

Utilizzo di *game engine open-source* a supporto della descrizione di procedure di assemblaggio per l'autocostruzione

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Gian Luca Brunetti,

Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

gianluca.brunetti@polimi.it

Abstract. Questo articolo presenta e esplora la possibilità di utilizzare un *game engine* per supportare la descrizione di soluzioni di assemblaggio finalizzate all'autocostruzione. I risultati della sperimentazione corroborano l'ipotesi che l'utilizzo di *game engine* possa utilemente entrare a fare parte dell'arsenale di risorse disponibili al progettista per supportare la descrizione di modalità di costruzione. Nel caso-studio presentato, l'uso del *game engine* ha portato alla creazione di un'applicazione software in grado di consentire una analisi interattiva di procedure di costruzione scegliendo i tempi ed i punti di vista dell'esplorazione durante le fasi di lavoro.

Parole chiave: Autocostruzione; *Game engine*; *Open source*; Modellazione 3D; Istruzioni di assemblaggio.

L'evoluzione delle istruzioni di assemblaggio finalizzate alla costruzione

L'attività di autocostruzione fino alla modernità ha occupato un ruolo primario nella vita delle comunità, in un contesto in cui la trasmissione delle competenze tecniche legate all'autocostruzione avveniva soprattutto attraverso la collaborazione interpersonale. In questo quadro, l'avvento della stampa nel XV secolo ha marcato l'inizio di una lunga fase di evoluzione delle modalità di trasmissione delle competenze di costruzione, con l'effetto di rendere meno esclusiva la centralità della trasmissione interpersonale ed accelerare gli sviluppi successivi. Successivamente la tecnologia di stampa si è evoluta in modo da estendere la possibilità di riproduzione dai testi ai disegni e alle immagini, ampliando la varietà dei messaggi convogliabili attraverso i libri ed aumentandone l'utilità.

La moltiplicazione del numero di pubblicazioni di trattati tecnici avvenuta a partire XIX secolo è originata da queste premesse, ma in un contesto nel quale continuava a risultare costosa e laboriosa. I benefici derivanti dall'integrazione di conoscenze teoriche ed esperienza pratica nel campo della costruzione sono rimasti a tutt'oggi sostanziali, ma in un contesto nel quale la componen-

te della conoscenza teorica si è fatta sempre più complessa ed astratta, allontanando dall'autocostruzione un'ampia fascia di individui. In questo ambito, un'innovazione radicale è stata costituita dalla comparsa delle istruzioni di montaggio di kit prefabbricati. Questo è avvenuto a partire dalla fase tarda della rivoluzione industriale che ha avuto luogo nel XX secolo (Kranzberg and Pursell, 1967), con l'esplosione della produzione seriale, culminata nella definizione del tipo di istruzioni in stile LEGO o IKEA (Wakkary *et al.*, 2010).

Un'importante ragione del successo dell'approccio di tipo IKEA alle istruzioni di assemblaggio è che esso si presta bene alla trasmissione di conoscenze procedurali aventi come oggetto la descrizione di sequenze di operazioni finalizzate ad operare sul modo in cui dei componenti di costruzione si combinano reciprocamente nello spazio attraverso fasi di modifica successive. Si tratta però di un approccio che mette l'autore di istruzioni di fronte a necessità di scelta inerenti alla comunicazione. A questa necessità contribuisce il fatto che l'autore delle istruzioni – che ci si attende non-interattive e basate su viste statiche – è incoraggiato a servirsi di prospettive di veduta che si suppongano adeguate a rispondere ai bisogni di un ipotetico utente medio. Non stupisce che la competenza finalizzata alla creazione di istruzioni di assemblaggio sia, nel corso degli anni, divenuta via via più specializzata, anche per quanto riguarda le ricadute di ricerca (Inaba *et al.*, 2004; Argawala *et al.*, 2003). Una parte significativa delle ricerche svolte su questo tema ha riguardato la formazione e si è focalizzata sul concetto di carico cognitivo (Sweller, 1988; Merriënboer and Sweller, 2005); che ha a sua volta aperto la strada alla possibilità di razionalizzare i criteri per la valutazione dello sforzo mentale di breve termine oltre al quale la capacità

Utilization of open-source game engines for the description of construction systems suited to self-building

Abstract. This article explores the possibility of utilizing a game engine to support the description of construction solutions aimed to self-builders. The results of this experimentation strengthen the hypothesis that game engines would worth to be made a part of the arsenal of resources available to designers for supporting the description of designed objects. In the presented case study, the use of the game engine has allowed the creation of a software application giving users the ability to navigate interactively the construction procedures by choosing the pace of their exploration and their viewpoints during the work phases.

Keywords: Self-building; Game engines; Open source; 3D-modelling; Blender.

The evolution of construction assembly instructions

Throughout history up to the development of industrial approaches, self-building has played a primary role in the life of communities, especially in rural contexts, and construction skills have been transmitted across centuries through practice and mentoring, in line with what has happened to the other skills related to craftsmanship in pre-industrial times. A cause of this is the fact that proficiency in construction requires complex visualization skills and concurrent competences in several domains of expertise, which are hard to combine without the experience of practical cases and the backing of a shared common sense.

The advent of print in the XV century constituted a step forward for the propagation of building skills and knowledge, which has produced the

effect of putting the need of mentoring for the transmission of construction knowledge into a wider context. And soon after its appearance, print technology evolved in a manner which extended the possibility of printing from texts to drawings and images, broadening the messages that could be conveyed through books.

The explosion of publications of technical manuals in the XIX century evolved from that milieu, but took place in a context in which the preparation of printed images was still costly and cumbersome. The benefit of integrating theoretical knowledge and practical experience remained constant in the transition from pre-scientific, pre-industrial times to modern times; but the technical knowledge involved in that integration became more and more complex and abstract, and this evolution cut out from con-

umana di comprensione e apprendimento si riduce (Ayres and Paas, 2007).

A tale aumentata capacità di analisi si aggiunge oggi il fatto che oggi i tutorial basati su video ed animazioni hanno conquistato una parte importante dello spazio occupato dalle istruzioni di assemblaggio stampate “tradizionali”. Tale trasformazione è stata favorita dal fatto che i messaggi convogliati attraverso immagini in movimento sono caratterizzati da necessità di discretizzazione più ridotte rispetto a quelle basate su immagini statiche e possono essere accompagnati dalla parola (scritta o orale) in simultaneità. La fase più recente di tale evoluzione è stata aperta dalla comparsa di video interattivi idonei a fornire al fruitore la possibilità di scelta delle proprie direzioni di vista (Hosseini and Swaminathan, 2016) e strumenti in grado di consentire l'applicazione di annotazioni interattive a documenti video (Chiavarini *et al.*, 2017).

Estensione di prospettive generata dalla combinazione di tecnologie CAD e da gaming

Sia le tecnologie CAD parametriche, sia le tecnologie BIM richiedono che i modelli architettonici siano rappresentati staticamente, in momenti nel tempo. Ne deriva che la descrizione di sequenze di costruzione effettuata per mezzo di tali tecnologie richiede l'utilizzo di sequenze di immagini adeguate a rappresentare momenti specifici; cosa che a sua volta incoraggia, nella sostanza, l'adozione di approcci alla trasmissione dell'informazione conformi al citato “stile IKEA”. Nonostante questo, è facile rilevate come le istruzioni nel campo della costruzione si discostino spesso dal modello di riferimento originario, in particolare per il fatto

struction proficiency a whole range of individuals.

A radical innovation as regards self-building derived from the appearance of assembly instructions accompanying prefabricated kits and sets of goods in the late phases of the industrial revolution during the XX century, linked to serial production (Kranzberg and Pursell, 1967), culminated in the rise of the instruction assembly approach in the “manner” of LEGO and IKEA, which is today prominent in DIY projects (Wakkary *et al.*, 2010).

An important reason of the success of the cited kind of approach to assembly instructions is that it is very suitable for the transmission of procedural knowledge entailing sequences of operations for objects mutually combined in space through a sequence of modification phases. But this context puts the author of assembly instruc-

tions in front of the necessity of making choices regarding communication strategies.

This necessity of choice is strengthened by the fact that the author of assembly instructions (because the instructions are expected to be non-interactive and static) is usually called to choose viewpoints and target points which are likely to be suited to the needs of a hypothetical average user. No wonder that the creation of building instructions has gradually become a specialized skill, subject of researches and publications (Inaba *et al.*, 2004; Argawala *et al.*, 2003). A significant part of the researches about this topic has regarded education and has been focused on the concept of cognitive load (Sweller, 1988; Merriënboer and Sweller, 2005), which, in turn, has opened up the possibility of rationalizing the criteria for estimating the level

di puntare a fornire una rappresentazione più sintetica delle fasi di lavoro. Cosa che porta a sua volta spesso le istruzioni a risultare specialmente appropriate per coloro che si trovino già in possesso di qualche grado di conoscenza dell'arte del costruire.

Nel quadro descritto, l'integrazione di animazioni nelle istruzioni può servire a ridurre a dipendenza della qualità delle istruzioni stesse dall'abilità degli autori delle istruzioni. Questo in particolare grazie al fatto che i movimenti degli scorci visuali integrati nelle animazioni possono svolgere un ruolo chiarificatore aggiuntivo in merito alle posizioni che i componenti di costruzione occupano negli schemi di assemblaggio esplicitati nei disegni esecutivi. Molteplici studi hanno dimostrato che i vantaggi derivanti dal ricorso ad animazioni per la creazione di istruzioni di assemblaggio possono essere sostanziali (Watson *et al.*, 2010); ma solo nel caso in cui le animazioni siano concepite con empatia per le esigenze del fruitore (Tvesky *et al.*, 2000).

Anche la tesi che i *game engine* possano essere utilizzati per migliorare l'esperienza progettuale è stata avanzata nella letteratura scientifica (Coyne, 2002), motivandola con il fatto che essi introducono il fattore interattività nel quadro comunicativo, mettendo l'utente nella condizione di muoversi nel tempo e nello spazio, scegliendo le direzioni e i punti di vista; cosa che a sua volta riduce la necessità di mirare a un ipotetico utente “medio”.

Le esperienze di ricerca incentrate sull'utilizzo di *game engine* nella progettazione architettonica ne hanno dimostrato l'adeguatezza alle necessità della visualizzazione (Yan *et al.*, 2011) e la capacità di dilatare l'esperienza dell'utente (Kosmadoudi *et al.*, 2013); e molto promettenti appaiono le possibilità derivanti dalla messa a sistema di tecnologie da *gaming* e BIM (Boeykens, 2011). Eppure l'utilizzo dei *game engine* non ha finora riscontra-

of short-term mental efforts beyond which the human capability of understanding and retaining information decreases (Ayres and Paas, 2007).

To this it has to be added that today tutorials in form of videos and animations have taken a share of the cultural space once occupied by “traditional” assembly instructions; and lastly, that technological evolution has brought to the scene interactive videos (Hosseini, Swaminathan, 2016) allowing the choice of the direction of view (although not yet the point of view) on part of the viewer, as well as technologies capable to add interactive annotations and comments to videos (Chiavarini *et al.*, 2017).

Extension of perspectives compounding CAD and gaming technologies

Both parametric CAD technologies and more recent BIM technologies

require that the architectural models are represented statically, in a moment in time. As a consequence, when a construction sequence is presented via those tools, this has to be done by utilizing sequences of scenes which are finite in time, and, therefore, mostly conforming with the IKEA-style kind of instructions. But in spite of this, in the area of building construction do-it-yourself (DIY) instructions often depart from the IKEA-style, most likely because they aim to convey a more condensed view of the construction steps and, therefore, tend to set a tighter limit to the amount of information involved in the descriptions. The result of this is that even the highest quality instructions often end up being specially tailored for individuals having at least some kind of knowledge of the fundamentals of a profession pertaining construction.

to un successo proporzionale alle aspettative in ambito architettonico (Moloney, 2015). L'utilizzo più frequente di tali strumenti in tale ambito è oggi quello dell'esplorazione di ambienti virtuali; ma di un tipo di ambienti virtuali concepiti molto più per attribuire al fruitore il controllo della propria variabile "tempo" che il controllo della variabile tempo degli oggetti presenti nell'ambiente; con il risultato di mancare, il più delle volte, l'opportunità di rendere gli oggetti assemblabili e disassemblabili.

L'importanza dell'inclusione della variabile tempo nelle documentazioni di costruzione è stato oggetto di un filone di studi inaugurato da Egan (1998), che ha a sua volta generato interesse rispetto alle cosiddette tecnologie 4D-CAD e 4D-BIM (Koo and Fischer 2000; Heesom and Mahdjoubi, 2004). L'interattività resa possibile dai *game engine* ha inoltre creato le premesse per l'integrazione, nelle informazioni 3D, di informazioni ad esse complementari, come testi, disegni 2D, contenuti audio e contenuti di realtà cosiddetta aumentata. Gli studi su questa integrazione spaziano da dimostrazioni su come le rappresentazioni 3D e 2D in forma di pittogrammi possano operare in modo sinergico (Johnston *et al.*, 2016; Arguet and Jamet, 2009) a ricerche su come la realtà virtuale aumentata possa rafforzare la sinergia tra dimensioni di contenuto diverse (Syberfeldt *et al.*, 2016).

È proprio sul terreno dell'intersezione tra differenti dimensioni di messaggio che è da individuarsi la più promettente possibilità di ibridazione tra il livello di comunicazione delle istruzioni di costruzione e quello della rappresentazione esecutiva.

Caso studio

modellazione 3D integrante capacità di animazione e un game

Nel caso studio qui presentato, un'applicazione software per la

In that framework, the integration of animation in assembly instructions can reduce the authorial responsibility that comes with the need of discretizing the representation of the assembly phases, because the trajectory paths that can be added to animations can play an additional clarificatory role about the positions which are occupied, in an assembly, by its components, as described in the detailed drawings. Studies have been published assessing that the advantages entailed by the recourse to animations for assembly instructions are substantial (Watson *et al.*, 2010), but only in the case that the animations are properly devised (Tvesky *et al.*, 2000), i.e. are devised with empathy for the necessity of the user/. Which, in the case of animations aimed to accompany detailed drawings, may even be taken as a clue of the usefulness of embedding in

animations signs, languages and meta-languages which are typical of detailed drawings.

The thesis that game engines can be used for improving the design experience has also been advanced in the scientific literature (Coyne, 2002). A reason for this is that the game engine technology puts interactivity in the balance, allowing the user to choose the pace of a presentation and step back and forth through it; and also, allowing to choose both the directions of view and the points of view, and to keep moving them for maximising one's comprehension and retention rate. Game-engine technology grants indeed to users a highly tailorable experience of (virtual) space through time, deriving from the ability to personalize and adapt the message; and this condition brings, in turn, the advantage of reducing the necessity for

engine – *Blender* – è stata utilizzata per creare le istruzioni per l'assemblaggio di alcuni componenti finalizzati alla costruzione edilizia. Il software in questione è utilizzato in architettura grazie anche alla possibilità di collegamento a strumenti avanzati di simulazione ambientali (Southall and Biljeki, 2017).

La ricerca qui presentata è stata sviluppata dall'autore nel contesto di una ricerca Horizon2020 (coordinatore: Prof. Niccolò Aste, Dipartimento ABC, Politecnico di Milano; componenti dell'UdR: Claudio del Pero, Fabrizio Leonforte; titolo: "Holistic Energy and Architectural Retrofit Toolkit") includente tra gli obiettivi la definizione di sistemi di supporto per pannelli fotovoltaici integrabili in coperture preesistenti. Poiché esiste la possibilità che tali supporti vengano in futuro brevettati, il caso studio qui presentato ha però come oggetto un differente sistema costruttivo, basato su combinazioni di pannelli a telaio leggero in legno, pubblicato con una licenza open-source e reso accessibile via web (Brunetti, 2019).

Il sistema è basato sull'utilizzo di pannelli di parete e di solaio dalle dimensioni di 120x270 cm inchiodati (per contenimento dei costi) attorno a un telaio in montanti e traversi (dalla sezione minima di 5x6 cm per le pareti e 5x12 per i solai) controventati da assi di legno da 10x2 cm e isolati con materassini in lana di legno; e chiusi, verso i vani, con fogli di cartone accoppiati con un fogli di polietilene svolgenti la funzione di barriera vapore; e verso l'esterno, con strisce di fogli di polietilene sovrapposte orizzontalmente così da formare una barriera all'acqua.

La copertura della luce delle stanze con pannelli di lunghezza così contenuta è ottenuta supportando coppie di pannelli-solaio con travi di portale reticolari poste nella mezzera dei vani (Fig. 5).

the author of instructions to target a hypothetical "average" user.

Research experiences have also been developed for experimenting the use of game engines in architectural design for objectives as diverse as extending the possibilities deriving from integrating gaming technologies and BIM technologies (Boeykens, 2011), assessing the suitability of game engines for architectural visualization (Yan *et al.*, 2011), and augmenting the user experience (Kosmadoudi *et al.*, 2013). Nevertheless, the use of game-engines has not yet had a great uptake within the architectural community (Moloney, 2015). The most frequent use of game engines in the architectural domain is currently, by far, that of visualization for the exploration of virtual environments; but in that case, the virtual environments are mostly conceived to enable users to access

their own variable "time", but much less to extend the control of the variable "time" to the objects constituting the environment; with the result that the objects cannot be assembled and disassembled going back and forth through time.

The strong advantage of game-engine applications is instead likely to be that they allow to include also the variable "time" in the properties pertaining the architectural scenes, and that they can do that interactively. Utilizing game engines makes possible, indeed, not only to let users change their point of view and positions within the scenes, but also to allow the objects within the scenes to be assembled and disassembled at will of the users.

The importance of including the variable time in construction documents has been the object of a stream of studies opened by Egan (1998) and

Caratteristiche delle istruzioni approntate

Le istruzioni di assemblaggio sono state strutturate per sistemi e hanno utilizzato il pannello opaco (Fig. 1) come banco di prova, per poi essere estese agli altri sistemi: pannello di solaio, pannello con finestra (Fig. 2), portali con trave reticolare (Fig. 3), fino al sistema-di-sistemi costituito da un piccolo edificio (Fig. 5). Le istruzioni sono state strutturate attorno ad una sequenza di animazioni descrittive delle fasi di costruzione e combinate in modo tale da risultare esplorabili interattivamente nell'ambito di una applicazione software autonoma dal game engine, che fornisce all'utente la possibilità di muoversi liberamente nello spazio e nel tempo di costruzione, procedurale.

La trasmissione delle specificità tecniche delle operazioni di montaggio è stata perseguita implementando nell'applicazione la possibilità di aprire flussi di informazione compresenti con le immagini tridimensionali ed ha previsto, a tale fine, la possibilità di apertura di testi descrittivi e dati tecnici in simultaneità con l'immagine dei componenti e la possibilità di apertura di disegni bidimensionali quotati descrittivi i componenti stessi. Tale strategia è stata poi completata dalla possibilità di comandare la comparsa e la scomparsa di icone segnalanti la posizione dei componenti di connessione (nel caso specifico, chiodi) nell'ambito di ciascun nodo costruttivo.

L'importanza della scelta del punto di osservazione nel quadro descritto può essere chiarita dall'esempio in figura 4, che riporta la medesima soluzione di costruzione presentata in figura 1, ma rivisitata dal punto di vista una persona che costruisca il pannello. La descrizione in figura 4 rende più agevole la comprensione delle operazioni di costruzione; ma a discapito della sinteticità

it has spawned research directions aimed to the so-called 4D-CAD and 4D-BIM technologies; i.e. CAD and BIM approaches favouring the inclusion of the variable "time" in design representations (Koo and Fischer 2000; Heesom and Mahdjoubi, 2004). And the interactivity made possible by game engines has created the premises for the concurrent transmission of complementary information, like textual information, information derived from ordinary 2D detailed section drawings, audio information, and augmented reality information. The studies in this area span from demonstrating how 3D representations and pictorial information can reinforce each other in the documents describing assemblies (Johnston *et al.*, 2016; Arguet and Jamet, 2009) to demonstrating that augmented reality can contribute to the synergetic effect of

diverse message dimensions (Syberfeldt *et al.*, 2016).

Case study

In the here presented case study, an open source 3D modelling application integrating the capabilities of animation and a game engine – *Blender* – has been used to test the possibility of combining 3D animations and interactivity for defining the assembly instructions relative to some construction components and their utilization in the construction of a small building. The tool is well-known in the field of Architecture, also due to the existence of applications enabling the connection with advanced tools for environmental analysis (Southall and Biljeki, 2017).

The strategies for conveying the construction instructions presented in this article have been developed in the

della rappresentazione, per effetto del fatto che l'oggetto deve essere spostato all'interno della scena dipendentemente dalle necessità di lavorazione.

La strategia di descrizione adottata ha dato prova di non ridurre la centralità delle decisioni "registiche" nella strutturazione dei contenuti, ma di traslarle verso livelli più alti di astrazione e flessibilità. Ha però anche dimostrato che non necessariamente le soluzioni "sceniche" che si prestano di più ad esplicitare la struttura logica di una soluzione sono anche quelle più adatte a trasmettere un'idea di come essa debba essere costruita. Questa attitudine dipende anche dalla scelta di includere o meno nella descrizione le modalità attraverso le quali si prevede che una persona debba interagire con i componenti durante l'assemblaggio.

Uno dei dati di considerazione fondamentali prodotti dall'esperienza in oggetto è quello di avere evidenziato come la creazione di istruzioni interattive possa generare conseguenze positive non solo per il fruitore, ma anche per gli autori delle istruzioni. Tale valore deriva dall'elaborazione analitica supplementare che il lavoro richiede; che a sua volta deriva da una combinazione di fattori concomitanti, come la necessità di attribuire una motivazione a tutte le operazioni di costruzione, la necessità di accompagnare la sequenza di operazioni con testi esplanatori e la possibilità di arricchire le descrizioni con disegni esecutivi in 2D.

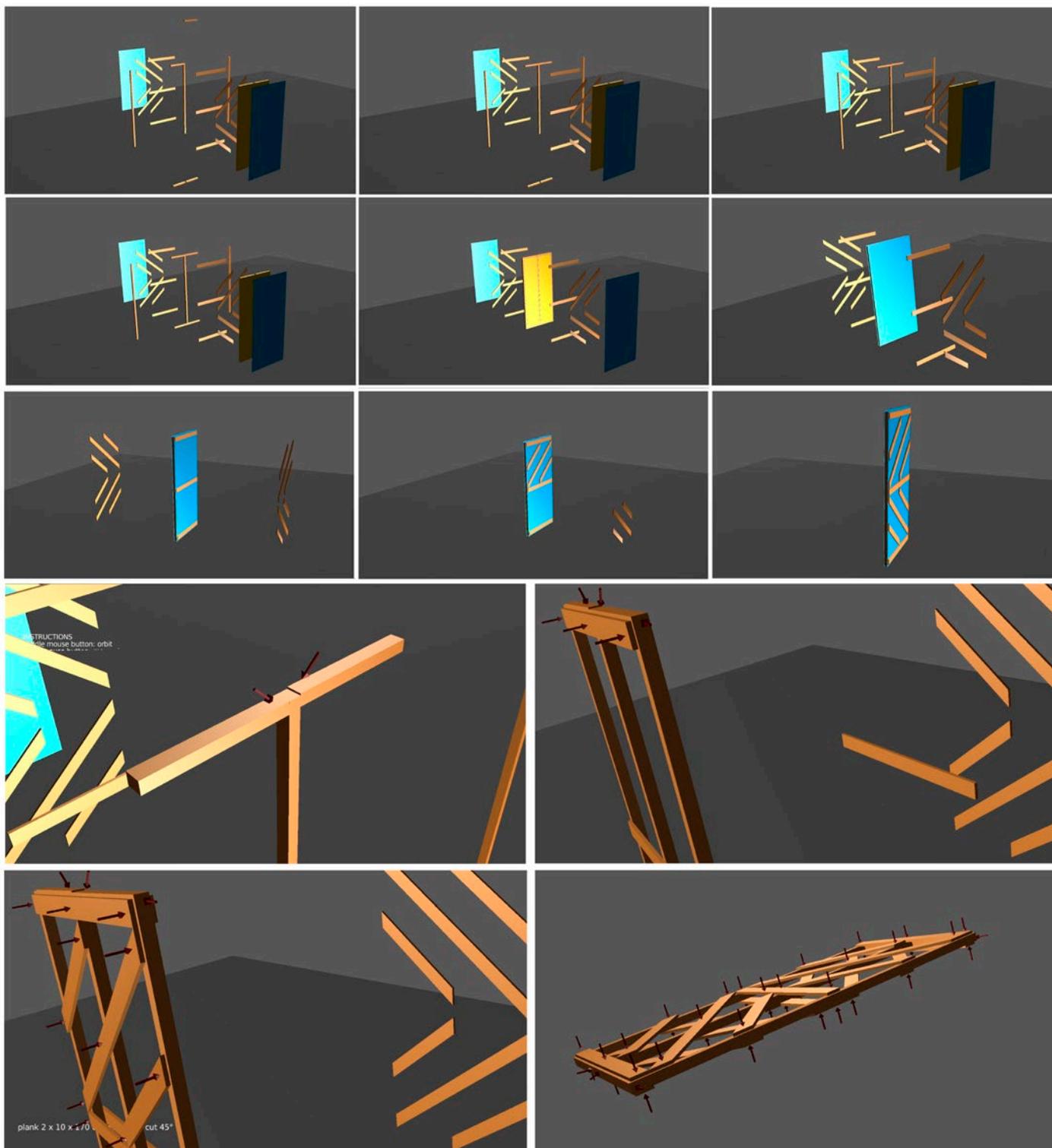
Un ulteriore dato di considerazione è emerso dalla possibilità che l'azione di creazione di istruzioni interattive possa incoraggiare il perseguimento di una auto-documentabilità degli elaborati progettuali, anche in un'accezione analoga a quella connessa alla cosiddetta "programmazione letterata", auto-documentante, proposta, nel campo dell'informatica, da Donald Knuth (1992).

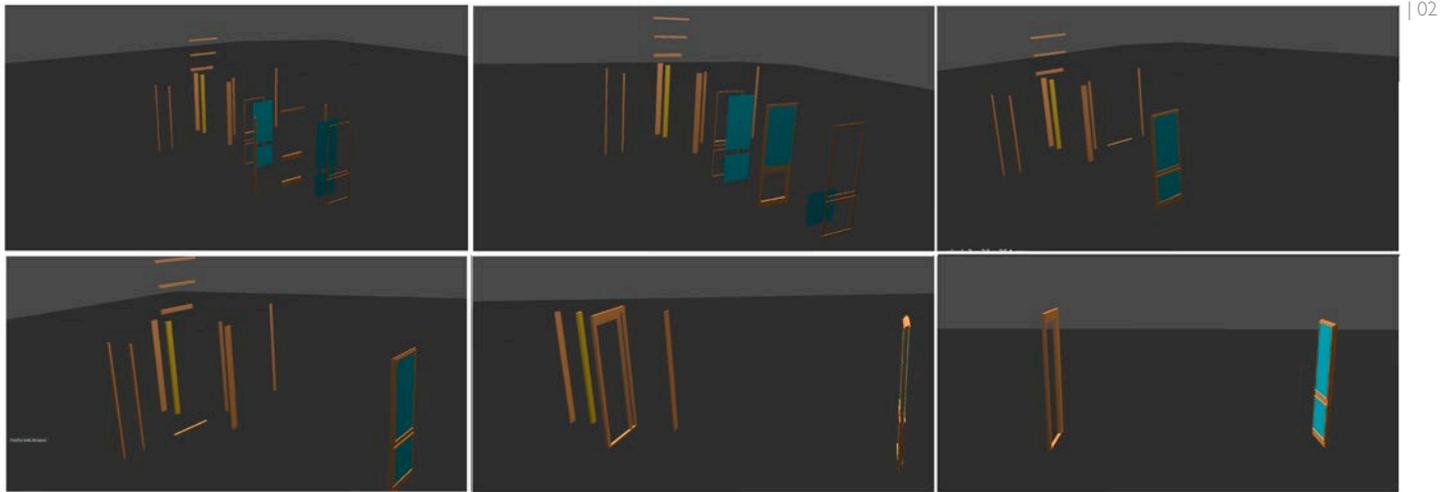
framework of a Horizon2020 research (title: "Holistic Energy and Architectural Retrofit Toolkit"; coordinator: Prof. Niccolò Aste, ABC Department, Politecnico di Milano; components of the research unit: Claudio del Pero, Fabrizio Leonforte) aimed, among other things, to design support systems for photovoltaic panels suited to be integrated into pre-existing roofs. But due the possibility that the support systems are going to be patented, those supports are not the objects that will here be utilized for illustrating the use of the game engine. In this article, the case study of a low-cost wooden load-bearing vertical panel for the construction of buildings will be instead taken into account. The construction system has been published with an open-source (GPL) license and has been made freely available on the web (Brunetti, 2019).

The system in question is modular. The panels on which it is based have dimensions of 120x270 cm and are built around a frame of battens having a minimum section of 5x6 cm for the walls and 5x12 for the floors. The bracing elements of the panels are constituted by wooden planks, and the insulation of the panels is obtained with wood-wool batts. The enclosures of the panels are constituted by cardboard coupled, on the indoor side, with a plastic foil working as a vapour barrier, and at the outdoor side, with plastic foils overlapped in horizontal strips, working as an air barrier. All the connections are nailed, in order to limit costs.

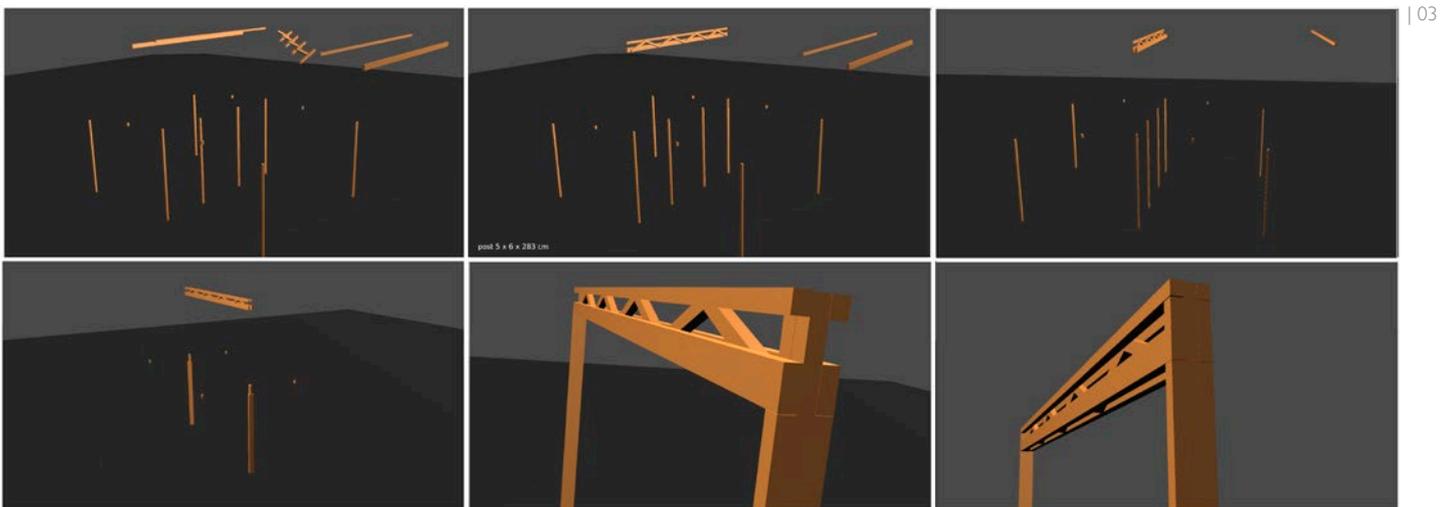
The span of a room is obtained by making two horizontal panels be supported by a portal frame - one for each side of it. Each portal is assembled from wooden elements of small sections and feature a truss beam.

01 |





| 02



| 03

Features of the assembly instructions in question

The assembly instructions have been structured by system. The instructions relative to the panels (Fig. 1) are the ones which have led the experimentations, and to which the most complete features and details have been given. Then instructions relative to the other systems have followed: the panels including the window frames (Fig. 2), the portal frames (Fig. 3) and the whole building (Fig. 5).

The instructions have been structured along the framework of animations describing the construction steps and have been made suited to be navigated by the user interactively. In that context, the user has been given the pos-

sibility to move around each scene in space, directing the objective of the camera at will, and moving back and forth through procedural time, along the construction steps.

The possibility of opening streams of parallel and complementary information has also been implemented in the application. With that purpose, a descriptive text for each construction component has been set to open up, together with detailed 2D drawings with dimensions, on the screen by moving the mouse over the component. With another interaction of the mouse, arrows signalling the positions of the nails connecting the components have been set to appear.

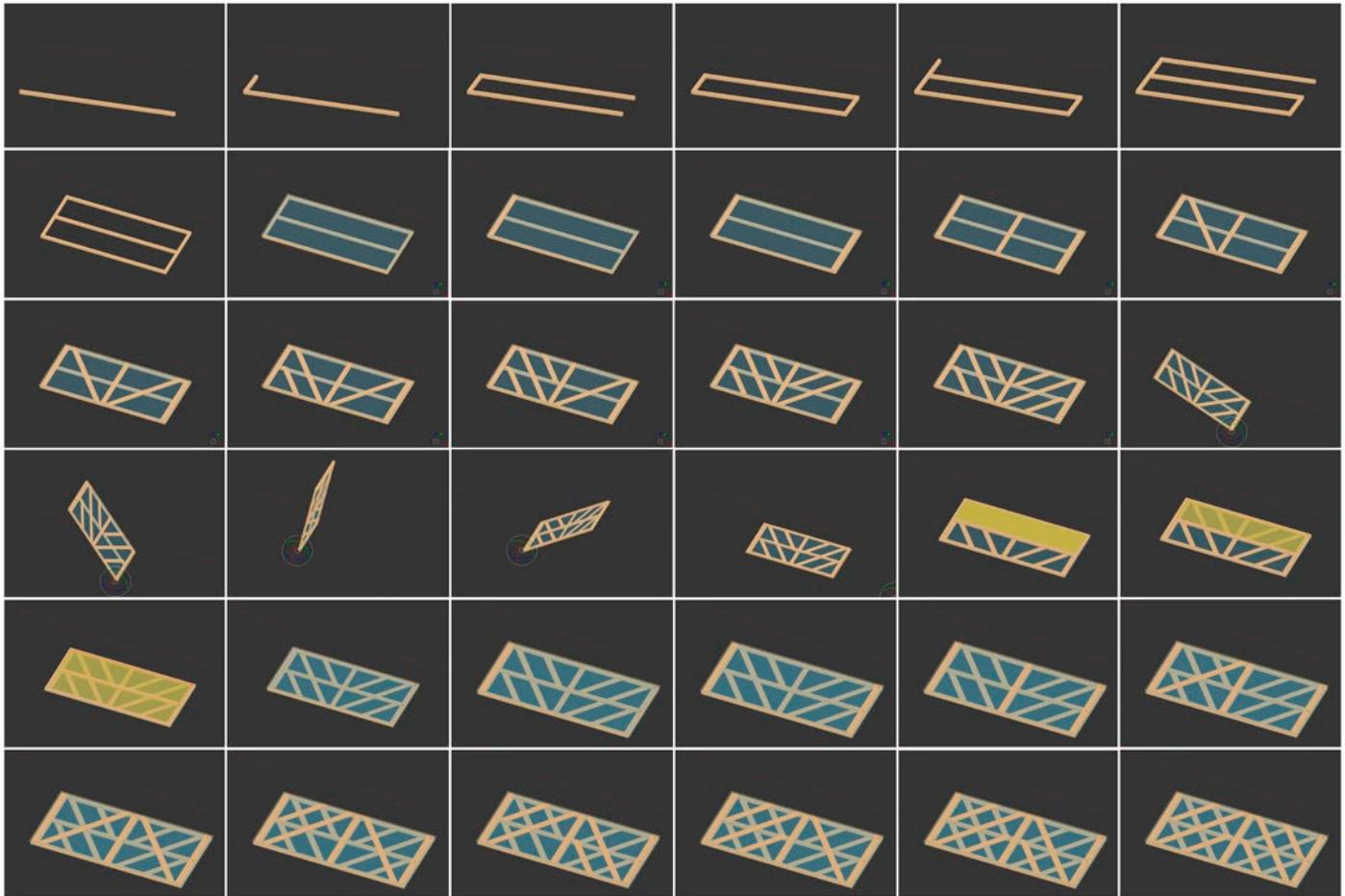
The fact that “directorial” choices have still been necessary on part of the au-

thor of the assembly instructions mostly derives from the fact that a scene configuration which is very suitable for showing the logic underlying the structure of an object (e.g. a construction component or system) is not necessarily the same as a scene which is very suitable for showing how the object can be built. This is due to the fact that the information regarding how an object is structured can embody or not within itself some information about how a person should interact with the object during the production phases; coupled with the fact that compounding the latter information does not necessarily simplify the comprehension of the construction logic.

The experience of devising these assembly instructions has shown that

utilizing a game engine does not dissolve the need of “directorial” decisions, but shifts it towards higher levels of abstraction, in particular if it is accompanied by the strategy of structuring the instructions on the basis of the construction sequences. In the example in figure 4, the same construction sequence shown in figure 1 (where it was conceived for simplifying the description of the logic structure of the solution) has been rearranged so as to take place from the viewpoint of a person constructing the panels. The result is that the description in figure 4 makes the comprehension of the operations easier, but it also makes the description of the logic structure of the system longer, because the object in question has to be moved around in the views

04 |

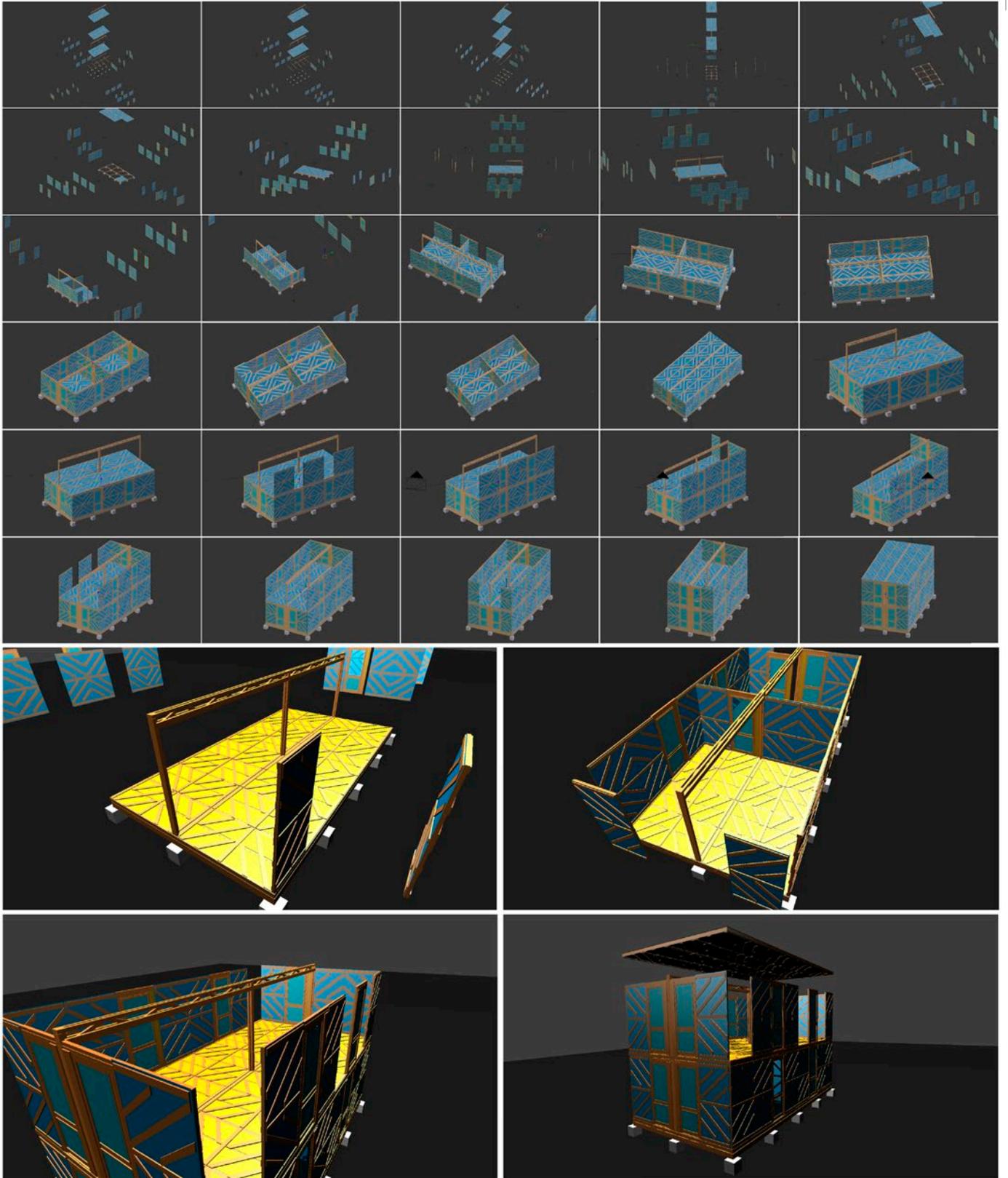


along the construction process.

A major consideration that the authors have drawn from the here presented experience is that supporting the creation of assembly instructions with a game engine can increase the awareness of the construction process not only for the user of the instructions, but also for the creators of the instructions, which is of particular value if the creators of the instructions are the designers of the thing which is being described. This value derives from the additional analytical elaboration required by the operation of creating the instructions; which, in turn, derives from a combination of factors as diverse as the necessity of explaining the construction process, the necessity of accompanying the sequence of steps with explanatory texts, and the possibility of completing the descriptions with ordinary 2D detailed drawings.

A further consideration that can be derived from the here presented experience emerges from the fact that creating interactive and animated instructions encourages the pursuit of self-documentability of projects, along the line of the so-called “literate programming” (self-documenting programming) proposed, in the field of computer science, by Donald Knuth (1992). The attainment the objective of “literate design”, self-documenting design, could be especially useful in the perspective of increasing the effectiveness of assembly instructions aimed at DIY projects (Kuznetsov and Palos, 2015), even more in consideration of the prosumer possibilities that the current DIY scenery is demonstrating to be capable of opening up (Fox, 2014). The two considerations concur to support the hypothesis that an appropriate use of interactive features included

in game engine technologies can play an important role in strengthening the awareness of both designers and design-users; and that a key reason of that possibility is that gaming technologies can enable users to utilize their own ingenuity (probably, the most adequate of resources for supporting comprehension and memorization in human beings) as a learning resource for reinforcing understanding and memorization, to their best advantage.



Il raggiungimento dell'obiettivo di una progettazione "letterata", auto-documentante, potrebbe risultare particolarmente utile nella prospettiva di un aumento dell'efficacia delle istruzioni di assemblaggio mirate al fai-da-te (Kuznetsov and Palos, 2015), ancor più in considerazione della possibilità di tipo *prosumer* che lo scenario contemporaneo sta dimostrando di potere dischiudere (Fox, 2014).

I dati accumulati convergono nel sostanziare l'ipotesi che un uso appropriato delle qualità interattive dei *game engine* possa contribuire in modo importante a supportare la consapevolezza degli utenti e dei progettisti di oggi; e che una condizione chiave di questa possibilità sia costituita dal fatto che le tecnologie da *gaming* possono mettere gli utenti nella condizione di utilizzare la propria ingenuità – sotto molto aspetti, la risorsa più adeguata a favorire le funzioni della comprensione e della memorizzazione negli essere umani – come fattore di apprendimento, a proprio completo vantaggio.

REFERENCES

- Moloney, J. (2015), "Videogame Technology Re-Purposed", *Procedia Technology*, Vol. 20, pp. 212-218.
- Kosmadoudi, Z., Lim, T., Ritchie, J., Louchart, S., Liu, Y. and Sung, R. (2013), "Engineering Design using game-enhanced CAD", *Computer-Aided Design*, Vol. 45 (3), pp. 777-795.
- Johnston, B., Bulbul, T., Beliveau, Y. and Wakefield, R. (2016), "An assessment of pictographic instructions derived from a virtual prototype to support construction assembly procedures", *Automation in Construction*, Vol. 64, pp. 36-53.
- Koo, B. and Fischer, M. (2000), "Feasibility study of 4D CAD in commercial construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 126(4), pp. 251-260.
- Tversky, B., Bauer Morrison, J. and Betrancourt, M. (2002), "Animation: can it facilitate?", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 57, pp. 247-262.
- Watson, G., Butterfield, J., Curran R. and Craig, C. (2010), "Do dynamic work instructions provide an advantage over static instructions in a small scale assembly task?", *Learning and Instruction*, Vol. 20, pp. 84-93.
- Heesom, D. and Mahdjoubi, L. (2004), "Trends of 4D CAD applications for construction planning", *Construction Management and Economics*, Vol. 22 (2), pp. 171-182.
- Arguel, A. and Jamet, E. (2009), "Using video and static pictures to improve learning of procedural contents", *Computers in Human Behavior*, Vol. 25(2), pp. 354-359.
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M. and Wang, L. (2015), "Dynamic operator instructions based on augmented reality and rule-based expert systems", *48th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pp. 346-351.
- Sweller, J. (1988), "Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning", *Cognitive Science*, Vol. 12, pp. 257-285.
- Jeroen, J., van Merriënboer, G. and Sweller, J. (2005), "Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions", *Educational Psychology Review*, Vol. 17(2), pp. 147-177.
- Ayres, P. and Paas, F. (2007), "Making instructional animations more effective: a cognitive load approach", *Applied Cognitive Psychology*, Vol. 21(6), pp. 695-700.
- Coyne, R. (2003), "Mindless repetition: Learning from computer games", *Design Studies*, Vol. 24(3), pp.199-212.
- Agrawala, M., Phan, D., Heiser, J., Haymaker, J., Hanrahan, P., Tversky, B. and Klingner, J. (2003), "Designing Effective Step-By-Step Assembly Instructions", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 22(3), pp. 828-837.
- Inaba, K., Parsons, S.O. and Smillie, R. (2004), *Guidelines for Developing Instructions*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Yan, W., Culp, C. and Grafwan, R. (2011), "Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization", *Automation in Construction*, Vol. 20, pp. 446-458.
- Boeykens, S. (2011), "Using 3D Design software, BIM and game engines for architectural historical reconstruction", *CAADFutures Conference*, Liege, pp. 493-509.
- Fox, S. (2014), "Third Wave Do-It-Yourself (DIY)", *Technology in Society*, Vol. 39, pp. 18-30.
- Wakkary, R., Lorenz Schilling, M., Dalton, M.A., Hauser, S. Desjardins, A., Zhang, X. and Lin H.W.J. (2015), "Tutorial Authorship and Hybrid Designers: The Joy (and Frustration) of DIY Tutorials", *CHI '15*, pp. 609-618.
- Kuznetsov, S. and Paulos, E. (2010), "Rise of the Expert Amateur: DIY Projects, Communities, and Cultures", *NordiCHI '10*, pp. 295-304.
- Brunetti, G.L. (2019), "Fileset", available at: http://figshare.com/articles/Case_study_about_the_creation_of_assembly_instructions_via_the_Blender_Game_Engine/7772768.
- Southall, R. and Biljecki, F. (2017), "The VI-Suite". *Open Geospatial Data, Software and Standards*, Vol. 2(23), pp. 1-13.
- Kranzberg, M. and Pursell, C.W. (1967), *Technology in Western Civilization*, Vol. 2, Orford, Oxford University Press.
- Chiavarini, B., Liguori, M.C., Verri, L., Imboden, S., De Luca, D. and Guizzoli, A., "On-line interactive virtual environments in blend4web", in Cappellini, V. (Ed.), *EVA17 Florence*, pp. 117-123.
- Hosseini, M. and Swaminathan, V. (2016), "Adaptive 360 VR Video Streaming: Divide and Conquer!", *IEEE International Symposium on Multimedia*, pp. 107-110.
- Knuth D.E. (1992), *Literate Programming*, Center for the Study of Language and Information, Stanford, USA.