

## 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

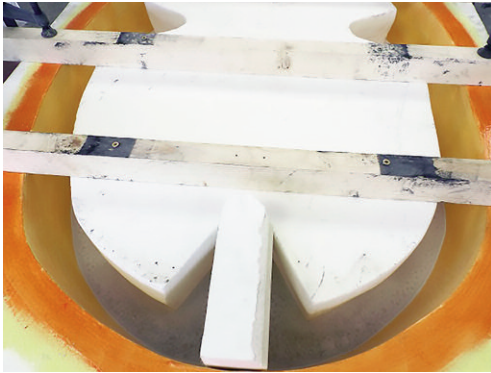


Fig. 1, 2 - Flowstone, UHPC, public art: Priming and preparation of the mould; Formwork surface unfinished (credits: R. Maspoli, 2015).

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, 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 (Figs. 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 (Figs. 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.icevirtuallibrary.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.

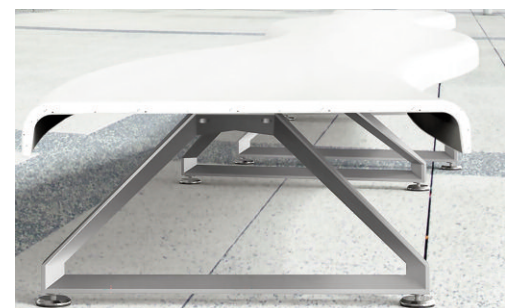
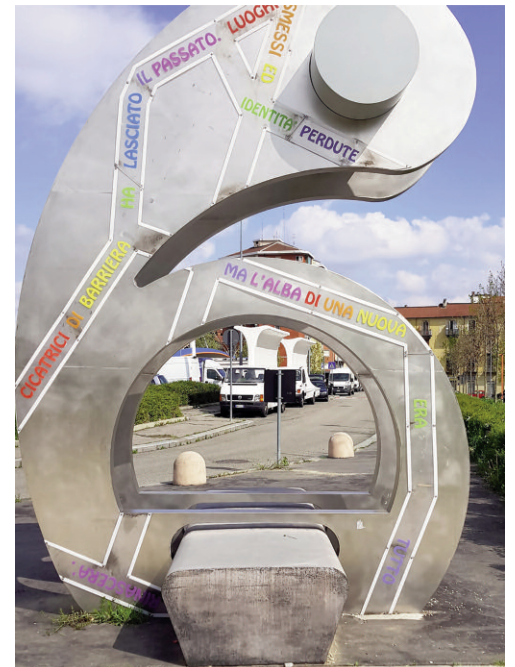


Fig. 10 - Nanodur, urban furniture bench made of UHPC: colour variation, uniform patina, carbonation (operating life: 2019); Parco Mennea, Turin (credit: R. Maspoli, 2019).

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).



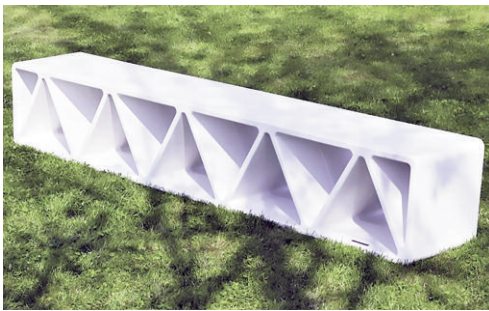


Fig. 13 - Alba, manufactured by BELLITALIA. Urban furniture benches made of uncoated, extremely thin-section Ultratense UHPC (credit: BELLITALIA).

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)