting systems that consolidate a new 'sense' (Mangano, 2010) of stone material in relation to a new and unexpected behavior to light, enhancing the approach to innovation of meaning of artifacts (Verganti, 2011).

Description of the experiments – This section summarizes the results of the original part of the research, which led to the development of physical samples. In particular, reference is made to the phases Field 4 and 5, describing the process that led to the production of 35 samples of material, and the related technical tests of translucency and mechanical stress. The powders used for the experiments come from various Apulian extraction basins, such as Apricena, Trani and Lecce (Fig. 5). This aspect mainly affects the formal variations, based on the detection of the natural colour of the stone distinguishable in the different samples produced.

The resin used is epoxy type, in two different compositions<sup>4</sup>. The physical characteristics, colour and size of the powders from the various extraction basins have a significant impact on the nature of the samples produced. The variations introduced experimentally concern: 1) the percentage of powders used; 2) the addition of natural and/or acrylic pigments; 3) the thickness of the resin layer; 4) the type of mould used. The physical characterization phase of the tested composite materials (Field 5), was conducted at the Laboratory of mechanical tests of the DMMM Department of the Polytechnic of Bari. The tests described below were carried out.

1) Tensile verification of the material that has been broken. The instrumentation used consisted of a compact electromechanical load frame, type MTS, for monotonic tests, equipped with high resolution MTS digital controls for data acquisition. The samples produced for this test followed the standard dimensions and profiles for the type of analysis, measuring between 8x2 cm and 4-8 mm thick. A first test evaluated the performance of specimens made from Apricena marble powders, with varying percentages of charge: the results obtained show that there is no correlation between the concentration of powder used and mechanical properties. The specimen with the highest tensile strength at break is obtained with 60% powder, while the one with the lowest tensile strength at break is obtained with 70% (Fig. 6). This absence of correlation was also found in other studies, although the concentrations involved were lower than those presented.

An important aspect of the test is the value obtained at breakage voltage, which is still lower than expected for pure resin. The variability of the data obtained suggests that the test specimen production method has more marked effects on the mechanical properties than the chemical composition of the composite. Among the parameters used, in particular, it was decided to investigate whether the ageing of the sample has an effect on the properties themselves. To this end, a second set of tests was carried out on samples made on the same day. The data obtained confirm, in general, the deductions previously found, i.e. the influence of other construction parameters greater than the chemical

composition. The exploratory test on stone composites reinforced with glass fibres seems to indicate a higher breaking tension in this case.

A third test tested different powders. Eight samples were used for this test, with a percentage variation of the charges distributed as follows: 10% - 20% - 50% Trani powder; 10% - 20% - 50% Lecce powder; 25% Trani powder + 25% Lecce powder (thickness 8 mm); 25% Trani powder + 25% Lecce powder (thickness 4 mm). The distribution of the powders inside the resins has remained almost constant for the whole section of the sample. The instruments detected the trend of the curves, instant by instant, until the moment of breakage. The results show that the addition of powders results in a reduction in the breaking tension of the sample and therefore an improvement in the mechanical properties, when compared to the performance of pure resin (Fig. 7, 8).

2) Material translucency test. The results are obtained by evaluating the percentage ratio between the intensity of light absorbed by a sample and that which passes through it. The tests were carried out using special cylindrical specimens characterized by different concentrations of dust and binders. Placed in front of a projector equipped with coloured lenses, the samples were crossed by light beams of different spectral quality, white, red, green and blue light. A spectrophotometer connected to a software for comparing optical data, recorded for each emitted beam the radiations absorbed and released by the matter, giving back graphs (Fig. 9). To adjust the software, two samples were used, the one with the lowest and the highest concentration of dust available, in order to stabilize the initial value. The numerical data that the camera can record is between 0 and 255; the initial value obtained for the trial was 138.

The samples with differences in thickness or chromaticity, it was decided to detect the translucency of the sample at several points, those considered most significant. The results obtained showed that, for the same material, the values of transparency, opacity and translucency vary if the material is subjected to different radiations. The variation in the different samples tested is influenced by the quantity of charge, the type of stone and its grain, the thickness of the surface generated and the type of resin (Fig. 10). The specimen made with Apricena powders, for example, is

more translucent than the others, except for the test under green light radiation, whose values are completely annulled.

**Prototypes** – The production of the samples prototypes produced in the Field 4 phase and the evaluation of the technical performance associated with the Field 5 phase allowed the development of a physical demonstrator that would validate the quality of the material sought in relation to the behaviour of artificial lighting: an elongated lampshade that alludes to the truncated cone, marked in the external surface by 16 vertical grooves. It was decided to work on the evaluation of the behaviour of the casting material in a mould with complex geometry.

In fact, the preliminary laboratory tests described below show how the adhesion of the composite mass to the walls of the mould affects the formal quality of the final surfaces, with clear difficulties in cases where these do not lie on horizontal planes, but vertical or curved. The adhesion to the surface of the material was then facilitated by the addition of specific gels. The first formal tests were then carried out using inflatable balloons, on which the resin was applied by brush (Fig. 11). The results obtained have encouraged new tests, experimenting with alternative materials for the construction of moulds. The fluid nature of the resin allows it to take on even complex shapes, for which silicone moulds of the desired shape have been made, suitable for pouring the composite and for easily removing it from the mould. The silicone rubber, liquid or in paste, is in fact a product that lends itself perfectly to the described purpose: it is endowed with high performances of elasticity, that helps in the draft of undercuts also relevant; it presents excellent qualities of anti adhesion, avoiding phenomena of attachment of the composite on the wall; it assures fidelity of reproduction of the model.

Digital manufacturing supported the final demonstrator and the related moulding phase, through the construction of the positive PLA matrix, obtained with 3D printing for filament deposition, necessary for the definition of the silicone mould (Fig. 12, 13). After some tests to verify the quality of the silicone mould, carried out in small samples (Fig. 14, 15), the final product with a complex geometry was conceived. The lampshade

reveals the property of the recomposed material to react to the backlighting, showing a luminous gradient associated with the different percentage of dust distributed along the entire surface. The formal characteristics of the material, in the absence of lighting, are homogeneous with respect to both colour and opacity. The backlighting completely changes the perception of the material that appears more opaque at the base at the light source and more transparent at the top. (Fig. 16, 17). Finally, the good behaviour of the resin and stone dust casting mass at the geometry of the demonstrator represents a potentiality of the material at the state of the art that has not yet been verified: in fact, the reconstituted stone products are currently mainly made in the form of slabs or blocks.

**Conclusions** – The use of epoxy resins for the development of the samples produced represents a start-up phase of the study, in accordance with the needs of Marmoplast's business partner. A second phase of the study will enhance the potential to have a positive impact on environmental sustainability through a new recomposed material, which will not only recover the stone processing 'waste', but will also use bio-based matrix resins. In the last decade, in fact, the efforts of academic and industrial research have focused on the production of 'bio-based' polymeric materials, defined as such because they originate from renewable raw materials and are compatible with the environment.<sup>5</sup>

ReSTONED is therefore part of the state of the art in sustainable materials, both in terms of production dynamics and in terms of the ecological characteristics of the material from non-renewable sources, used in its form of 'special waste', or 'processing mud'. In fact, much research in this field focuses on the processes and materials to be used for building and interior applications (Almeida, Branco and Santos, 2007; Giorgi, Lavagna and Campioli, 2017). ReSTONED, on the other hand, aims to put in place a dynamic system for exploiting stone waste in order to achieve a positive impact on the complex balance of the ecosystem that has to do with land consumption and with the exploitation of the circular economy (ISPRA, 2016). In addition, the research aims to identify a field of use for the material for the industrial product.

The scalability of the research to the industrial fields of application is open, and in this the pro-



Fig. 14, 15 - Silicone mould and composite samples obtained (credits: F. Valente, 2018).



Figg. 16, 17 - Experimentation with a composite lamp obtained with a silicone mould, with a natural light effect and backlit (credits: F. Valente, 2018).

posed study has the limits of an experimentation conducted 'by hand' in reference to the techniques of incorporation of stone particles with the binding resins used. However, the methodological rigour that distinguishes all the steps, from experimentation to technical and performance verification, makes possible the scalability of the results and the transition to experimentation in a strictly industrial context. Among the expected effects, the project aims to enhance the socio-cultural context in which the extraction and processing of stone is aimed at a redefinition of the artifacts that will come to life from the waste material, able to induce a dynamic identity of a material referred to territorially.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the introductory paragraph, 'Phases of research' and 'Conclusions' are to be attributed to A. Di Roma, the paragraphs 'Framework of research and state of the art' and 'Description of the experimentation' is to be attributed to A. Scarcelli, the paragraph 'Demonstrators' is to be attributed to V. Minenna.

#### NOTES

1) The MAIND (MATERIALI eco-innovativi e tecnologie avanzate per l'INDustria manifatturiera e delle costruzioni) is a research project presented pursuant to the Decreto Direttoriale n. 713/Ric. del 29 ottobre 2010 – Titolo III Creazione di nuovi Distretti e/o nuove Aggregazioni Pubblico-Private, PON03\_00119, Programma Operativo Nazionale 'Ricerca e competitività' (R&C) 2007-2013. Axis I (6.000.000) 'Support to structural changes – High technology districts and related networks and public-private laboratories and related networks'. Implementing body and partners involved: Consorzio CETMA, University of Bari, Politecnico di Bari Natuzzi S.p.a., Base Protection S.r.l. Telcom S.p.a. Scientific coordinator of the project: Prof. A. Maffezzoli; scientific coordinator of the Research Unit of the Politecnico di Bari: R. Carullo. For the Polytechnic Unit, the amount of research funded was 348,000.00 euros.

2) The ReSTONED research project was carried out by the research group coordinated by Prof. A. Di Roma and made up of: Dr. A. Scarcelli, Dr. V. Minenna, Dr. G. Pappalettera, Dr. V. Lorusso, in collaboration with the companies Pimar srl, Marmoplast srl, Dalia Stone Design, Marmi Strada, Romagno Marmi, Ruggiero Marmi.

3) Some numbers that support the role of the stone district in the region: 480 companies active in extraction, 960 engaged in processing, more than 2,000 employees in the quarries, other 5,000 employees in processing, which includes sawmills and processing plants. According to the analysis of the Sector, the total turnover of the induced industries exceeds 1 billion euros.

4) The resins used are: Vitrox-Varnish Vv500-T Transparent, a two-component epoxy product characterized by a part A, a medium viscosity liquid epoxy resin that does not crystallize at low temperatures, and a part B, a medium reactivity hardener, light colour, not yellowing with good chemical resistance characteristics; Epoxite Pf300-T, a two-component epoxy product in water emulsion, transparent and multifunctional, resistant to abrasion and chemical substances.

5) Raw materials include starch, cellulose, lignin, furans, terpenes, natural rubber, waxes, vegetable oils, proteins.

#### REFERENCES

Almeida, N., Branco, F. and Santos, R. J. (2007), "Recycling of stone slurry in industrial activities: Application to concrete mixtures", in *Building and Environment*, vol. 42, pp. 810-819.

Andrews, D. (2015), "The circular economy, design thinking and education for sustainability", in *Local Economy*, vol. 30, issue 3, pp. 305-315.

Badalucco, L. and Casarotto, L. (2018), "Dallo scarto al valore", in *MD Journal | Stone Design*, vol. 6, pp. 130-141.

Commissione Europea (2015), *Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth*, Brussels.

Commissione Europea (2015), *COM 614 L'anello mancante: piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare*, Brussels.

Commissione Europea (2014), *COM 398 Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti*, Brussels.

Commissione Europea (2014), *Where next for the European bioeconomy?*, Directorate-General for Research and Innovation, Brussels.

Dal Buono, V. (2011), *Pietre D'Artificio. Materiali per l'Architettura tra mimesi e invenzione*, Lulu, Roma.

Follesa, S. (2013), *Design & identità. Progettare per i luoghi*, Franco Angeli, Firenze.

Forlani, M. C. (2010), *Cultura tecnologica e progetto sostenibile*, Alinea, Firenze.

Giorgi, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2017), "Economia circolare, gestione dei rifiuti e life cycle thinking: fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte", in *Ingegneria dell'ambiente*, vol. 4, n. 3, pp. 263-276.

ISPRA (2016), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*, Edizione 2016, Rapporto 248/2016.

ICESP – Italian Circular Economy Stakeholder Platform (2018), *Charter of the Italian way for circular economy*. [Online] Available at: [http://www.pvcforum.it/wp-content/uploads/2019/03/CARTA\\_ICESP.pdf](http://www.pvcforum.it/wp-content/uploads/2019/03/CARTA_ICESP.pdf) [Accessed 8 April 2019].

Mangano, D. (2010), *Archeologia del contemporaneo. Socio semiotica degli oggetti quotidiani*, Edizioni Nuova Cultura, Roma.

Morgante, A. (2013), *Dai sistemi produttivi tradizionali ai sistemi produttivi avanzati*, Maggioli, Rimini.

Norman, D. (2004), *Emotional Design*, Apogeo, Milano.

Norman, D. and Draper, S. (1986), *User centered system*

*design*, Lorence Elbrown Ass., Broadway.

Pappalettera, C., Casavola, C. and Pappalettera, G. (2014), "New approaches to mechanical characterized innovative materials", in Di Sciascio, E., Castorani, A., Nuzzo, S., Andria, G., Monno, G., Camarda, P. and D'Amato Guerrieri, C. (eds), *La Ricerca nel Politecnico di Bari: Resoconto Generale 2014*, vol. 1, Gangemi, Roma, pag. 245-255.

Pavan, V. (2007), *Creativi frammenti. Gli scarti della pietra da problema a risorsa*, Associazione culturale e Parco Regionale dell'Appia Antica, Roma.

Regione Puglia (2009), *Atlante contemporaneo dei marmi e delle pietre di Puglia. Cave, materiali, architettura*, Bari.

Verganti, R. (2011), *Design-Driven Innovation. Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*, Rizzoli, Milano.

Vezzoli, C. (2016), *Design di prodotto per la sostenibilità ambientale*, Zanichelli, Bologna.

<sup>a</sup> ANNALISA DI ROMA, Architect and PhD, she is Associate Professor in Industrial Design at the Polytechnic of Bari (Italy), specializing in Design and Digital Manufacturing. At the centre of her research interests is the contemporary material culture of design, focused on product innovation in the context of advanced industrial standards, with a focus on the sustainability of processes, products and materials. She is the scientific coordinator of the Design Kind laboratory. Mob. +39 339/74.00.607. E-mail: [annalisa.diroma@poliba.it](mailto:annalisa.diroma@poliba.it)

<sup>b</sup> ALESSANDRA SCARCELLI, Architect and PhD, she is a research fellow and contract Professor of Industrial Design at the Polytechnic of Bari (Italy). She is specialized in Lighting Design. The current research area combines the transversal areas of product design and information design, with particular reference to the socio-cultural aspects. Mob. +39 328/97.80.297. E-mail: [alessandra.scarcelli@poliba.it](mailto:alessandra.scarcelli@poliba.it)

<sup>c</sup> VINCENZO MINENNA, Architect and PhD, he is a research fellow and contract Professor of Industrial Design at the Polytechnic of Bari (Italy). He is specialized in building systems and stone products. He deals with parametric design and digital manufacturing processes. Mob. +39 320/04.04.213. E-mail: [vincenzo.minenna@poliba.it](mailto:vincenzo.minenna@poliba.it)





