

GIOCARE SERIAMENTE PER CRESCERE DIGITALI

Ridurre gli sprechi con il Lean mindset

SERIOUS GAMING FOR DIGITAL GROWTH

Reducing waste through the Lean mindset

Maria Antonietta Esposito, Filippo Bosi, Caterina Ferraro

ABSTRACT

La spinta data dal contesto italiano verso il BIM dovrebbe essere considerata un'opportunità per attuare una transizione digitale verso l'uso degli strumenti informatici con un approccio culturalmente innovativo nelle Costruzioni offerto dal Lean thinking, e in particolare dalla sua gamificazione. L'approccio Lean sfrutta alcune strategie collaudate per aumentare la qualità del processo produttivo. Tuttavia, la sua applicazione risulta ancora essere difficoltosa: da qui deriva l'esigenza di veicolare proposte efficaci che sfruttino la struttura dei giochi per proporre delle vere e proprie 'simulazioni' del processo produttivo. Il contributo mira a evidenziare come l'applicazione gamificata dei processi Lean costituisca una formula trasformativa abilitante la digitalizzazione, per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità nell'Industria AECO, attraverso approcci formativi originali.

The Italian context's push towards BIM should be considered an opportunity to implement a digital transition towards the use of IT tools, through a culturally innovative approach to construction provided by Lean thinking and its gamification. The Lean approach leverages proven strategies to increase the quality of the production process. However, its application is still difficult: hence the need to convey effective proposals that use the structure of games to present actual 'simulations' of the production process. This paper aims to highlight how the gamified application of Lean processes constitutes a transformative formula enabling digitalisation, to achieve sustainability goals in the AECO Industry through original training approaches.

KEYWORDS

gestione del progetto, BIM, giochi seri, mentalità Lean, gamification

project management, BIM, serious games, Lean mindset, gamification

Maria Antonietta Esposito, Architect and PhD, is a Full Professor acting as Associate Professor at the Department of Architecture, University of Florence (Italy). Recipient of the PUT Gold Medal (Poznan University of Technology) 2019 for technological research and of the Canada-Italy Award for Innovation 2019, her research mainly focuses on project management and technologies for the Green terminal, IPD, BIM methodologies. Mob. +39 333/566.30.83 | E-mail: mariaantonietta.esposito@unifi.it

Filippo Bosi, PhD, is an Architect at Toscana Aeroporti SpA (Italy) and Toscana Aeroporti Engineering as an expert in Airport Terminal Design. His research activities are primarily focused on Project Management and the integration of Lean Management and Lean Design methodologies in project processes. Mob. +39 328/002.56.94 | E-mail: filippo.bosi@unifi.it

Caterina Ferraro, Architect, is a PhD Candidate holding a PON industrial grant in Sustainability and Innovation for the Design of Built Environment and System Product at the Department of Architecture, University of Florence (Italy). She carries out research activities mainly in the field of physical and digital architectural solutions through computerised BIM systems combined with the use of Lean strategies. Mob. +39 346/408.51.18 | E-mail: caterina.ferraro@unifi.it



La transizione digitale dell'Industria delle Costruzioni è avanzata in tutta Europa per la spinta regolatoria delle direttive EU¹, mentre in Italia sta accadendo lo stesso grazie ai recepimenti derivati dai D.M. 560/2017² e D.M. 312/2021³; secondo le recenti disposizioni sulle metodologie BIM del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti⁴ si prevede che entro il 2025 le opere pubbliche di importo pari o superiore al milione di euro debbano essere sviluppati in digitale con metodologie BIM. Tuttavia, il settore costruzioni, soprattutto nel contesto italiano, maggiormente caratterizzato dalla presenza di piccole-medie imprese sottocapitalizzate, fa fatica a investire per adeguarsi alle metodologie innovative (Charef et alii, 2019). Inoltre, non essendo stato pubblicato il Nuovo Regolamento per l'applicazione del Codice degli Appalti, ci si continua a riferire al vecchio Regolamento 207/2010⁵ e al c.d. Decreto Sblocca Cantieri⁶ che prevede un approccio 'non legislativo' secondo le linee guida delle Autorità competenti (ad esempio quelle dell'Agenzia Nazionale Anti Corruzione – ANAC)⁷, privilegiando di fatto gli aspetti giuridici di contrasto alla corruzione rispetto a quelli culturali e tecnici essenziali per la digitalizzazione.

Le metodologie e gli strumenti oggi disponibili consentono di controllare numerosi aspetti del progetto architettonico (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Oesterreich and Teuteberg, 2019), come la valutazione della risposta degli utenti mediante simulazioni (Kuliga et alii, 2015; Stocking, 2016; Tagliabue et alii, 2021) e la gestione del patrimonio e della manutenzione dell'edificio nell'intero ciclo di servizio (Iadanza et alii, 2015; Torricelli, 2019). In tutti i casi si ottiene una notevole riduzione degli errori progettuali o costruttivi e la possibilità di operare in termini di gestione della qualità del prodotto finale.

In quest'ottica il contributo si focalizza sul Lean mindset e la sua gamificazione e discute il rapporto tra le metodologie trasformatrici Lean e BIM per il raggiungimento degli obiettivi di digitalizzazione del progetto nel settore AECO (Architecture, Engineering, Construction and Operation). Si evidenzia, infatti, la necessità di un cambiamento di paradigma basato su un diverso approccio culturale all'innovazione digitale, tramite modalità di formazione con simulazioni ludico-didattiche, che potrebbero essere introdotte per facilitare la trasformazione digitale.

Nella prima sezione dell'intervento si ricordano i principali obiettivi dell'approccio Lean; poi vengono riportati dei casi che utilizzano gli strumenti digitali in ottica 'olistica' e orientata a un flusso lavorativo non tradizionale. A seguire si descrive una simulazione didattica che utilizza i LEGO[®] come strumento per l'applicazione di due flussi di lavoro, uno tradizionale e uno Lean-oriented; infine si discutono i vantaggi e le criticità di un'applicazione di processi produttivi gamificati e si riporta un'analisi critica nelle riflessioni finali. L'obiettivo del contributo è fornire una visione alternativa della formazione degli operatori del settore per raggiungere un diverso modo di intendere e vivere l'Industria AECO.

BIM e Lean mindset nei settori AECO | Il BIM, in sinergia con un'organizzazione Lean-oriented nei settori AECO, può supportare il raggiungimento di obiettivi nel campo della sostenibilità. In pri-

mis, evitando errori e quindi rilavorazioni, consente risparmi in termini di costi dell'opera finita, di quantità di materiale impiegato, di manutenzione durante il ciclo di servizio, di tempi e di risorse umane, aumenta la precisione delle informazioni del progetto, il controllo e la gestibilità di queste informazioni per operazioni di manutenzione, analisi e verifica (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Figg. 1-3). Ad esempio, nella Struttura Ospedaliera di Careggi di Firenze è stato implementato un sistema basato su BIM e GIS per ottenere un consistente risparmio energetico nella gestione dell'edificio (Iadanza et alii, 2015). L'uso di 'gemelli digitali', cioè di modelli che riproducano non solo dal punto di vista geometrico, ma anche informativo e prestazionale un oggetto esistente, si può applicare a una notevole varietà di manufatti e nel caso degli Ospedali in particolare, consente una visione 'olistica', cruciale per una gestione efficiente di un edificio tanto complesso.

Nel caso del Careggi, infatti, attraverso un sistema di gestione intranet chiamato SACS, è possibile visualizzare l'intero complesso di edifici e ottenere informazioni dai vari reparti. Il sistema, che si basa su piante vettoriali caricate nell'applicativo, ma che successivamente ha ottenuto un aggiornamento con modelli tridimensionali realizzati con i software Archicad e Revit, è in grado di fornire indicazioni sull'uso, sulle attrezzature e sugli occupanti di una stanza all'interno di un reparto. Questa organizzazione delle informazioni consente così di avere sotto controllo numerose variabili e di ottenere indicazioni spaziali e logistiche utili per lo svolgimento delle operazioni quotidiane di gestione. Il sistema implica una massiccia 'dose' di programmazione, di interoperabilità tra sistemi e di migliorata collaborazione tra tutti gli addetti, che siano essi incaricati alla gestione del software o operatori sanitari.

Gli strumenti BIM consentono di gestire la complessità, come nel caso della generazione parametrica (Figg. 4, 5), di diverse soluzioni (Ridolfi and Saberi, 2019) metodo largamente utilizzato all'interno dello ZHCODE – Zaha Hadid Computation and Design Group. Secondo Bhooshan (2017), che riporta numerosi casi studio nell'ambito dello ZHCODE, la capacità computazionale degli strumenti digitali è in grado di fornire molteplici soluzioni partendo da un input progettuale di base. La combinazione di algoritmi derivati da metodi matematici di calcolo – come il Force Density Method e il Thrust Network Analysis – consente di ricavare modelli 3D di strutture che resistono ai carichi esterni solo grazie agli stress tensionali interni oppure che danno come risultato soluzioni a sola compressione. Un modello semplificato di sole superfici (mesh) può essere elaborato da questi algoritmi specifici che suggeriscono nuove forme e indicano nuovi schemi strutturali, aggiungendo, di volta in volta, secondo parametri identificati dal progettista, nuove soluzioni che pongono l'accento sulla qualità energetica dell'edificio o sulla sua disposizione interna.

Questa capacità operativa può essere sfruttata solo con una adeguata implementazione di algoritmi e processi decisionali. Di conseguenza, alle molteplici possibilità operative che si prospettano con l'uso del BIM puro, bisogna comunque associare un approccio collaborativo integrato (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Lauria and Azzalin, 2019) il quale prevede un cambio di pa-

radigma, passando da un tipo di produzione tradizionale e di stampo individualistico a un tipo di produzione più 'snella' che preveda l'interoperabilità, non solo tra sistemi, ma anche tra persone: questa collaborazione stretta consentirebbe di ovviare a molteplici problemi decisionali, strategici e di condivisione delle conoscenze e di raggiungere gli obiettivi di sostenibilità richiesti dalle Nazioni Unite (UN, 2015; Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Maltese et alii, 2017; Sepasgozar et alii, 2021).

Mentalità Lean | Lo 'spreco' (Womack, Jones and Roos, 1990) è un concetto chiave nel dibattito sulla transizione digitale e sulla sua correlazione con il Lean mindset, metodologia e tecnologia trasformativa strettamente legata al BIM (Sacks et alii, 2010), e la cui applicazione è costituita da una serie di strategie (Cusumano, 1985; Powell et alii, 2014; Tzortzopoulos, Kagioglou and Koskela, 2020), già ampiamente indagate. Il Lean mindset, tuttavia, richiede un periodo di apprendimento e addestramento (Leal et alii, 2017; Oesterreich and Teuteberg, 2019; Sacks et alii, 2010) e che tutte le parti interessate ne condividano i principi: per ottenere questo obiettivo, uno dei metodi più innovativi ed efficaci sono le simulazioni didattiche 'gamificate' (Aqlan and Walters, 2017; Leal et alii, 2017; Yousefi and Mirkhezri, 2020). L'applicazione pratica di nozioni e concetti basata su simulazioni e giochi non è una novità, visto che persino il campo aeronautico e medico (Fig. 6) li impiegano, in ragione del loro consistente valore educativo (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010; Beltrami, 2017).

L'utilizzo di un approccio che 'mostra' come funzionano le cose – e i concetti – è vantaggioso per la loro migliore comprensione (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010). Sia Per Backlund e Maurice Hendrix (2013) sia Giorgio Beltrami (2017) riportano che i giochi o le 'simulazioni gamificate' potrebbero essere redditizi per l'apprendimento di nuovi strumenti. Dal punto di vista dell'Industria AECO, i casi di 'simulazione gamificata' sono numerosi (Aqlan and Walters, 2017). Essi sono congegnati per comprendere meglio le strategie e i processi Lean, dando un riscontro immediato sui loro benefici agli allievi (Figg. 7, 8).

Un esempio in questo senso, svolto nell'ambito dell'Università degli Studi di Firenze, consisteva nel costruire, con l'aiuto di mattoncini LEGO[®], di diversi colori, una serie di edifici (Figg. 9, 10), i cui requisiti erano precedentemente definiti da schede di istruzioni. Ogni componente edilizio dell'abitazione aveva un colore diverso, associando, ad esempio, i mattoncini blu ai pavimenti, quelli rossi ai muri, i gialli agli impianti e i verdi alle coperture. Un piano di lavoro veniva quindi diviso in postazioni, ognuna delle quali doveva portare a termine la costruzione di quattro edifici. Le postazioni in totale erano 6, per un totale di 24 'unità'. La simulazione prevedeva quindi una divisione in due fasi: nella prima, veniva applicato un processo di produzione così detto 'tradizionale', nella seconda un processo di produzione Lean-based, entrambe con una durata prestabilita, che rispondeva a una ipotetica 'data di consegna'.

Il processo di produzione 'tradizionale' vedeva i partecipanti divisi in tanti gruppi quanti erano i componenti che costituivano l'edificio: un parte-

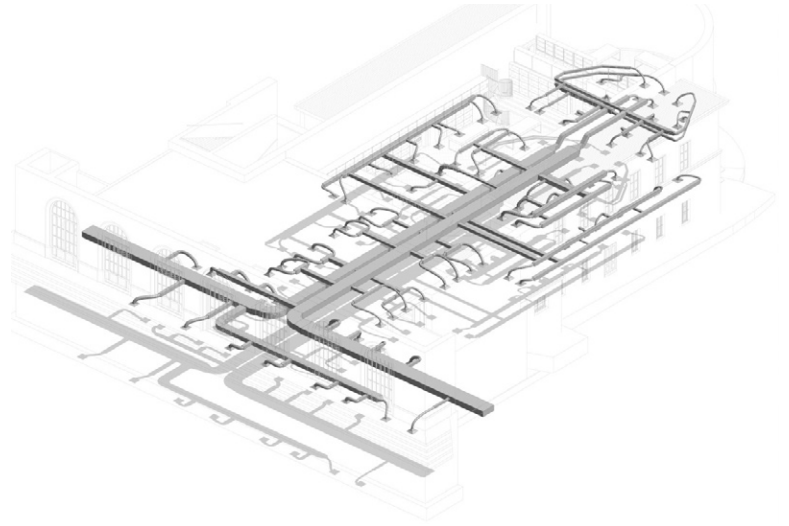
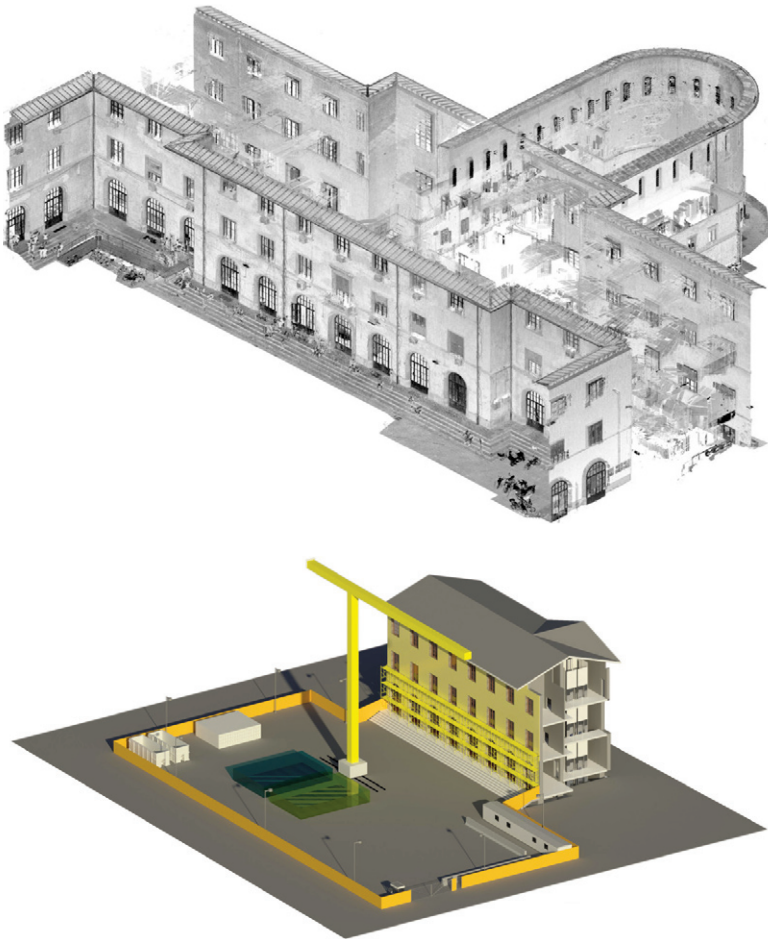


Fig. 1 | Example of point cloud: Complesso di Santa Marta, Faculty of Engineering, University of Florence (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

Fig. 2 | Model of the installations of a portion of the Complesso di Santa Marta (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

Fig. 3 | Construction site model for the Complesso di Santa Marta (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

cipante si occupava quindi dei pavimenti, un altro dei muri e così via. Prima dell'inizio della simulazione venivano definiti tutti i ruoli fondamentali per lo sviluppo del processo produttivo: il manager e il cliente si occupavano di fornire ai vari operatori le istruzioni di costruzione, consegnandole alle postazioni di lavoro, la 'gru' si occupava dei materiali da costruzione – i mattoncini – da dare agli operatori che ne facessero richiesta, infine il controllo qualità si occupava di cronometrare ciascuna fase, segnando tempi di consegna, numero di edifici completati e numero di errori riscontrati nelle 'unità' ultimate. La registrazione video della sessione, unita alla compilazione dell'opportuna tabella di dati, ha consentito il calcolo delle prestazioni per la prima e per la seconda fase.

Nella prima fase che sviluppava un processo costruttivo 'tradizionale' erano in essere alcune regole aggiuntive: i mattoncini potevano essere spostati, se necessario, da una postazione di lavoro a un'altra unicamente dalla gru e ogni operatore non poteva operare sui mattoncini che non erano di sua diretta competenza. Ad esempio, se era necessario cambiare la configurazione dei muri, ma erano già in sede impianti e coperture, l'operatore che si occupava delle partizioni doveva aspettare che i colleghi togliessero coperture e impianti. Inoltre il fatto che gli operatori non potessero spostare risorse da una postazione di lavoro a un'altra voleva dire aspettare la figura detta 'gru'. Una volta partita la catena produttiva gli operatori che si occupavano dei pavimenti iniziavano a sistemare i mattoncini necessari per ciascuna postazione, richiedendo i materiali necessari alla 'gru'. Appena conclusa l'operazione, lasciavano in carico il lavoro agli operatori delle par-

tizioni, i quali a loro volta passavano l'incarico agli impianti e così via.

Tuttavia, ad un certo punto durante lo svolgimento, il manager e il cliente concordavano varianti di progetto per alcuni edifici. Gli operatori, quindi, dovevano tornare sugli edifici già completati per modificarli, con notevoli ritardi, sovrapposizioni e confusione, poiché parte delle risorse dovevano essere manipolate dalla 'gru'. Una volta concluso il tempo stabilito per la prima fase e ristabiliti i materiali come erano all'inizio, si passava allo svolgimento della seconda fase. Quest'ultima, Lean-based, prevedeva gli stessi presupposti della linea di produzione tradizionale, ma con alcune modifiche: gli operatori non erano più divisi in base ai sub-sistemi edilizi, ma avevano in carico una singola postazione, completando gli edifici ad essa associati in tutte le loro parti; inoltre, potevano passare risorse ai colleghi delle postazioni adiacenti, senza attendere la gru. Infine, gli operatori non iniziavano a costruire immediatamente, ma solo dopo aver ricevuto la 'variante' in corso d'opera.

Il confronto dei dati tra la prima linea di produzione e la seconda ha dimostrato come il processo tradizionale avesse tempi dilatati rispetto al processo Lean-based il quale, modificato per essere un processo ottimizzato, era composto da attività che contribuivano integralmente al valore finale del prodotto. Nel primo caso, quello del processo produttivo tradizionale, infatti, gli obiettivi di costruzione non sono stati raggiunti, poiché alcuni edifici non sono stati completati e altri non corrispondevano alle istruzioni, nel secondo, invece, tutti gli edifici sono stati realizzati e non presentavano errori.

Durante la pandemia da Covid-19, per via della inapplicabilità della simulazione in presenza, si è reso necessario provare una simulazione riadattata (Figg. 11, 12) all'ambiente digitale, sulla base della precedente, mantenendo di fatto quindi il flusso di lavoro di tipo 'tradizionale' e 'Lean', le 'istruzioni' di costruzione e una 'postazione' di lavoro all'interno di un file. Questa simulazione svolta in remoto ha confermato i risultati della simulazione in presenza. I dati raccolti durante la simulazione sono stati inseriti in opportune tabelle di calcolo tratte dal lavoro di Raphael Sacks et alii (2010), impiegate anche per il calcolo delle prestazioni per la simulazione in presenza, consentendo di valutare numericamente quanto un processo 'snello' fosse superiore rispetto a quello tradizionale (Figg. 13-15).

In particolare è emerso come il metodo Lean, rispetto al metodo tradizionale, consentisse un risparmio di tempo di circa il 50%, avesse un fattore produttivo molto più elevato – ovvero la quantità di unità al minuto prodotte era significativamente maggiore – e la quantità di tempo dedicata al completamento di ogni sua singola fase produttiva fosse minore rispetto al metodo tradizionale. Gli elementi a sostegno dei processi basati sul Lean ci spingono a ritenere che questo approccio sia il più valido da impiegare nel futuro del settore AECO e di poterlo fare evolvere in un sistema dinamico e flessibile di 'simulazioni gamificate'. Tuttavia, tali simulazioni non sono, ovviamente, prive di criticità: prima di tutto la tenuta del calcolo delle prestazioni, il quale deve essere effettuato in modo rigoroso per poter essere determinante e significativo; in secondo luogo la presenza attiva, consapevole e

motivata di molti partecipanti perché possa essere efficace.

In conclusione le simulazioni in ambito Lean e BIM potrebbero essere un ottimo aiuto per la formazione e l'addestramento di figure del settore, ma devono essere sostenute da un contesto e da una motivazione adeguati. Anche se di fatto esistono workshop mirati al team-work e alla diffusione della conoscenza, essi sono spesso carenti dal punto di vista del coinvolgimento, inficiando la permanenza delle conoscenze acquisite. L'esempio mostrato e altre simulazioni sono progettate per ovviare a questa problematica. La proposta è, quindi, impiegare un approccio metodologico originale, diverso e più avanzato nei settori AECO, ragionando non più solo in termini di qualità intrinseca del prodotto, ma in termini di efficienza dell'intero processo.

Discussione | Nonostante le premesse incoraggianti che emergono dagli studi e dal dibattito internazionale, la metodologia e gli strumenti BIM risultano ancora poco applicati nel contesto italiano (Charef et alii, 2019). Oltre alla necessità di avere una formazione specifica per utilizzare gli strumenti, sarebbe necessaria una Cultura tecnologica capace di supportare l'approccio allo strumento, non solo regolato da standard tecnici ma anche di processo (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018). Il settore scientifico disciplinare e le comunità internazionali collegate andrebbero sensibilizzate sull'urgente esigenza di impiegare un approccio sistemico adeguato e abilitante per la prassi digitale ormai pervasiva.

Per tale finalità tutti gli attori coinvolti nei settori AECO dovrebbero condividere una visione comune che valuti la formazione dei singoli operatori come un aspetto centrale (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018), la quale deve avvenire anche sugli aspetti sociotecnici a carattere organizzativo e di processo, proprio tramite le simulazioni didattiche descritte precedentemente. Il principale vantaggio di una simulazione Lean nell'ambito del settore AECO è quello di valutare i flussi di lavoro in un'ottica più ampia e di poter comprendere appieno la differenza tra una modalità di lavoro e un'altra,

consentendo una scelta oculata e consapevole dell'alternativa migliore.

Le principali criticità, tuttavia, si possono riscontrare non solo nel consistente dispendio di risorse verso la formazione di figure centrali nell'utilizzo sia del BIM sia dei processi Lean, ma anche nell'elaborare e far applicare queste simulazioni ai settori interessati, implicando di fatto la formazione di figure esperte dedicate allo sviluppo di simulazioni gamificate efficaci e trasversali. Tuttavia, dover convogliare notevoli investimenti sulla formazione continua e sul miglioramento costante di tecnologia e metodo potrebbe essere un'opportunità per ottenere progetti 'integrati' a tutti i livelli.

Riflessioni conclusive | In conclusione, risulta opportuno che si utilizzino nuove strategie anche nelle costruzioni, per la formazione, per l'aggiornamento professionale, per la realizzazione degli edifici, per la loro gestione e per lo sviluppo di flussi di lavoro alternativi. Le nuove strategie per la sostenibilità trarrebbero un notevole beneficio dall'applicazione delle modalità di serious learning e gamified simulations. Il Serious Gaming contribuisce alla penetrazione nel settore delle conoscenze necessarie attraverso nuove metodologie di apprendimento, accelerando il processo di innovazione. Rivolgersi a un approccio gamificato dei processi costruttivi e/o industriali potrebbe essere giudicato 'puerile' e osteggiato da chi ritiene che la pratica si applichi direttamente su casi reali. Tuttavia, l'applicazione di certe conoscenze in modo acerbo potrebbe costare cara; così come da anni i piloti, gli astronauti e i chirurghi si allenano in opportune camere di simulazione, anche l'architetto o il progettista dovrebbero verificare la tenuta dei loro progetti in un ambiente che ammetta l'errore.

Risulta necessario, pertanto, superare pregiudizi di sorta che impediscono la compenetrazione tra settori apparentemente non correlati e assorbire gli elementi più utili all'innovazione e allo sviluppo della pratica architettonica. Saper sfruttare i settori della gamification, delle simulazioni didattiche e, perché no, anche dell'entertainment po-

trebbe aprire molteplici porte a una nuova frontiera della formazione e sensibilizzazione del settore AECO verso la digitalizzazione. Forse è il momento di abbracciare l'idea che un'applicazione 'ludica' dei concetti possa rendere più accessibile e migliorare l'apprendimento per tutti. Il Lean gamificato, unito alle capacità computazionali del BIM, aprirebbe così nuove e promettenti frontiere della progettazione.

The digital transition of the construction industry has advanced throughout Europe and Italy due to the regulatory push of the EU directives¹, transposed in Italy by Ministerial Decree 560/2017² and Ministerial Decree 312/2021³; according to the recent provisions on BIM methodologies of the Ministry of Infrastructure and Transport⁴ it is expected that, by 2025, public works with a value equal to or greater than one million euro must be developed digitally with BIM methodologies. However, the Italian construction sector, mainly characterised by the presence of under-capitalised small and medium-sized enterprises, is struggling to invest in order to adapt to the innovative methodologies (Charef et alii, 2019). Moreover, since the New Regulations for the application of the Italian Procurement Code (Codice degli Appalti) have not been published, it is still necessary to refer to the previous Regulation 207/2010⁵ and the so-called Sblocca Cantieri Decree⁶ that provides for a 'non-legislative' approach according to the guidelines of the competent Authorities (e.g. those of the Italian Anticorruption Authority – ANAC)⁷, in fact favouring the legal aspects of anti-corruption over the cultural and technical aspects essential for digitalisation.

The methodologies and tools available today make it possible to control numerous aspects of the architectural project (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Oesterreich and Teuteberg, 2019), such as the evaluation of user response through simulations (Kuliga et alii, 2015; Stocking, 2016; Tagliabue et alii, 2021) and the management of the building's assets and maintenance through-

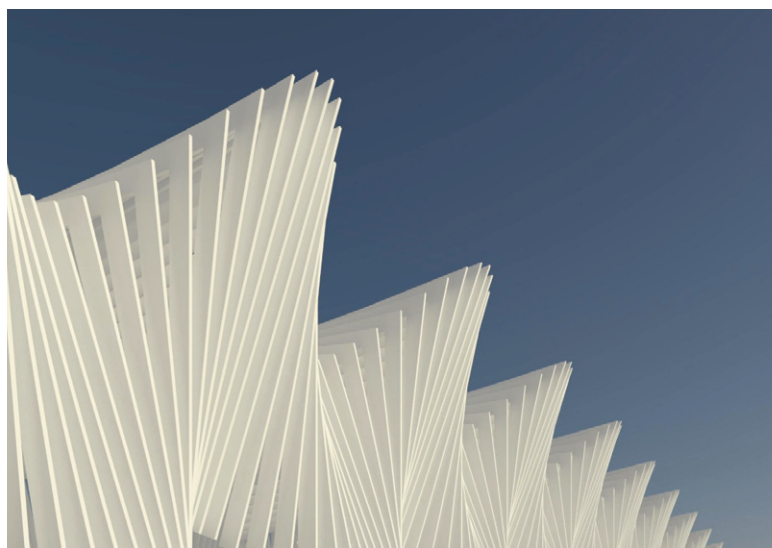


Fig. 4 | Parametric portal realised with the implementation of an algorithm using Dynamo® software (credit: Il level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

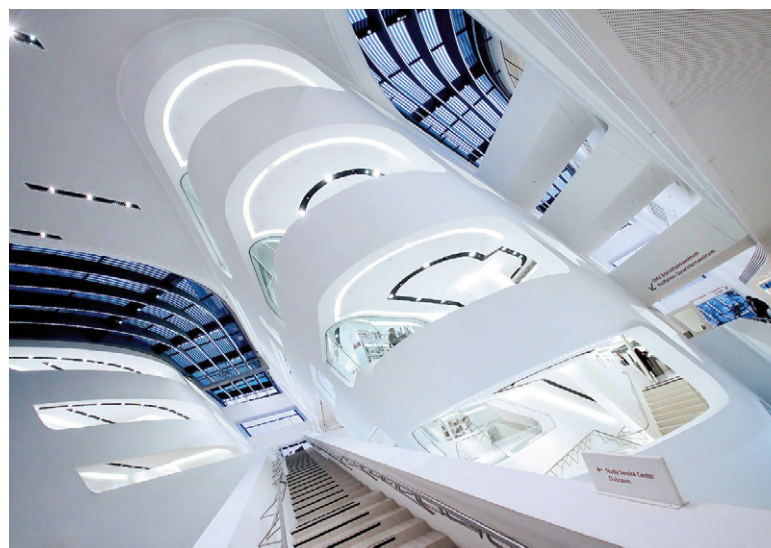


Fig. 5 | Library and Learning Centre of Vienna, a project by Zaha Hadid (credit: O Palsson, 2022).

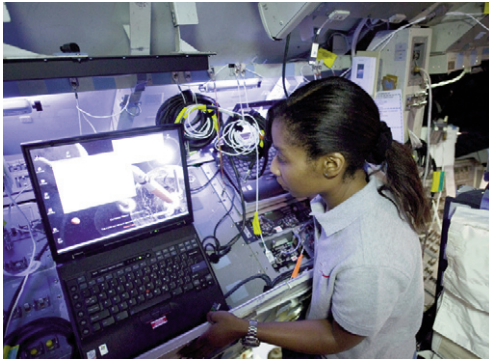


Fig. 6 | NASA Astronaut Stephanie Wilson, STS-131 mission specialist, using a computer during a training session in the Space Shuttle simulator (SMS) at the Jake Garn Simulation and Training Facility located in the NASA Johnson Space Centre (credit: NASA/Robert Markowitz).

out the service cycle (Iadanza et alii, 2015; Torricelli, 2019). In all cases, a significant reduction in design or construction errors is achieved, simultaneously with the possibility of operating in terms of quality management of the final product.

In this context, this paper focuses on the Lean mindset and its gamification to discuss the relationship between Lean and BIM transformative methodologies for achieving project digitalisation goals in the AECO sector (Architecture, Engineering, Construction and Operation), highlighting the need for a paradigm shift based on a different cultural approach to digital innovation, through training methods with playful-didactic simulations, which could be introduced to facilitate digital transformation.

The first section of the paper recalls the main objectives of the Lean approach; this is followed by the exploration of case studies which use digital tools from a 'holistic' perspective and are oriented towards a non-traditional workflow. The paper then describes a didactic simulation which employs LEGO® as a tool for the application of two workflows, one traditional and one Lean-oriented. The concluding critical analysis and reflection discuss the advantages and shortcomings of

the application of gamified production processes. This study aims to provide an alternative view of the education of industry practitioners to attain a different understanding and experience of the AECO Industry.

BIM and Lean mindset in AECO sectors | BIM, in synergy with a Lean-oriented organisation in AECO sectors, can support the achievement of sustainability goals. First of all, by avoiding errors and thus the necessity for rework, it decreases the cost of the finished work, the amount of material used, maintenance during the service cycle, time and human resources, while also increasing the accuracy of project information, control and manageability of this information for maintenance, analysis and verification operations (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Fig. 1-3). For example, the Careggi Hospital Facility in Florence implemented a BIM and GIS-based system to achieve significant energy savings in building management (Iadanza et alii, 2015). The use of 'digital twins', i.e., models that reproduce an existing object not only geometrically, but also in terms of information and performance, can be applied to a considerable variety of artefacts; in particular, in the case of hospitals, it allows for a 'holistic' vision, which is crucial for the efficient management of such a complex building.

In fact, at Careggi it is possible to visualise the entire building complex and obtain information from the various departments through an intranet management system called SACS. The system, based on vector plans uploaded into the application but subsequently updated with three-dimensional models created using ArchiCAD and Revit, can provide information on the use, equipment and occupants of a room within a ward. This organisation of information thus makes it possible to control numerous variables and to obtain spatial and logistical indications that are useful for day-to-day management operations. The system requires a massive 'dose' of programming, interoperability between systems and improved collaboration between all employees, whether they are software managers or healthcare workers.

BIM tools enable complexity management – as in the case of parametric generation (Fig. 4, 5) – of different solutions (Ridolfi and Saberi, 2019), a method widely used within the ZHCODE – Zaha Hadid Computation and Design Group. Bhooshan (2017) reports numerous case studies within the ZHCODE, arguing that the computational capability of digital tools is able to provide multiple solutions from a basic design input. The combination of algorithms derived from mathematical calculation methods – such as the Force Density Method and Thrust Network Analysis – makes it possible to derive 3D models of structures that resist external loads only through internal tensional stresses or that result in compression-only solutions. A simplified model of mere surfaces (mesh) can be processed by these specific algorithms, suggesting new shapes and indicating new structural schemes, adding, from time to time and according to parameters identified by the designer, new solutions that emphasise the energetic quality of the building or its internal layout.

This operational capability can only be leveraged through the appropriate implementation of algorithms and decision-making processes. Consequently, the multiple operational possibilities that arise with the use of pure BIM need to be associated with an integrated collaborative approach (Esposito, Donato and Bosi, 2019; Lauria and Azzalin, 2019), which envisages a paradigm shift from a traditional, individualistic type of production to a 'leaner' type of production that includes interoperability, not only between systems but also between people. This close collaboration would overcome multiple issues related to decision-making, strategy and knowledge sharing, thus achieving the sustainability goals advocated by the United Nations (UN, 2015; Ahuja, Sawhney and Arif, 2018; Maltese et alii, 2017; Sepasgozar et alii, 2021).

The Lean mindset | 'Waste' (Womack, Jones and Roos, 1990) is a key concept in the debate on digital transition and its correlation with the Lean mindset, a transformative methodology and technology closely related to BIM (Sacks et alii,

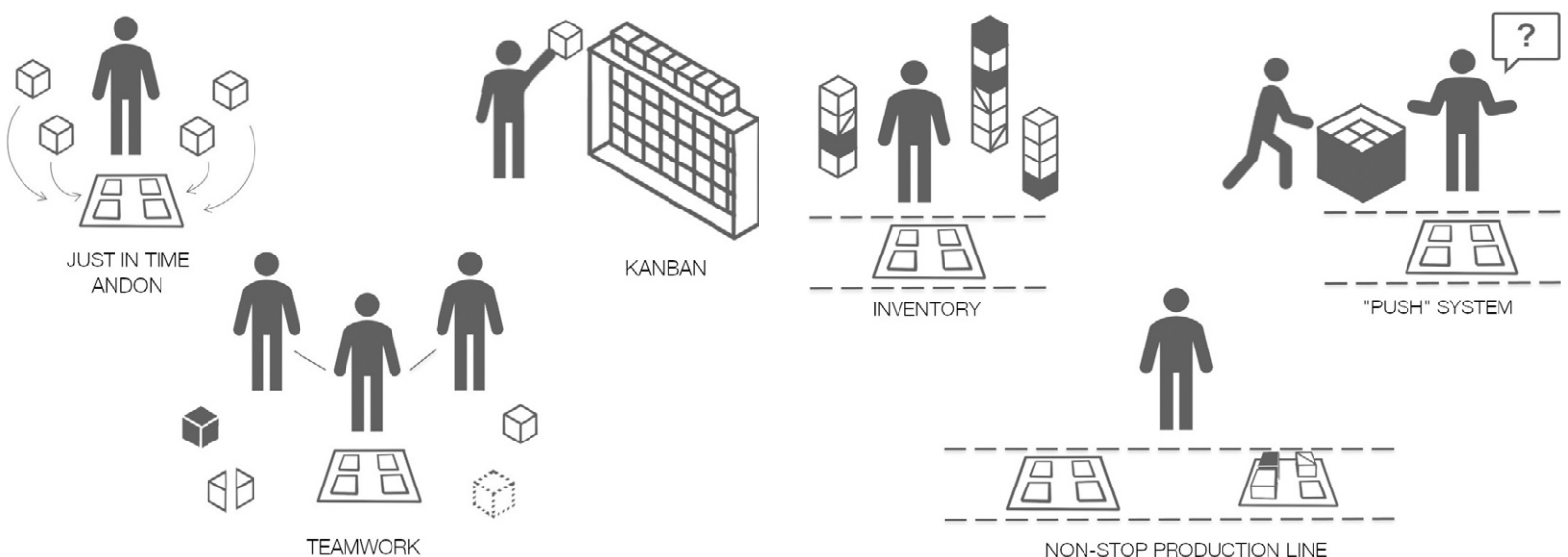


Fig. 7 | Main strategies of the Lean method for production: Just-in-Time, Andon, Kanban and collaborative work (credit: C. Ferraro, 2021).

Fig. 8 | Main characteristics of the traditional production method: enhanced warehouse, 'push' system, continuous production line (credit: C. Ferraro, 2021).

2010), and whose application consists in a series of extensively investigated strategies (Cusumano, 1985; Powell et alii, 2014; Tzortzopoulos, Kagioglou and Koskela, 2020). The Lean mindset, however, requires a period of learning and training (Leal et alii, 2017; Oesterreich and Teuteberg, 2019; Sacks et alii, 2010) with all stakeholders sharing its principles: to achieve this, one of the most innovative and effective methods consists in 'gamified' educational simulations (Aqlan and Walters, 2017; Leal et alii, 2017; Yousefi and Mirkhezri, 2020). The practical application of notions and concepts based on simulations and games is not new, as even the aeronautical and medical fields (Fig. 6) employ them due to their substantial educational value (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010; Beltrami, 2017).

An approach that 'shows' how things – and concepts – work, allows for their better understanding (Paraskeva, Mysirlaki and Papagianni, 2010). Per Backlund and Maurice Hendrix (2013), as well as Giorgio Beltrami (2017) report that games or 'gamified simulations' could be advantageous for learning new tools. From the perspective of the AECO Industry, 'gamified simulation' cases are numerous (Aqlan and Walters, 2017) and are designed to provide a better understanding of Lean strategies and processes, while giving immediate feedback on their benefits to learners (Fig. 7, 8).

An example of this, carried out within the framework of the University of Florence, consisted in constructing, with the help of LEGO® bricks in different colours, a series of buildings (Fig. 9, 10), whose requirements were previously defined using instruction cards. Each building component of the house was assigned a different colour, with blue bricks associated with the floors, red bricks with the walls, yellow bricks with the systems and green bricks with the roofs. The work plan was then divided into six workstations, each of which had to complete the construction of four buildings, for a total of 24 'units'. The simulation was then divided into two phases, both of predetermined duration and with a hypothetical 'delivery date': the first envisaged the application of a so-called 'traditional' production process whereas the second applied a Lean-based production process.

The 'traditional' production process saw the participants divided into as many groups as there were building components: one participant was responsible for the floors, another for the walls, and so on. Before the start of the simulation, all the key roles for the development of the production process were defined: the manager and the client were responsible for providing the various operators with the construction instructions, delivering them to the workstations, the 'crane' was in charge of the construction materials – the small bricks – to be given to the operators who requested them, and finally, quality control was in charge of timing each phase, marking delivery times, the number of completed buildings and the number of errors found in the finished 'units'. By recording a video of the session and compiling the appropriate data table, it was possible to calculate the performance for the first and second phases.

The first phase, which involved a 'traditional' construction process, featured some additional rules: the bricks could only be moved, if necessary, from one workstation to another by the

crane, and each operator could not work on the bricks that were not their direct responsibility. For example, if it was necessary to change the configuration of the walls but systems and roofing were already in place, the operator in charge of the partitions had to wait for the assigned colleagues to remove both roofing and systems. Furthermore, the fact that operators could not move resources from one workstation to another meant waiting for the figure known as the 'crane'. Once the production chain had started, the floor operators would begin to arrange the bricks needed for each workstation, requesting the necessary materials from the 'crane'. As soon as the operation was completed, they would leave the work to the partition operators, who in turn would pass the task on to the systems and so on.

However, at some point during the project, the manager and the client agreed on design variants for some buildings. The operators, therefore, had to return to the already completed buildings to modify them, resulting in considerable delays, overlaps and confusion, as some of the resources had to be manipulated by the 'crane'. Once the time set for the first phase was over and the materials were rearranged as they were at the beginning, the second phase was carried out. The Lean-based phase involved the same assumptions as the traditional production line, but with some modifications: the operators were no longer divided according to building sub-systems, but were in charge of a single location, completing the buildings associated with it in all their parts; moreover, they could pass resources to colleagues at adjacent locations, without waiting for the crane. Finally, operators did not start building immediately, but only after receiving the 'variant' during construction.

By comparing the data between the first production line and the second one, it became clear that the traditional process was more time-consuming compared to the Lean-based process, which, once optimised, was composed of activities that fully contributed to the final value of the product. In the first 'traditional' production case, the construction goals were not achieved, as some buildings were not completed and others did not correspond to the instructions; in the second case, on the other hand, all buildings were completed error-free.

During the Covid-19 pandemic, due to the inapplicability of the in-person simulation, it was necessary to experiment with a repurposed simulation for the digital environment (Fig. 11, 12), based on the previous one, thus effectively maintaining the 'traditional' and 'Lean' workflow, the construction 'instructions' and a 'workstation' within a file. This remote simulation confirmed the results of the in-person simulation. The data collected during the simulation was entered into appropriate computational tables based on Raphael Sacks et alii (2010), which were also used to calculate performance for the in-person simulation, enabling the numerical evaluation of how much a 'lean' process was superior to a traditional one (Fig. 13-15).

In particular, the Lean method, compared to the traditional method, saved around 50% of time, had a much higher productivity factor – i.e., the number of units produced per minute was significantly higher – and required less time to com-

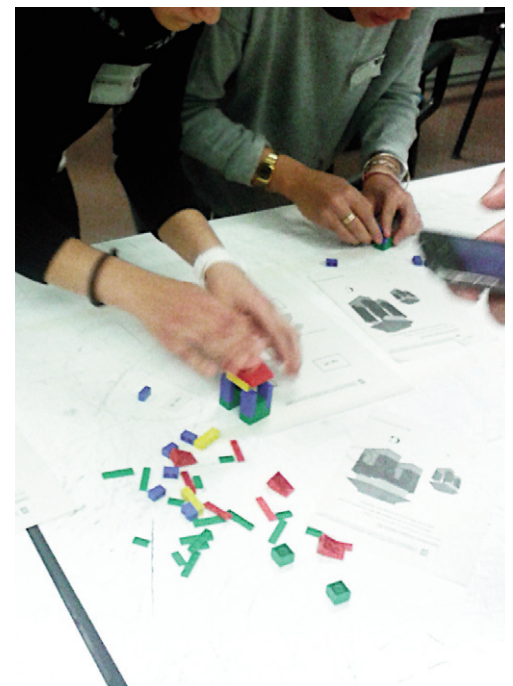


Fig. 9 | View of the work surface featuring the 'stations' of the LEGO® bricks Lean-based simulation (credit: F. Bosi, 2015).

Fig. 10 | Lean-based simulation using LEGO® bricks: note the instruction cards in this image (credit: F. Bosi, 2015).

plete each production phase. The evidence in support of Lean-based processes suggests that this approach is the most viable one to employ in the future of the AECO sector and that it can evolve into a dynamic and flexible system of 'gamified simulations'. However, such simulations are, of course, not without critical issues: firstly, the performance calculation, which must be carried out rigorously in order to be decisive and meaningful; secondly, the active, conscious and motivated presence of many participants for it to be effective.

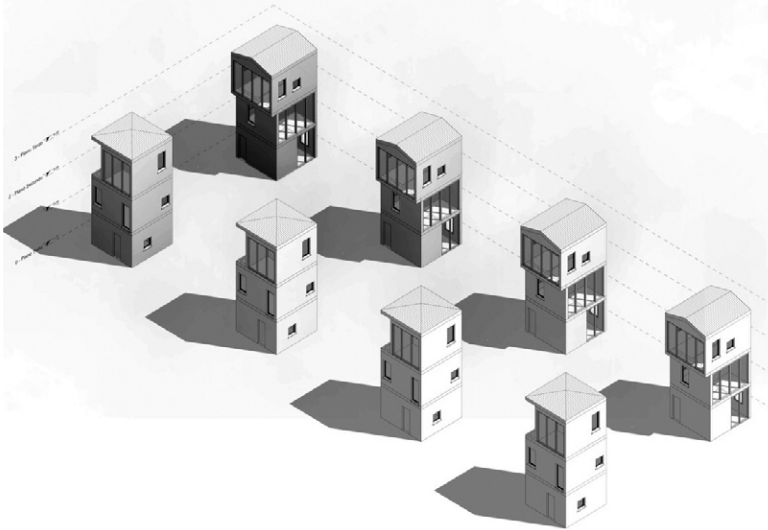


Fig. 11 | Lean-based simulation transposed in a virtual environment through BIM software (credit: C. Ferraro, 2020).

Fig. 12 | Render of the final result of the Lean-based simulation in a virtual environment (credit: C. Ferraro, 2021).

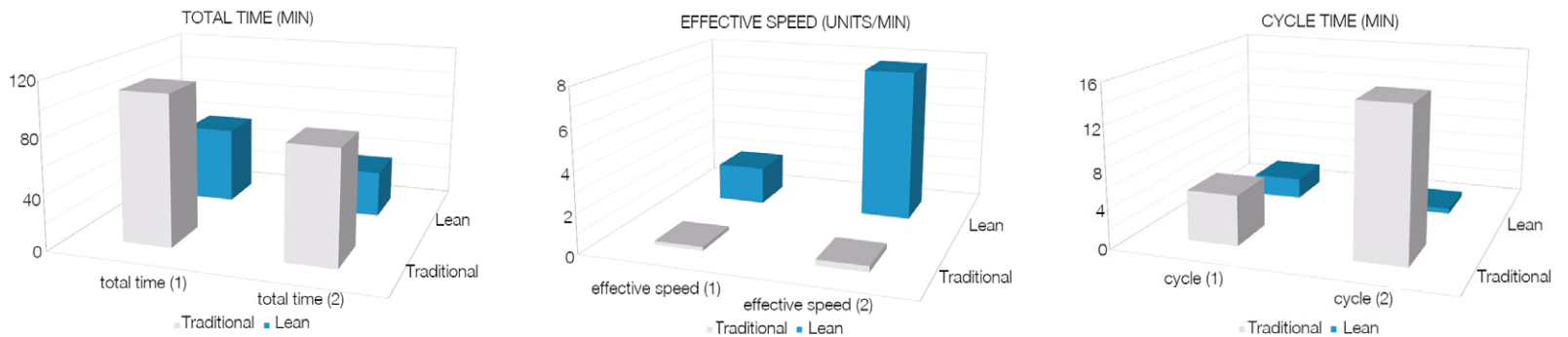


Fig. 13-15 | Simulation results by total time spent in minutes, by 'cycle time', i.e., the average time spent on each process task, and by actual speed, i.e., the number of units produced per minute (credits: II level Master's degree in BIM for the management of collaborative design processes in new and existing buildings, a.y. 2020-2021).

In conclusion, Lean and BIM simulations could prove to be an excellent aid for the education and training of industry professionals, but they must be supported by an appropriate context and motivation. Although there are in fact workshops aimed at teamwork and knowledge dissemination, they are often lacking in terms of involvement, thus undermining permanent knowledge retention. The example shown, as well as other simulations, are designed to overcome this problem. The proposal is, therefore, to employ an original, different and more advanced methodological approach in the AECO sectors, no longer merely thinking in terms of the intrinsic quality of the product, but also in terms of the efficiency of the entire process.

Discussion | Despite the encouraging findings of studies and international debate, BIM methodology and tools are still scarcely applied in the Italian context (Charef et alii, 2019). In addition to the need for specific training required to use the tools, the approach to the tool would have to be supported by a specific technological Culture, regulated by both technical and process standards (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018). The disciplinary scientific field and related international communities should be made aware of the urgent need to employ an appropriate and enabling systemic approach to the now pervasive digital practice.

For this purpose, all those involved in the AECO sectors should share a common vision that values the training of individual operators as a central aspect (Ahuja, Sawhney and Arif, 2018), which must also cover socio-technical organisational and process aspects, precisely through the educational simulations as previously described. The main advantage of a Lean simulation in the AECO sector is to assess workflows from a broader perspective and to be able to fully understand the difference between possible workflows, enabling a judicious and informed choice of the best alternative.

The main critical issues, however, can be found not only in the substantial expenditure of resources towards the training of central figures in the use of both BIM and Lean processes but also in the elaboration and application of these simulations to the relevant sectors, implying, in fact, the consequent training of expert figures dedicated to the development of effective and transversal gamified simulations. Nonetheless, the required considerable investment in continuous training and constant improvement in technology and methodology could provide the opportunity for 'integrated' projects at all levels.

Conclusions | It seems advisable to apply new strategies to general construction, training, professional development, building construction and management, and the development of alternative

workflows. New strategies for sustainability would benefit greatly from the application of serious learning and gamified simulations. Serious Gaming contributes to bringing the necessary knowledge into the sector through new learning methodologies, accelerating the innovation process. A gamified approach to construction and/or industrial processes could be considered 'puerile' and opposed by those who believe that it is necessary to practice directly on real-life cases. However, the immature application of specific knowledge may prove costly. Just as pilots, astronauts and surgeons train for years in appropriate simulation chambers, the architect or designer should also test the suitability of their designs in an environment that admits error.

It is, therefore, necessary to overcome prejudices that prevent the interpenetration of seemingly unrelated sectors and absorb those elements most useful for innovation and the development of architectural practice. Leveraging the sectors of gamification, educational simulations and – why not – even entertainment could open multiple doors towards a new frontier of education and awareness of the AECO sector towards digitalisation. Perhaps it is time to embrace the idea that a 'gamified' approach to concepts can enhance learning for all, while also making it more accessible. Gamified Lean, combined with the computational capabilities of BIM, would thereby unlock new and promising design frontiers.

Acknowledgements

This contribution is the result of a common reflection of the authors. Nevertheless, the introduction and the paragraphs ‘Discussion’ and ‘Conclusions’ have to be attributed to M. A. Esposito, the paragraph ‘The Lean mindset’ to F. Bosi and the paragraph ‘BIM and Lean mindset in the AE-CO sectors’ to C. Ferraro.

Notes

- 1) For more details on the European Directive 2014/24 EU BIM, see Art. 22 para. 4 see the webpage: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0024&from=EN [Accessed 30 September 2022].
- 2) For more details on Ministerial Decree 560/2017 see the webpage: mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/normative/2018-01/Decreto%20Minister%20MIT%20n.%20560%20del%201.12.2017.pdf [Accessed 30 September 2022].
- 3) For further information on Ministerial Decree 312/2021 see the webpage: mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/normative/2021-08/DM_2021-08-02_BIM.pdf [Accessed 30 September 2022].
- 4) For further details, see in particular Article 6, p. 4 of Ministerial Decree 312/2021, available at the following webpage: mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/normative/2021-08/DM_2021-08-02_BIM.pdf [Accessed 9 October 2022].
- 5) For more information on Regulation 207/2010, the full text is available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/12/10/010G0226/sg [Accessed 9 October 2022].
- 6) For more details on Law Decree 32/2019, otherwise known as the ‘Decreto sblocca cantieri’, see the webpage: gazzettaufficiale.it/eli/id/2019/04/18/19G00040/sg [Accessed 9 October 2022].
- 7) For more details on the ANAC Guidelines, please consult the following webpage: anticorruzione.it/documents/91439/2615526/Documento+di+Consultazione+-+Linee+Guida+n+9.pdf/5f58e1a8-37ab-c602-6d17-82a3d231349c?t=1635150040847 [Accessed 9 October 2022].

References

Ahuja, R., Sawhney, A. and Arif, M. (2018), “Developing organizational capabilities to deliver lean and green project outcomes using BIM”, in *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, n. 10, pp. 1255-1276. [Online] Available at: doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0175 [Accessed 30 September 2022].

Aqlan, F. and Walters, E. G. (2017), “Teaching Lean Principles through Simulation Games”, in *2017 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*, paper 19069, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.18260/1-2--28921 [Accessed 30 September 2022].

Backlund, P. and Hendrix, M. (2013), “Educational games – Are they worth the Effort? – A literature survey of the effectiveness of serious games”, in *2013 5th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, pp. 1-8 [Online] Available at: doi.org/10.1109/VS-GAMES.2013.6624226 [Accessed 30 September 2022].

Beltrami, G. (2017), *Lego® Serious Play® pensare con le mani – Valore per le persone, valore per le organizzazioni*, FrancoAngeli, Milano.

Bhooshan, S. (2017), “Parametric design thinking – A case-study of practice-embedded architectural research”, in *Design Studies*, vol. 52, pp. 115-143. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2017.05.003 [Accessed 30 September 2022].

Charef, R., Emmitt, S., Alaka, H. and Fouchal, F. (2019), “Building Information Modelling adoption in the European Union – An overview”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 25, article 100777, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobeb.2019.100777 [Accessed 30 September 2022].

Esposito, M. A., Donato, A. and Bosi, F. (2019), “BIM e Pratiche Collaborative – Abilità e Competenze per l’Ambiente Digitale | BIM and Collaborative Practices – Expertise

and Skills from the Digital Environment”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 51-58. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/562019 [Accessed 30 September 2022].

Iadanza, E., Turillazzi, B., Terzaghi, F., Marzi, L., Giuntini, A. and Sebastian, R. (2015), “The Streamer European Project, Case Study – Careggi Hospital in Florence”, in Lacković, I. and Vasic, D. (eds), *6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering – IFMBE Proceedings*, vol. 45, Springer, Cham, pp. 649-652. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-11128-5_162 [Accessed 30 September 2022].

Kuliga, S. F., Thrash, T., Dalton, R. C. and Holscher, C. (2015), “Virtual reality as an empirical research tool – Exploring user experience in a real building and a corresponding virtual model”, in *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 54, pp. 363-375. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.09.006 [Accessed 30 September 2022].

Cusumano, M. A. (1985), *The Japanese Automobile Industry – Technology and Management at Nissan and Toyota*, Harvard University Asia Center, Harvard University. [Online] Available at: doi.org/10.2307/j.ctt1tg5kpw [Accessed 30 September 2022].

Lauria, M. and Azzalin, M. (2019), “Progetto e manutenibilità nell’era di Industria 4.0 | Project and maintainability in the era of Industry 4.0”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 184-190. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7525 [Accessed 30 September 2022].

Leal, F., Martins, P. C., Torres, A. F., de Queiroz, J. A. and Montevechi, J. A. B. (2017), “Learning lean with lego – Developing and evaluating the efficacy of a serious game”, in *Production*, vol. 27 (special issue), e20162227, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1590/0103-6513.222716 [Accessed 30 September 2022].

Maltese, S., Moretti, N., Re Cecconi, F., Ciribini, A. L. C. and Kamara, J. M. (2017), “Un approccio semplificato per la valutazione di sostenibilità dell’ambiente costruito attraverso il BIM | A Lean Approach to Enable Sustainability in the Built Environment through BIM”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 13, pp. 278-286. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-19743 [Accessed 30 September 2022].

Oesterreich, T. D. and Teuteberg, F. (2019), “Behind the scenes – Understanding the socio-technical barriers to BIM adoption through the theoretical lens of information systems research”, in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 146, pp. 413-431. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.003 [Accessed 30 September 2022].

Paraskeva, F., Mysirlaki, S. and Papagianni, A. (2010), “Multiplayer online games as educational tools – Facing new challenges in learning”, in *Computers and Education*, vol. 54, issue 2, pp. 498-505. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.001 [Accessed 30 September 2022].

Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G. and Rossi, M. (2014), “A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-order Manufacturers”, in *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 571-576. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.137 [Accessed 30 September 2022].

Ridolfi, G. and Saberi, A. (2019), “Intelligenze Computazionali nel Progetto post-Ambientale – Esempi da MAILAB | Computational Intelligences in the post-Environmental Design – Examples from MAILB”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 31-40. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/542019 [Accessed 30 September 2022].

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A. and Owen, R. (2010), “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction”, in *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, issue 9, pp. 968-980. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203) [Accessed 30 September 2022].

Sepasgozar, S. M. E., Hui, F. K. P., Shirowzhan, S.,

Foroozanfar, M., Yang, L. and Aye, L. (2021), “Lean Practices using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 1, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13010161 [Accessed 30 September 2022].

Stocking, A. W. (2016), “How New Video-Game-Inspired Tools Are Redefining Post Occupancy Evaluation”, in *Archdaily*, 01/11/2016. [Online] Available at: archdaily.com/798512/how-new-video-game-inspired-tools-are-redefining-post-occupancy-evaluation [Accessed 30 September 2022].

Tagliabue, L. C., Ventura, S. M., Teizer, J. and Ciribini, A. L. C. (2021), “A Serious Game for Lean Construction Education Enabled by Internet of Things”, in Mealha, Ó., Rehm, M. and Rebedea, T. (eds), *Ludic, Co-design and Tools Supporting Smart Learning Ecosystems and Smart Education – Proceedings of the 5th International Conference on Smart Learning Ecosystems and Regional Development*, pp. 225-233. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-15-7383-5_19 [Accessed 30 September 2022].

Torricelli, M. C. (2019), “MON.LAB AOU-CAREGGI – Monitoring lab – ICT systems for building management support”, in *DIDA Research Week book 2018*, pp. 736-737, [Online] Available at: flore.unifi.it/handle/2158/1176208 [Accessed 30 September 2022].

Tzortzopoulos, P., Kagioglou, M. and Koskela, L. (2020), *Lean Construction – Core Concepts and New Frontiers*, Routledge, Taylor & Francis Group.

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/documents/ares701-transforming-our-world-2030-agen-21254 [Accessed 30 September 2022].

Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D. (1990), *The machine that changed the world*, Rawson Associates, New York.

Yousefi, B. H. and Mirkhezri, H. (2020), “Lean Gamification Canvas – A New Tool for Innovative Gamification Design Process”, in *2020 International Serious Games Symposium (ISGS)*, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ISGS51981.2020.9375297 [Accessed 30 September 2022].