



Politecnico di Bari

Repository Istituzionale dei Prodotti della Ricerca del Politecnico di Bari

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

This is a PhD Thesis

Original Citation:

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica / Costantino, Dario. - ELETTRONICO. - (2025).

Availability:

This version is available at <http://hdl.handle.net/11589/281120> since: 2024-12-30

Published version

DOI:

Publisher: Politecnico di Bari

Terms of use:

(Article begins on next page)

Dario Costantino

Architettura e digitale

Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Dottorato di ricerca in “Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio”

Politecnico di Bari, XXXVI ciclo

Tutor: prof. Giuseppe Fallacara





Politecnico
di Bari

Department of Architecture, Construction and Design

DESIGN FOR HERITAGE:

KNOWLEDGE AND INNOVATION

Ph.D. Program

SSD: ICAR/14–ARCHITECTURAL AND URBAN DESIGN

Final Dissertation

Architecture and digitalis. Extended reality
and artificial intelligence for architectural
design, visualization and construction

by

Costantino Dario:

Referees:

Prof. Alessandro Melis

Prof. Renzo Lecardane

Supervisor:

Prof. Giuseppe Fallacara

Coordinator of Ph.D. Program:

Prof. Carlo Moccia

Course n°37, 01/11/2021-31/10/2024

Dottorato di ricerca in “Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio”

Curriculum: Costruzione
XXXVII Ciclo (2021-2024)

Politecnico di Bari
Via Orabona 4
70126 Bari, Italia

Dottorando: Dario Costantino
Matricola: 586473
Tutor: Prof. Giuseppe Fallacara
Coordinatore del Dottorato: Prof. Carlo Moccia

In copertina: *Oltre il virtuale*. Fotomontaggio di Dario Costantino incentrato sul prototipo *Ceci n'est pas un fossile* progettato da Giuseppe Fallacara.

Indice

1. Introduzione	10
1.1. Premessa	10
1.2. Struttura della tesi	16
1.3. Obiettivi della ricerca	16
1.4. Metodologia	18
PARTE PRIMA	
2. Il rapporto tra architettura e tecnologia	22
2.1. Premessa	22
2.2. Dialogo tra <i>novum</i> e <i>notum</i>	22
2.3. <i>Gamification</i> ed <i>edutainment</i>	28
PARTE SECONDA	
3. La realtà estesa e il <i>virtuality continuum</i>	36
3.1. Realtà virtuale, realtà aumentata e realtà mista	36
3.2. Storia della realtà estesa	39
3.3. Applicazioni di realtà estesa: analisi del contesto scientifico	54
3.3.1. L'uso della VR in architettura	54
3.3.2. L'uso dell'AR in architettura	69
4. L'intelligenza artificiale	82
4.1. Contestualizzazione dell'IA	82
4.2. Il pensiero associativo	88
4.3. L'uso dell'IA generativa in architettura	92

PARTE TERZA

5. L'esperienza diretta	98
5.1. Premessa	98
5.2. Il cielo mancante: una cupola per i SS. Medici di Alberobello. La VR per la valorizzazione del patrimonio	99
5.2.1. Le tecnologie immersive	103
5.2.2. Metodologia	104
5.2.3. Conclusioni e considerazioni	113
5.3. La 17. Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia: la VR per abbattere le barriere	114
5.3.1. Il luogo	116
5.3.2. I padiglioni	120
5.3.3. Conclusioni e considerazioni	123
5.4. L'IA nella Progettazione Architettonica	124
5.4.1. La VR per controllare e verificare gli spazi	128
5.4.2. La stampa 3D a piccola scala	130
5.4.3. La stampa 3D di grandi dimensioni	131
5.4.4. Progettare con le fibre	134
5.4.5. Conclusioni e considerazioni	136
5.5. L'IA nella didattica della Progettazione Architettonica	138
5.5.1. L'organizzazione del laboratorio	138
5.5.2. Fase 1: dall'IA alla stampa 3D	139
5.5.3. Fase 2: dall'IA al fotomontaggio	142
5.5.4. Fase 3: dall'IA al rendering	146
5.5.5. Fase 4: il progetto finale	148
5.5.6. Conclusioni e considerazioni	148
5.6. Il feedback degli studenti	152
5.6.1. Il livello di partenza	152

5.6.2. L'entusiasmo per la novità	153
5.6.3. L'IA come strumento	155
5.6.4. Il metodo didattico	157
5.6.5. Valutazioni finali	158
5.7. <i>Ceci n'est pas un fossile</i> : realizzare strutture complesse con la realtà aumentata	160
5.7.1. L'eseguibile di realtà aumentata	164
5.7.2. La verifica sul campo	169
5.7.3. Conclusioni e considerazioni	172
6. Altre esperienze	174
6.1. Stereotomic Design Holograms: l'AR per la divulgazione scientifica	174
6.1.1. Il contesto	174
6.1.2. Il progetto	175
6.1.3. Il metodo	177
6.1.4. Conclusioni e considerazioni	181
6.2. La ricerca dello spazio	182
6.2.1. Un'esperienza di virtualizzazione degli spazi disegnati da Franco Purini	182
6.2.2. Conclusioni e considerazioni	186
6.3. Stereotomy 4.0: sperimentazioni litiche sostenibili per il futuro delle costruzioni	188
6.4. Considerazioni su metaverso e progettazione immersiva	192
PARTE QUARTA	
7. Conclusioni	198
8. Bibliografia e sitografia	202

Ringraziamenti

La ricerca contenuta in questa tesi è il frutto di un lavoro stratificato, che non sarebbe stato possibile senza il supporto di una serie di figure fondamentali che mi hanno aiutato a metterne insieme i pezzi durante l'intero triennio.

In primis è doveroso un ringraziamento al mio tutor, il prof. Giuseppe Fallacara, che ha creduto in questa ricerca e che mi ha aiutato a trovare sempre nuovi mezzi e occasioni per espanderne i confini, permettendomi di prendere parte a esperienze indispensabili per valorizzare al massimo le sperimentazioni effettuate.

In secondo luogo voglio ringraziare il VR3Group del Politecnico di Bari e, in particolare, il prof. Antonio Uva e gli ingegneri e ricercatori Michele Gattullo ed Enrico Andrea Laviola, che hanno dato un ausilio fondamentale nell'uso della realtà aumentata.

Ringrazio anche tutti i docenti del Collegio di dottorato, che hanno contribuito a creare degli interessanti momenti di dibattito e confronto, consentendomi di trovare ogni volta nuovi spunti di riflessione.

Un sentito grazie va a tutti i colleghi e amici che, in modalità e misure diverse, hanno condiviso con me parte di questo percorso, aiutandomi non solo in termini pratici, ma fornendomi spesso anche un prezioso sostegno morale.

Infine, dedico un profondo ringraziamento alla mia famiglia per il supporto costante e incondizionato e a Ilaria Cavaliere per essere stata sempre al mio fianco.

Abstract

L'obiettivo di questa ricerca è investigare il rapporto tra architettura e tecnologie digitali, analizzando nello specifico il modo in cui la disciplina architettonica si interseca con la realtà estesa e l'intelligenza artificiale generativa. Ciò è stato fatto organizzando il lavoro in due fasi, una di ricerca teorica, per costruire un solido riferimento per le successive analisi critiche, e una pratica, ovvero basata sul *learning by doing*.

Quindi, inizialmente ci si è concentrati sulla ricostruzione della storia delle tecnologie immersive e dell'intelligenza artificiale, cercando di contestualizzarle e di comprendere quali siano stati e quali siano tutt'ora gli utilizzi che vengono fatti di questi strumenti, attingendo necessariamente a campi e approcci anche molto distanti da quelli puramente architettonici.

La consapevolezza derivante da questo processo è stata immessa nella seconda fase, durante la quale si sono svolte una serie di esperienze in prima persona, applicando strumenti, tecniche e conoscenza raccolte a progetti e sperimentazioni architettoniche di varia natura: progettazione, didattica, valorizzazione e costruzione.

The objective of this research is to investigate the relationship between architecture and digital technologies, specifically analyzing the way in which the architectural discipline intersects with extended reality and generative artificial intelligence. This was done by organizing the work in two phases, one focused on theoretical research, in order to build a solid reference for subsequent critical analyses, and one focused on practice and so based on the learning by going method.

Therefore, initially history of immersive technologies and artificial intelligence was reconstructed, trying to contextualize technologies and understand the uses that have been made and that are made of these tools, necessarily drawing on fields and approaches even very distant from purely architectural ones.

The awareness deriving from this process was introduced into the second phase, during which a series of first-person experiences took place, applying tools, techniques and knowledge collected to architectural projects and experiments of various kinds: design, teaching, valorisation and construction.

Capitolo 1

Introduzione

1.1. Premessa

La presente ricerca si sviluppa all'interno del XXXVII ciclo del corso di dottorato in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio del dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD) del Politecnico di Bari.

Questo corso di dottorato mira ad approfondire la comprensione, la valorizzazione e la conservazione del patrimonio architettonico e paesaggistico, in virtù di una sua possibile attualizzazione e re-inserimento nel contesto contemporaneo¹ e prevede tre curriculum:

- curriculum *Patrimonio Storico*, focalizzato su tematiche legate al restauro, alla conservazione e al riuso di beni architettonici, archeologici, paesaggistici e naturali;
- curriculum *Città e Territorio*, rivolto a studi alla scala urbana;
- curriculum *Costruzione*, che riguarda l'approfondimento del rapporto tra progettazione, forma e struttura.

Questa è afferente al curriculum Costruzione e si pone come obiettivo quello di indagare l'uso delle tecnologie di estensione della realtà e di potenziamento delle capacità creative umane per lavorare nell'ambito dell'architettura possibile, sfruttando il virtuale non solo come alternativa ai comuni strumenti di visualizzazione architettonica, ma come mezzo per scoprire le potenzialità insite nel reale.

Questo rende la seguente tesi di dottorato trasversale e in grado, quindi, di trattare tematiche riguardanti il patrimonio storico, alternandosi concettualmente tra il piano immateriale del lavoro digitale e quello materiale attraverso un approccio a volte necessariamente giornalistico, cercando nozioni e informazioni altresì provenienti da campi distanti da quello architettonico. Una situazione, questa, inevitabile, innanzitutto per la natura intrinsecamente multidisciplinare sia dell'architettura in sé che delle tecnologie studiate – che nascono in epoche e contesti variegati – e, in secondo luogo, per la necessità – come si vedrà quando si tratterà il tema della didattica e dell'intelligenza artificiale – di compensare

¹ <https://www.poliba.it/it/didattica/dottorati-di-ricerca/conoscenza-e-innovazione-nel-progetto-il-patrimonio-design-heritage#>.

l'assenza di riferimenti esterni attendibili e consolidati attraverso la conduzione di veri e propri reportage.

In ogni caso, l'interesse nei confronti delle tecnologie non è una novità all'interno del panorama accademico del Politecnico di Bari, che, grazie all'operato del professor Claudio D'amato Guerrieri – fondatore della facoltà di Architettura di Bari –, del professor Giuseppe Fallacara e di diversi altri docenti, si è sempre posto in una condizione intermedia tra rispetto e valorizzazione della tradizione architettonica pugliese – attraverso la particolare attenzione riservata al materiale lapideo e alle sue potenzialità costruttive – e curiosità critica nei confronti dell'evoluzione tecnico-scientifica – rappresentata fin dal 2000 da uno studio attento e costante delle tecnologie di modellazione 3D e di fabbricazione digitale, oltre che dal lavoro con materiali e tecniche innovative come i geopolimeri o le fibre di vetro e carbonio.

Nonostante ciò, se da una parte è possibile affermare che l'utilizzo di alcuni software, come quelli di Computer Aided Design (CAD) e di Computer Aided Manufacturing (CAM), siano ormai diventati parte integrante e spesso indispensabile della pratica architettonica, dall'altra è necessario sottolineare che esistono ancora degli strumenti per cui ciò non accade e che, anzi, sono guardati con particolare sospetto, per esempio la cosiddetta realtà estesa e l'intelligenza artificiale.

Questa condizione di coesistenza tra movimenti di resistenza ed entusiasmo scientifico rende particolarmente difficile addentrarsi nel rapporto tra tecnologia e architettura, che sembra essere per sua natura costituito da antinomie e contrasti tra ciò che si può fare e ciò che si vuole fare, tra ciò che preserva la disciplina e ciò che la rivoluziona. Fin dalle prime sperimentazioni, infatti, le aspettative e i desideri degli architetti e dei ricercatori hanno trovato in campi come quello della visualizzazione immersiva – erroneamente definita realtà virtuale, come si vedrà in seguito – sia vincoli, più o meno evidenti, sia motivi di slancio e ardore. I limiti tecnologici e i costi elevati, per esempio, hanno spesso ostacolato, nel corso della storia, gli obiettivi avanguardistici della ricerca, in netto contrasto con un immaginario sempre più ricco di ispirazioni: dal cinema (*Matrix* e *Tron*) al fumetto (*Akira*) alla letteratura (*Ready Player One*), il mondo dell'arte, fin dagli anni Sessanta del 1900, ha sempre contribuito in modo deciso all'evolversi

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Cap. 1. Introduzione

di una determinata idea di futuro immerso nella virtualità. Inoltre, un ulteriore elemento che contribuisce notevolmente a complicare la situazione è dato dall'essenza intrinsecamente multidisciplinare sia del campo tecnologico che di quello architettonico, entrambi caratterizzati da confini che, seppur distinguibili, risultano estremamente permeabili. Questa condizione implica una variegatura della materia trattata che si è scelto di affrontare attraverso una ricerca altrettanto ampia e diversificata, accostando ai ragionamenti prettamente architettonici riflessioni di carattere filosofico, videoludico, didattico, sociale e artistico.

«Al giorno d'oggi i concetti limitati e le definizioni tradizionali dell'architettura e dei suoi strumenti non hanno più molto valore. È assai più utile dedicarsi all'ambiente nella sua totalità e a tutti i media che lo definiscono. Alla televisione come al clima artificiale, ai trasporti come all'abbigliamento, al telefono e all'abitazione. L'espansione della sfera umana e degli strumenti che definiscono il mondo circostante va ben oltre una definizione architettonica. Oggi tutto diventa in qualche modo architettura. L'«architettura» è uno di questi media».²

Inoltre, costringere la ricerca architettonica a uno specifico strumento o ambito della contemporaneità significherebbe ancorarla a un particolare momento storico, rischiando che l'evolversi rapido e incessante della tecnologia renda presto obsoleti i risultati raggiunti. Dunque, il progresso stesso – o tutto ciò che il professor Ivano Dionigi definirebbe *novum*³ – non può che essere considerato un pretesto per consentire una riflessione critica e atemporale, i cui risultati diventino una guida per un ragionamento architettonico consapevole, che garantisca all'architetto di mantenere sempre un ruolo centrale e, soprattutto, di trovare agganci validi con la realtà che lo circonda. Del resto, il mestiere dell'architetto è intrinsecamente legato alla concretezza e alla materialità, ma questo concetto è sempre meno scontato: la tentazione di cedere al fascino del virtuale assoluto e della sua assenza di vincoli materici è sempre

² Hollein, H., *Tutto è architettura*, in Biraghi M, Damiani G. (a cura di), *Le parole dell'architettura. Un'antologia di testi teorici e critici: 1945-2000*, Torino, Giulio Einaudi Editore, 2009.

³ Dionigi, I., *L'architetto: un muratore che sa il latino*, in *The Plan*, vol. 116, pp.15-20, 2019.

più forte, complice una dimensione lavorativa macchinosa in cui il costruibile è assoggettato a un complesso e scoraggiante groviglio economico-legislativo mentre, al contrario, la fuga dalla realtà è sempre più semplice e quasi assecondata dalle attuali condizioni sociali.

A tal proposito è necessario effettuare una digressione.

Una serie di studi sociologici hanno dimostrato che l'attuale stile di vita umano, caratterizzato da un ritmo spesso frenetico, tende a favorire l'emergere di una serie di problematiche fisiche e mentali, generando sempre più frequentemente un fenomeno noto come *escapismo*, ossia di fuga dalla realtà⁴.

Questa situazione, in contrasto con quanto generalmente emerge quando si parla di tecnologie di realtà estesa o immersiva, sta portando a un progressivo aumento di tempo speso in ambienti virtuali, interagendo con contesti fisici e sociali simulati, che aziende come Facebook tendono a pubblicizzare come il futuro dell'interazione, dell'intrattenimento e del lavoro umani. È proprio dall'idea che il futuro debba andare necessariamente in questa direzione – di cui sono complici sia la cultura d'intrattenimento pop sia gli effetti della pandemia di Covid-19 del biennio 2019-2021 – che nasce una distorsione percettiva che tende a far considerare in modo acriticamente positivo gli strumenti della contemporaneità e a valorizzare eccessivamente, per esempio, temi come quello del Metaverso.

A testimonianza di ciò, sembra che comunemente gli studi sull'uso della realtà virtuale (VR) – si escludono da questo ragionamento realtà aumentata (AR) e realtà mista (MR), per via del livello di immersività basso o nullo – tendano a concentrarsi unicamente sui vantaggi immediati, tralasciando i potenziali danni fisici e mentali nel medio-lungo termine o limitandoli alla cosiddetta *motion sickness*, ossia nausea e giramenti di testa causati dall'uso prolungato del visore. Questa è una visione estremamente parziale e scollegata dalle reali condizioni sociali del mondo contemporaneo, in cui il fenomeno dell'escapismo è sempre più ingombrante.

⁴Han, DI. D., Bergs, Y., Moorhouse, N., *Virtual reality consumer experience escapes: preparing for the metaverse*, in *Virtual Reality*, vol. 26, pp. 1443-1458, 2022.

Dagli anni Cinquanta del 1900 – in cui si comincia a parlare di escapismo – è avvenuta una importante evoluzione di media, digitali e non, che ha favorito lo sviluppo di quello che viene definito *escapismo auto indulgente attivo*, per il quale le persone non si limitano a comportarsi da osservatori passivi delle proprie vite – come accade comunemente col verificarsi di situazioni depressive –, ma tentano di evadere da esse attraverso una interazione effettiva con realtà alternative come quelle dei videogiochi o dei social network, cercando situazioni euforiche che fungano da distrazione. Conseguenza di questo atteggiamento è un progressivo scollamento dal mondo concreto, che si traduce in depressione, ansia, aggressività e diminuzione delle *skill* sociali, ma nonostante la gravità delle conseguenze negative della realtà estesa, la ricerca su queste risulta esigua⁵.

Paradossalmente, quindi, sembra che quelle stesse caratteristiche che rendono utili o interessanti gli strumenti immersivi – e che sono sostanzialmente le emozioni positive, il senso di coinvolgimento e l’entusiasmo propri della *gamification*, di cui si parlerà in seguito – trovano nella loro estremizzazione un problema sociale di cui si discute poco e che può avere delle ricadute profonde su tutti gli ambiti umani.

Questa apparente divagazione è stata necessaria per due ragioni: la prima è legata alla necessità di comprendere in quale realtà ci si sta davvero muovendo quando si lavora con tecnologie come la realtà virtuale, evitando quindi il rischio di incorrere in un atteggiamento anti-scientifico e in una esaltazione acritica del loro valore; in secondo luogo testimonia la consapevolezza di rischi e di dinamiche socio-culturali estreme ma possibili, che da questo punto in poi saranno omesse, in favore di uno studio in cui si dà per scontato un utilizzo morigerato, razionale e puramente lavorativo di visori e strumenti affini e che dia spazio a considerazioni critiche limitate all’ambito divulgativo e architettonico. Quest’ultimo è per propria natura legato al concreto, alla materia e alla pratica costruttiva, dunque vincolarlo a un lavoro puramente digitale sarebbe paradossale. Nonostante ciò, si sente sempre più spesso parlare di figure come gli “architetti digitali”, generalmente impiegati per la progettazione di luoghi di cui fruire esclusivamente in

⁵ *Ibid.*

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

forma virtuale: esistono progetti di sale conferenze, negozi e intere città relegate all'ambito del metaverso, come *Liberland*, progettata da Zaha Hadid Architects⁶. È importante, quindi, trovare dei punti di incontro col reale e, come si è già accennato, fare in modo che lo studio del rapporto tra architettura e realtà estesa – di cui si parlerà più approfonditamente nelle prossime pagine – non si limiti a un lavoro puramente digitale, ma abbia delle ricadute fisiche, promuovendo o aiutando nella progettazione e nella divulgazione di settore, velocizzando e semplificando le necessarie prototipazioni tipiche della ricerca e favorendo la creazione di un ambiente di scambio scientifico agile tra professionisti. Che si tratti di ologrammi per contesti fieristici o di gemelli digitali di beni storici, la domanda a cui si cerca sempre di rispondere in questa tesi è: in che modo le attuali tecnologie contribuiscono a modificare ed eventualmente migliorare le attività che gravitano intorno alla disciplina architettonica?

⁶ Dal Dosso, S., «Zaha Hadid era già pronta per il Metaverso. Una chiacchierata con Shajay Bhooshan, cofondatore di Code, il gruppo di ricerca di design computazionale di Zaha Hadid Architects (Zha), alla base di progetti come Liberland.», *Domus*, 2 maggio 2023, <https://www.domusweb.it/it/architettura/2023/05/02/zaha-hadid-era-gi-pronta-per-progettare-nel-metaverso.html>.

Fig. 1. Screenshot di Liberland, città del metaverso progettata da Zaha Hadid Architects.



1.2. Struttura della tesi

La presente tesi è divisa in quattro parti. Dopo questo capitolo introduttivo si passa a una sezione contenente alcuni dei concetti chiave che hanno guidato lo scrivente durante l'intero lavoro di ricerca e che ne rappresentano le fondamenta teoriche.

Successivamente si passa ad affrontare il tema delle tecnologie di realtà estesa e poi di intelligenza artificiale, dando prima delle definizioni utili e successivamente effettuando sia una panoramica storica sia una scientifica, attraverso lo studio e il commento di una selezione di articoli e documenti su esperienze e studi portati avanti dai ricercatori di tutti il mondo, effettuata usando come criterio il campo di applicazione. Questo lavoro è stato fondamentale per costruire uno stato dell'arte e fondare un *background* conoscitivo vasto ed eterogeneo su cui costruire il resto del lavoro.

A seguire si trova la terza parte della ricerca, la cosiddetta *practice based research*, ossia quella delle esperienze svolte in prima persona sia in ambito architettonico-progettuale sia didattico-divulgativo. Queste hanno rappresentato una fase di confronto formativa indispensabile e una fonte di dati diretta grazie alla quale è stato, poi, possibile elaborare considerazioni critiche e rilevare pregi e difetti degli strumenti adoperati.

Infine, la quarta parte contiene le riflessioni conclusive sull'intero lavoro svolto, sullo stato del rapporto tra architettura e innovazione tecnologica e sulle prospettive future.

1.3. Obiettivi della ricerca

Questo percorso di dottorato, pur facendo leva sulla capacità di utilizzare un vasto numero di software e strumenti (programmi di modellazione tridimensionale e di fotoritocco, applicazioni di rendering e di video editing, piattaforme per la programmazione di applicazioni di realtà virtuale e per l'interazione con l'intelligenza artificiale) è focalizzata su due grandi temi: la realtà estesa e l'intelligenza artificiale generativa, con l'obiettivo di comprendere come questi mezzi possano essere introdotti all'interno della disciplina architettonica in modo efficace, scontrandosi con le diffidenze e alterando o integrando l'*iter* progettuale standard.

Nello specifico gli obiettivi sono stati i seguenti:

1) ricostruire brevemente la storia delle tecnologie immersive e contestualizzare l'intelligenza artificiale generativa per la creazione di immagini.

Per affrontare efficacemente il rapporto tra architettura e tecnologia, tra passato e futuro, tra tradizione e innovazione, è necessario conoscerne l'evoluzione storica e gli ambiti all'interno dei quali le tecnologie prese in esame sono nate e si sono sviluppate. Ciò permette di comprendere a pieno il range di possibilità che esse hanno offerto, che offrono e che potranno offrire negli anni a venire e, conseguentemente, di valutarne l'efficacia in tutti i rami della disciplina architettonica (visualizzazione, progettazione, verifica degli spazi, confronto con esperti, valorizzazione culturale, ecc.).

2) Studiare l'applicazione scientifico-pratica delle tecnologie immersive e di intelligenza artificiale generativa.

Nell'ottica di sviluppare una tesi che fornisca un contributo valido alla ricerca è necessario essere consapevoli di quali siano *attualmente* i campi di applicazione delle tecnologie prese in esame, sfruttando i dati raccolti da altri ricercatori per avere una valida base conoscitiva di partenza, un riferimento concreto durante lo studio – da sfruttare per effettuare confronti – e, infine, una fonte di ispirazione per nuovi esperimenti e progetti da svolgere al fine di effettuare un avanzamento valido rispetto a ciò che è già stato fatto.

3) Testare personalmente gli strumenti attraverso progetti ed esperienze di varia natura.

Una volta costruito un background teorico è opportuno procedere al cosiddetto *learning by doing*⁷, ossia il reale momento di confronto

⁷ *Learning by doing* significa letteralmente *imparare facendo* ed è una teoria pedagogica teorizzata dal filosofo americano John Dewey (20 ottobre 1859 - 1 giugno 1952) che si basa sull'idea che l'apprendimento sia un'esperienza sociale che, quindi, si sviluppa attraverso l'interazione diretta col contesto in cui si vive, allenando la capacità di *problem solving*, il pensiero critico e la creatività (https://www.structural-learning.com/post/john-deweys-theory#:~:text=Dewey's%20philosophy%20of%20%22Learning%20by,interaction%20in%20the%20learning%20process.)).

con la materia che si sta studiando, passando dalla dimensione teorica a quella pratica. Per ogni tecnica e tecnologia presa in esame sarà descritto un progetto in cui lo scrivente ha avuto modo di testarla direttamente, effettuando per ciascuno un inquadramento di carattere generale, descrivendo la metodologia applicata ed elaborando delle considerazioni critiche.

4) Effettuare analisi e considerazioni.

Gli esiti delle esperienze saranno esaminati e commentati, delineando per ciascuno vantaggi e svantaggi e facendo, dove necessario, gli opportuni parallelismi con altre tecniche e metodologie, evidenziando, qualora ci fossero, punti di convergenza o divergenza. Questa analisi comparativa consentirà di inserire i risultati ottenuti all'interno di un panorama più ampio, fornendo una comprensione più approfondita delle potenzialità e delle limitazioni dei diversi approcci esaminati.

1.4. Metodologia

Riepilogando quanto emerso fino a questo punto, la ricerca in oggetto è stata divisa in due parti: la prima è stata di natura teorica, raccogliendo e studiando materiale proveniente da siti, libri, riviste e articoli scientifici al fine di costruire uno stato dell'arte; la seconda parte è consistita nel già citato *learning by doing*, ovvero quella dell'attività pratica, in cui lo scrivente ha dovuto accostare all'utilizzo ormai consolidato di software di disegno 2D, di modellazione 3D e di visualizzazione architettonica; anche lo studio e l'applicazione di strumenti per programmare applicazioni di realtà virtuale (Unreal Engine, Gravity Sketch e Twinmotion), di realtà aumentata (Meta Spark Studio) e di intelligenza artificiale generativa (Midjourney, Stable Diffusion).

La padronanza di questi è derivata dalla frequentazione di workshop come *Design in Virtual Reality* – organizzato dal gruppo Parametric Architecture e tenuto dal AR/AR artist Christian Venables –, dallo studio autonomo e dallo sviluppo di una serie di *skill* in visualizzazione architettonica e in creazione di ambienti immersivi che già erano state raccolte nel periodo della tesi di laurea – incentrata proprio sull'applicazione della realtà virtuale in ambito architettonico e intitolata

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

*Architettura e realtà virtuale. Verso la definizione di metodi e modelli progettuali innovativi*⁸.

⁸ Il progetto di tesi – ovvero un’opera di riqualificazione della città fantasma di Craco tramite l’uso di realtà virtuale e superfici minime – è stato sviluppato da Maria Lucia Valentina Alemanno, Iliaria Cavaliere, Dario Costantino, Alessandro De Bellis e Isabella Giordano sotto la guida del professor Giuseppe Fallacara nell’anno accademico 2019-2020. Il 28 luglio 2023 il progetto è stato presentato e discusso dal prof. Giuseppe Fallacara, Dario Costantino e Iliaria Cavaliere nell’ambito del workshop internazionale intitolato *Valledolmo Paradise 2030. Living the transition*, organizzato online da: Università di Palermo (Italia), Vienna University of Technology (Austria), Kyushu University (Giappone), Syracuse University (USA), Pusan National University (Corea).

Fig. 2. Rendering tratto dalla tesi di laurea *Architettura e realtà virtuale. Verso la definizione di metodi e modelli progettuali innovativi*.



PARTE PRIMA

Capitolo 2

Il rapporto tra architettura e tecnologia

2.1. Premessa

Quanto riportato in questo capitolo rappresenta la base teorica di questa tesi. All'interno di un percorso di dottorato fortemente incentrato sull'uso della tecnologia, il rischio che questa diventi altro e superi la sua stessa missione è presente ed è necessario evitare questa distorsione creando dei punti di riferimento saldi che permettano di mantenere sempre chiaro il fulcro della ricerca, ovvero l'architettura. Per questa ragione si è ritenuto utile fare una riflessione sul rapporto tra pratica architettonica e tecnologia nel tentativo di evidenziare un concetto ritenuto di importanza fondamentale: l'avvento dei nuovi strumenti non mette in crisi il progettista ma, al contrario, ne amplifica le potenzialità aumentandone, di conseguenza, la responsabilità oggettiva. A capacità di progettazione amplificate, infatti, deve corrispondere una componente riflessivo-critica ancora più accentuata che va costruita attraverso una formazione e un lessico nuovi, in cui si tenga conto anche di principi insoliti come quelli della *gamification*, ossia della "ludicizzazione" a fini educativi. Riuscire a conoscere il funzionamento di questa pratica, apparentemente lontana dal mondo dell'architettura, permette di comprendere a pieno le potenzialità delle nuove tecnologie, sottraendole a un immaginario distorto per cui il loro legame col mondo del *gaming* le priva di una valenza professionale e didattica valida.

2.2. Dialogo tra *novum* e *notum*

La Rivoluzione Digitale ha radicalmente cambiato la vita degli esseri umani: ha modificato il sistema dei rapporti interpersonali, ha alterato il modo in cui si comunica, il lavoro e persino la creatività. Quest'ultima, in particolare, è stata notevolmente influenzata e, soprattutto, arricchita; dalla possibilità di accedere facilmente sia a una serie di strumenti sempre più complessi ed economici – in termini di hardware quanto di software –; sia a un insieme di materiali in continua espansione e consultabile in qualunque momento. Inoltre, ciò che è sempre stato fisico si sta smaterializzando per assumere connotazioni nuove ed entrare a far parte di quel mondo digitale che ormai funge da perfetta

controparte virtuale di quello concreto. Il fenomeno degli NFT⁹ e del loro impatto commerciale è rappresentativo del processo in atto. In questo contesto, dominato dal paradosso per cui alla facilità con cui la tecnologia si evolve si contrappone la difficoltà con cui la si controlla, diventa indispensabile studiare e sperimentare.

Un professionista oggi non può scindere la sua formazione dalla comprensione di come il mondo si stia evolvendo, e ignorare o ripudiare a priori gli strumenti della contemporaneità significa precludersi nuove modalità di pensare l'architettura e perdere il contatto con la realtà; un architetto deve essere in grado reinventarsi e, allo stesso tempo, farsi promotore di una sorta di dialogo ancestrale tra il mondo che esiste e quello che esisterà, tra passato e futuro, tra filantropia e "filotecnica". Del resto, l'architetto è un «muratore che ha studiato il latino»¹⁰, cioè un tecnico che conosce la storia, una figura intermedia il cui ruolo è chiaramente definito dal nome che porta, ossia *architékton*, "sovrintendente"; non semplicemente colui che costruisce in prima persona, ma colui che coordina facendosi portatore dei valori e degli insegnamenti dei maestri del passato (*notum*) e che, allo stesso tempo, ha lo sguardo rivolto al futuro, a ciò che è nuovo, alla rivoluzione e al mai sperimentato (*novum*). Citando parte del discorso del professor Ivano Dionigi tenuto in occasione del convegno *Didattica dell'architettura e Professione*, organizzato dall'Accademia di San Luca nel 2019, l'architetto deve avere un «pensiero lungo», un «pensiero che collega», una visione globale arricchita anche dalla conoscenza dei nuovi strumenti che oggi sono a disposizione della professione, nell'auspicio di un "nuovo Umanesimo", inteso come ritorno a un'unitarietà dei saperi.

«Il sapere tecnologico capta il *novum* del presente, ha lo sguardo rivolto

⁹ Per NFT si intende un *non fungible token*, ovvero un *gettone non copiabile*: è una sorta di atto di proprietà digitale di un bene fisico o virtuale e contiene dati unici che lo rendono impossibile da scambiare.

Sito web Treccani: <https://www.treccani.it/enciclopedia/non-fungible-token/>.

¹⁰ Nella raccolta di saggi *Parole nel vuoto* del 1908 Adolf Loos definisce l'architetto "un muratore che ha studiato il latino" per trasmettere il dualismo tra capacità tecnica e consapevolezza storica su cui deve basarsi la sua formazione.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte prima

Cap. 2. Il rapporto tra architettura e tecnologia

in avanti, adotta il paradigma sostitutivo della dimenticanza, si scrive nello spazio, ha familiarità con la vita intesa come *zoé*, principio vitale. Semplifica la complessità, è abilitato alle risposte, rincorre i mezzi, punta sull'*hardware*. Il sapere umanistico conosce il *notum* dalla storia, guarda avanti e indietro, adotta il paradigma cumulativo della memoria, si distende nel tempo, ha familiarità con la vita intesa come *bios*, esistenza individuale, interpreta la complessità, abita le domande, esplora i fini, punta sul software»¹¹.

L'architetto è colui che sfrutta la consapevolezza per affrontare in modo critico il mondo contemporaneo e trovare il miglior punto di incontro tra tradizione e innovazione, senza farsi trascinare da un eccessivo entusiasmo per la novità che potrebbe condurlo a considerare la tecnologia il fine anziché nel mezzo della ricerca. Se ciò accadesse, sarebbe svalutato il ruolo del professionista dell'architettura in quanto progettista e, quindi, creatore *consapevole* di ogni parte della sua opera.

Fig. 3. Il prof. Ivano Dionigi al convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* nel 2019.

Fig. 4 (alla pagina seguente). Locandina del convegno *Didattica dell'Architettura e Professione*.

¹¹ Il discorso di Dionigi al convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* è disponibile su YouTube al seguente link: <https://www.youtube.com/watch?v=7G959cicdFY&t=5358s>.





ACCADEMIA NAZIONALE DI SAN LUCA

convegno internazionale

DIDATTICA DELL'ARCHITETTURA E PROFESSIONE

TEACHING AND PRACTICE OF ARCHITECTURE

a cura di Francesco Cellini, Franco Purini, Claudio D'Amato

Lunedì e martedì, 3-4 giugno 2019

Monday and Tuesday, 3rd-4th June 2019

Accademia Nazionale di San Luca

Palazzo Carpegna

Roma, piazza dell'Accademia di San Luca 77

A cento anni dalla nascita della prima Scuola di Architettura Italiana (Roma, 1919), il convegno si propone di valutare lo stato dell'insegnamento dell'architettura oggi in Italia, di operarne un raffronto con altri modelli, europei ed extraeuropei e di verificare possibili linee evolutive o alternative. Oggi le scuole italiane di architettura attraversano una grave crisi strutturale relativa alla preparazione professionale degli allievi e alla qualità della docenza. L'incapacità dell'attuale docenza di formare giovani professionisti è direttamente collegata ai suoi attuali meccanismi di reclutamento che favoriscono la cooptazione di professori privi di capacità ed esperienza professionale. Fra le conseguenze: il drastico calo delle iscrizioni che, secondo i dati elaborati dal CNA (Consiglio Nazionale degli Architetti) e dalla CUIA (Conferenza Universitaria Italiana di Architettura) sono diminuite dal 2008 al 2017 del 40%, passando da circa 84.000 a circa 50.000 su un totale di 22 sedi. E così successo che progressivamente la didattica da essere il momento in cui la docenza riportava la sua esperienza professionale e di ricerca utile alla formazione professionale degli allievi, si è progressivamente identificata con la ricerca stessa "usando" gli allievi come esecutori di attività utili solo agli interessi disciplinari dei docenti stessi. Ciò implicherà necessariamente la revisione, dalle fondamenta, degli attuali ordinamenti didattici e l'introduzione del tirocinio secondo le recenti raccomandazioni UE. Emerge dunque con forza in Italia la necessità di un nuovo modello didattico fondato sul rapporto individuale docente/allievo; sull'attività pratica di laboratorio collegata alla ricerca applicata; sul rapporto con la professione, in cui "sapere" e "saper fare" procedono di pari passo; e in cui la ricerca applicata è fondamentale nella trasmissione delle conoscenze.

lunedì 3 giugno 2019

ore 10

Francesco Cellini Presidente dell'Accademia Nazionale di San Luca
Saluti istituzionali e introduzione ai temi del convegno

Ivano Dionigi Presidente del Consorzio Interuniversitario AlmaLaurea
già Rettore dell'Università di Bologna
Lectio magistralis
"Un muratore che sa il latino"

ore 11-16.30 prima sessione

La didattica di architettura - aporie

Un'analisi sulle lacune formative e degli spazi perduti dall'architettura, generati anche (forse soprattutto) dalla radicalizzazione del SSDD e da una sommaria e superficiale identificazione della didattica con la ricerca
Introduce e coordina **Francesco Moschini**

Paolo Portoghesi Professore emerito alla Sapienza Università di Roma
Accademico Nazionale di San Luca

John Ochsendorf Direttore dell'Accademia Americana in Roma dal 2017
Professore di Architettura e di Ingegneria civile e ambientale al MIT

Franco Purini Professore emerito alla Sapienza Università di Roma
Accademico Nazionale di San Luca

Paolo Zeman Professore ordinario di Composizione architettonica e urbana nell'Università di Firenze, Accademico Nazionale di San Luca

ore 17-20 seconda sessione

Gli attuali ordinamenti didattici italiani e le gabbie disciplinari

Un'analisi agli attuali ordinamenti didattici sempre più caratterizzati (anche in termini di ore di insegnamento) dalle autonomie di discipline (restauro, tecnologia, design, urbanistica) agli inizi pensate per essere prevalentemente funzionali alla composizione architettonica
Introduce e coordina **Claudio D'Amato**

Saverio Mecca Professore ordinario di Tecnologia dell'architettura nell'Università di Firenze; Presidente della CUIA, Conferenza Universitaria Italiana di Architettura

Enrico Bordogna Professore ordinario di Composizione architettonica e urbana nel Politecnico di Milano; Accademico Nazionale di San Luca

Orazio Carpenzano Professore ordinario di Composizione architettonica alla Sapienza Università di Roma, Direttore del Dipartimento di Architettura e Progetto

Angelo Torricelli già Preside della Facoltà di Architettura Civile del Politecnico di Milano e Professore ordinario di Composizione architettonica e urbana
Accademico Nazionale di San Luca

dibattito

martedì 4 giugno 2019

ore 10-13 terza sessione

Formazione e professione

La didattica dal punto di vista della professione. La formazione professionale e al vertice della didattica? Ma come? Ma fino a che punto? Ma cos'è oggi la professione? Esiste un'alternativa al monopolio dell'istruzione statale in architettura?

Introduce e coordina **Francesco Cellini**

Massimiliano Fuksas Studio Fuksas, Roma, Paris, Shenzhen

Patrik Schumacher Zaha Hadid Architects, London, Hong Kong, Beijing, New York, Mexico City

Donatella Fioretti studio BMF, Direttore della Scuola di Architettura alla Kunstakademie di Düsseldorf; cattedra di Progetto e costruzione

Elisa Valero dra.arquitectura; cattedra di Progettazione architettonica alla ETSIA Granada

Daria de Seta Garcés, de Seta, Bonet Arquitectes, Barcellona

dibattito

ore 15.30-19 quarta sessione

Modelli didattici italiani ed europei

Esplorazione di modelli attuali di insegnamento italiani, europei, americani fra tradizione e ricerca di alternative

Introduce e coordina **Franco Purini**

Paolo Tombesi Direttore Istituto di Architettura e della Città, EPFL, cattedra di Costruzione e Architettura, EPFL, cattedra di Costruzione, Università di Melbourne

Mario Botta Accademia di architettura della Svizzera italiana, Mendrisio

Alberto Ferlenga Rettore ILAV, professore ordinario di Composizione architettonica e urbana, Accademico Nazionale di San Luca

Jesús Aparicio Guisado cattedra di Progettazione architettonica alla ETSAM- Escuela Técnica Superior de Madrid

dibattito

Si prega di confermare la propria partecipazione inviando una mail a convegno@accademiasanluca.it entro il 31 maggio 2019

Il convegno verrà interamente trasmesso in streaming

Ulteriori informazioni su www.accademiasanluca.eu

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte prima

Cap. 2. Il rapporto tra architettura e tecnologia

La scienza tecnologica, quindi, va intesa come supporto tanto all'esperto quanto allo studente, che possono entrambi sfruttarla per ampliare i propri orizzonti e contribuire all'arricchimento della disciplina architettonica. Di ciò era ben consapevole il professor Claudio D'Amato Guerrieri, fondatore della Facoltà di Architettura di Bari¹². Egli, infatti, scelse per la sua scuola un percorso che fosse contemporaneamente aperto all'innovazione – tramite l'allestimento già nei primi anni 2000 di un laboratorio dotato delle tecnologie CAM/CAD più all'avanguardia¹³ – ma legato alla storia – attraverso la forte rilevanza data all'insegnamento di quest'ultima nel corso di tutti gli anni universitari – intuendo la necessità di formare degli allievi capaci di destreggiarsi con la già citata dialettica tra *notum* e *novum*, e dotati di un *background* culturale tale da fornire loro dei riferimenti solidi.

Fig. 5. Il prof. Claudio D'Amato Guerrieri e il prof. Saverio Mecca al convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* nel 2019.

¹² Claudio D'Amato Guerrieri (Bari, 1944 – Roma, 2019) è stato architetto e teorico dell'architettura italiano, insignito nel 2014 del Premio Presidente della Repubblica.

¹³ Cascione, V., *La ricerca e la didattica fra tradizione e innovazione: lo scalpellino del XXI secolo*, in Fallacara, G., Restucci, A. (a cura di), *Claudio D'Amato Guerrieri e la "scuola barese di Architettura. A trent'anni dall'istituzione del Politecnico di Bari e della facoltà di Architettura*, Roma, Gangemi Editore, 2020, pp. 351-359.



Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

Un problema concreto, questo, legato al fatto che sono mancate negli anni indispensabili operazioni di educazione e di sensibilizzazione nei confronti dei prodotti della rivoluzione digitale, lasciando ai singoli l'onere di comprenderla tramite la propria specifica preparazione e sensibilità.

A tal proposito il maestro Franco Purini¹⁴, infatti, si è espresso durante il convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* nei seguenti termini:

«È mancato, nel passaggio alla rivoluzione digitale, un [...] concerto riguardante i fondamenti e le iniziative per le facoltà di architettura adatte a questa nuova età della comunità umana; è mancato un dibattito planetario su che cosa significhi oggi la rivoluzione digitale all'interno dell'insegnamento dell'architettura. Ci sono ovviamente sperimentazioni, soprattutto in area anglosassone, di un certo interesse, ma è mancato un dibattito esplicito e profondo su questo tema. [...]

¹⁴ Franco Purini (9 novembre 1941) è architetto e docente di architettura italiano, insignito del premio Presidente della Repubblica nel 2013.

Fig. 6. Il prof.
Franco Purini al
convegno *Didattica
dell'Architettura e
Professione* nel 2019.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte prima

Cap. 2. Il rapporto tra architettura e tecnologia

Viviamo nell'età globale e che cosa troviamo nella condizione attuale dell'architettura della globalizzazione? La tecnologia come fine e non più come strumento: [...] la tecnologia ha oltrepassato i propri limiti costituzionali, non restando, non evolvendo come strumento, ma ponendosi come finalità, questo è indubbio; alleandosi con diversi poteri che oggi governano il mondo, la tecnologia è diventata qualcosa che supera la sua stessa missione»¹⁵.

2.3. Gamification ed edutainment

L'efficacia di innovazioni come la realtà virtuale o l'intelligenza artificiale è dovuta al fatto che i fruitori le percepiscono e le adoperano come fossero dei giochi, più che strumenti, adottando un approccio che è spesso caratterizzato da forte entusiasmo, motivazione e dalla volontà di porsi e superare sempre nuove sfide. È dimostrato che il gioco interessa

Fig. 7. Foto scattata al convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* il 3 giugno 2019. Da sinistra: Franco Purini, Francesco Moschini, Francesco Cellini, Paolo Portoghesi e Ivano Dionigi.

¹⁵ Il discorso di Purini al convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* è disponibile su YouTube al seguente link: <https://www.youtube.com/watch?v=7G959cicdFY&t=5358s>.



alcuni istinti umani primari, come il bisogno di autoespressione, e genera cambiamenti significativi su comportamenti e performance, rivelandosi un metodo estremamente utile al passaggio di contenuti. Il raggiungimento di tale consapevolezza – nonostante lo stigma culturale sorto nell'Ottocento¹⁶ e che tuttora accompagna parzialmente il fenomeno ludico, relegandolo spesso, erroneamente, a pratica infantile – ha permesso la diffusione della cosiddetta *gamification* a partire dal 2010. Questa consiste in un insieme di principi mutuati dal mondo (video)ludico che vengono utilizzati allo scopo di rendere stimolanti e coinvolgenti attività anche molto lontane dalla sfera del gioco – che, quindi, prendono il nome di *serious game* –, influenzando positivamente le performance comportamentali degli individui, trasmettendo loro conoscenze in modo rapido e sensibilizzandoli su tematiche di vario genere¹⁷.

¹⁶ «L'Ottocento sembra lasciar poco posto alla funzione ludica come fattore nel processo culturale. Tendenze che sembrano escluderla hanno preso di più in più il sopravvento. Già nel Settecento lo spirito sociale si era ispirato alla fredda e prosaica nozione utilitaria (mortale per l'idea del barocco) e all'ideale borghese di prosperità. Verso la fine di quel secolo la rivoluzione industriale, con la sua sempre crescente effettività tecnica, cominciò a rafforzare quelle tendenze. Lavoro e produzione assurgono a ideale, anzi quasi a idolo. L'Europa indossa il vestito da lavoro. Senso sociale, tendenza educativa e giudizio scientifico diventano le dominanti del processo culturale. Quanto più progredisce l'enorme processo industriale e tecnico, dalla macchina a vapore fino all'elettricità, tanto più tale processo crea l'illusione che proprio in esso consiste il progresso della civiltà. Il che rende possibile quell'umiliante equivoco secondo il quale le forze economiche e l'interesse economico determinerebbero e dominerebbero il corso del mondo. La sopravvalutazione del fattore economico nella società e nello spirito umano era in certo senso il frutto naturale del razionalismo e dell'utilitarismo i quali avevano ucciso il mistero e dichiarato l'uomo assolto da colpa e da peccato. Ma si dimenticò di liberare l'uomo anche da stoltezza e da grettezza, ed egli sembrava destinato e appropriato a riformare il mondo sul modello della propria banalità. Così fu l'Ottocento, visto dal suo lato peggiore. Le grandi correnti del suo pensiero si opponevano quasi tutte diametralmente al fattore ludico nella vita sociale. Né il liberalismo, né il socialismo gli offrirono terreno favorevole».

Huizinga, J., *Homo Ludens: Proeve Ener Bepaling Van Het Spelelement der Cultuur*, Groningen, Wolters-Noordhoff, 1938 (trad. it. *Homo Ludens*, Torino, Einaudi, 2002).

¹⁷ Petrucci, V., Angeli, F., *Il potere della gamification. Usare il gioco per creare cambiamenti nei comportamenti e nelle performance individuali*, Milano, Franco Angeli, 2015.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte prima

Cap. 2. Il rapporto tra architettura e tecnologia

Avviene, quindi, una sorta di influenza o stimolazione positiva strettamente correlata alla teoria dei *nudge* (ossia dei pungoli). Secondo questa teoria – appartenente alla branca della psicologia comportamentale, ed elaborata da Richard Thaler e Cass Sunstein¹⁸ – è possibile sfruttare delle spinte indirette – ovvero delle strategie nascoste, sostenibili e poco complesse – per modificare l’architettura delle scelte e orientare positivamente i comportamenti delle persone, ottenendo risultati migliori di quelli che si potrebbero avere attraverso

¹⁸ Richard H. Thaler (12 settembre 1945) è un economista e docente statunitense. Ha vinto il premio Nobel per l’economia nel 2017 per il suo contributo nel campo dell’economia comportamentale; Cass R. Sunstein (21 settembre 1954) è un docente di legge americano noto per i suoi scritti sul diritto e per essere stato a capo dell’ufficio *Informazioni e Affari Normativi* per il governo Obama.



Fig. 8. Il premio Nobel per l’economia Richard H. Thaler.
Foto di Bengt Nyman.

ordini o coercizioni¹⁹.

Nel 2016 l'antropologa culturale Susan Mazur-Stommen ha scritto un resoconto sulle potenzialità che hanno i *serious game* di spingere verso comportamenti ecosostenibili²⁰, esprimendosi, nelle conclusioni, in questi termini: «Gamification has the potential to attract large numbers of people and have a proportionately large impact on energy consumption, but in order to achieve these results, games must be thoughtfully designed to provide an engaging experience first, and operate as a platform for behavior change secondarily»²¹.

La *gamification* è l'evoluzione popolare e codificata dell'*edutainment* (*education* + *entertainment*), termine coniato negli anni Novanta dal documentarista del National Geographic Bob Heyman²² per indicare la pratica che mette insieme insegnamento e divertimento, e rappresenta, in definitiva, una sorta di intrattenimento formativo con cui trattare argomenti estremamente complessi o delicati – all'interno tanto di settori scientifici quanto di quelli sociali – e con il quale velocizzare il processo di apprendimento seguendo un processo molto simile a quello che avviene nei bambini e che è stato analizzato e descritto da figure come Jean Piaget – psicologo fondatore dell'epistemologia genetica – o Maria Montessori – pedagogista italiana famosa per il metodo educativo che prende il suo nome –, o, infine, da Johan Huizinga.

¹⁹ Thaler, R. H., Sunstein, C. R., *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*, New Haven, Yale University Press, 2008 (trad. it. *Nudge. La spinta gentile. La nuova strategia per migliorare le nostre decisioni su denaro, salute, felicità*, Roma, Feltrinelli, 2024).

²⁰ Mazur-Stommen, S., Farley, K., *Games for grownups: The role of gamification in climate change and sustainability*, in *Indicia Consulting LLC*, vol. 405, 2016.

²¹ «La *gamification* ha il potenziale per attrarre un gran numero di persone e avere un impatto proporzionalmente vasto sui consumi energetici, ma per raggiungere questi risultati i giochi devono essere progettati con cura, affinché sia fornita innanzitutto un'esperienza coinvolgente, e in secondo luogo fungere da piattaforma per un cambiamento comportamentale».

²² Gardoni, F., Mojetta, F., Sorrentino, C., Etzi, R., Gallace, A., Bordegoni, M., Carulli, M., *Raising awareness about the consequences of human activities on natural environments through multisensory augmented reality: Amazon rainforest and coral reef interactive experiences*, in *Computer-aided Design and Applications*, vol. 18, issue 4, 2021, pp. 815-830.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte prima

Cap. 2. Il rapporto tra architettura e tecnologia

Quest'ultimo, storico olandese vissuto tra la fine del 1800 e la prima metà del 1900, scrive un saggio del titolo *Homo Ludens*, incentrato proprio sul tema del gioco, che considera un elemento fondante della cultura e dell'organizzazione sociale, in quanto – come riportato dalla professoressa Clementina Gily nel suo libro *In-Lusio. Il gioco come formazione estetica* – «funzione perenne della mente per fronteggiare le novità esercitando la nostra capacità di ideazione»²³, evento di conoscenza sensibile e fondamento della cultura stessa grazie al suo intrinseco connubio di *metodo* – ovvero il sistema di regole che lo caratterizza – e *atto* – cioè l'evento in sé, il momento pratico che avviene all'interno di un "recinto" ben definito e con cui le conoscenze vengono fissate nella mente. Se mancano le regole allora non si parla più di gioco ma di puerilismo.

In conclusione, è interessante notare come una pratica apparentemente moderna, basata sul gioco e ancora generalmente poco considerata nell'ambito della didattica, in realtà affondi le radici in studi antichi ed estremamente multidisciplinari, confermando, quindi, la necessità – alla base dello sviluppo della presente tesi di dottorato – di espandere gli orizzonti dell'indagine ed estendere la ricerca architettonica fino a intersecarla con campi in apparenza distanti come quello della filosofia o del *gaming*.

Fig. 9 (alla pagina seguente). Schema concettuale della *gamification*.

²³ Gily, C., *In-Lusio. Il gioco come formazione estetica*, Napoli, Graus editore, 2002, p. 22.

RISULTATO

A black line-art icon of a rocket ship launching upwards, with several short lines representing exhaust or motion.

CAPACITÀ

A black line-art icon of a human head profile facing right. Inside the head, there is a pencil pointing upwards and a glowing lightbulb with radiating lines.

APPRENDIMENTO

A black line-art icon of an open book with several horizontal lines representing text on the pages.

OBIETTIVO

A black line-art icon of a target with concentric circles and an arrow hitting the center bullseye.

GAMIFICATION

COINVOLGIMENTO

A black line-art icon of a human head profile facing left. Inside the head, there are two interlocking gears.

COMPETIZIONE

A black line-art icon of two hands shaking, with radiating lines around the point of contact.

PREMIO

A black line-art icon of a star award, featuring a star in the center of a circular seal with a ribbon below it.

SFIDA

A black line-art icon of a video game controller, showing the D-pad, buttons, and joysticks.

PARTE SECONDA

Capitolo 3

La realtà estesa e il *virtuality continuum*

3.1. Realtà virtuale, realtà aumentata e realtà mista

A partire dagli anni Sessanta del 1900 la ricerca sul tema del rapporto tra mondo reale e mondo virtuale ha prodotto e continua a produrre un gran numero di output sia in termini di hardware che di software. Questa condizione rende necessario organizzare e gerarchizzare il materiale e darsi dei punti di riferimento che consentano di comprendere a pieno la questione ed evitare fraintendimenti. Ciò è stato fatto in due modi: attraverso una stratificazione e una puntualizzazione del linguaggio e attraverso la teorizzazione di modelli organizzativi.

A lungo, infatti, si è utilizzato il termine “realtà virtuale” per indicare genericamente tutte le tecnologie immersive, ignorando, però, che questa è solo una delle tecnologie appartenenti a un ambito molto più vasto, che oggi viene identificato con il termine ombrello di realtà estesa (*extended reality* o XR). Realtà virtuale, realtà aumentata e realtà mista sono sottocategorie della realtà estesa e ognuna di esse ha delle specificità, per cui è necessario definire in modo chiaro la terminologia tecnica:

Realtà estesa (*extended reality*, XR): raggruppamento di tecnologie come la realtà virtuale, o *virtual reality* (VR), la realtà aumentata, o *augmented reality* (AR) e la realtà mista, o *mixed reality* (MR). Questo termine è usato per descrivere l’insieme delle possibili esperienze immersive mediate dalla tecnologia, nelle quali gli utenti creano nuove forme di realtà trasferendo gli oggetti digitali nel mondo fisico o visualizzando oggetti fisici nel mondo digitale²⁴.

Realtà virtuale (*virtual reality*, VR): simulazione di una situazione o di un contesto reale con il quale il soggetto umano può interagire, a volte per mezzo di interfacce non convenzionali quali occhiali e caschi, – su cui viene rappresentata la scena e vengono riprodotti i suoni –, guanti (*dataglove*) e telecomandi – dotati di sensori per simulare stimoli tattili e per tradurre i movimenti in istruzioni per il software. Il termine è stato coniato nel 1987 da Jaron Lanier, informatico, saggista e fondatore di

²⁴ Gong, L., Fast-Berglund, Å., Johansson, B., *A Framework for Extended Reality System Development in Manufacturing*, in *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 24796-24813.

VPL Research, una delle prime aziende a sviluppare e vendere prodotti legati alla VR²⁵.

Realtà aumentata (*augmented reality*, AR): consente l'aggiunta di informazioni, generate tramite computer, alla scena reale. La fotocamera legge un oggetto nell'inquadratura, il sistema lo riconosce e attiva un nuovo livello di comunicazione che si va a sovrapporre e a integrare perfettamente alla realtà, potenziando la quantità di dati di dettaglio in relazione a quell'oggetto²⁶.

Realtà mista (*mixed reality*, MR): termine introdotto nel documento *A Taxonomy of Mixed reality Visual Display* del 1994 di Paul Milgram e Fumio Kishino, è una realtà ibrida in cui oggetti virtuali e fisici coesistono e interagiscono tra di loro in tempo reale²⁷.

Nel 1994, inoltre, Paul Milgram e Fumio Kishino hanno tentato di elaborare un modello organizzativo che ha preso il nome di *Virtuality Continuum*²⁸, ovvero la cornice teorica all'interno della quale catalogare le tecnologie che consentono la transizione da mondo reale a quello digitale e viceversa. Esse sono state divise in quattro categorie disposte lungo una linea orizzontale e organizzate in modo che fosse evidente la graduale perdita di punti di contatto con la realtà concreta e l'avvicinarsi a un contesto interamente digitale man mano che ci si sposta da sinistra a destra.

Partendo, quindi, dall'estrema sinistra, si trova per primo il mondo tangibile – ovvero dove il 100% di ciò che si vede è concreto –, poi si

²⁵ Lowood, H. E., «Virtual reality (VR)», *Britannica*, 13 maggio 2024, <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>.

²⁶ Gong, L., Fast-Berglund, Å., Johansson, B., *ivi*.

²⁷ Milgram, P., Kishino, F., *A Taxonomy of Mixed reality Visual Display*, in *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E77-D, n. 12, issue 12, 1994, pp. 1321-1329.

²⁸ Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F., *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*, in Das, H. (a cura di), *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, atti del convegno SPIE – Photonics for Industrial Applications (Boston, USA, 31 ottobre – 4 novembre 1994), vol. 2351, 1994.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

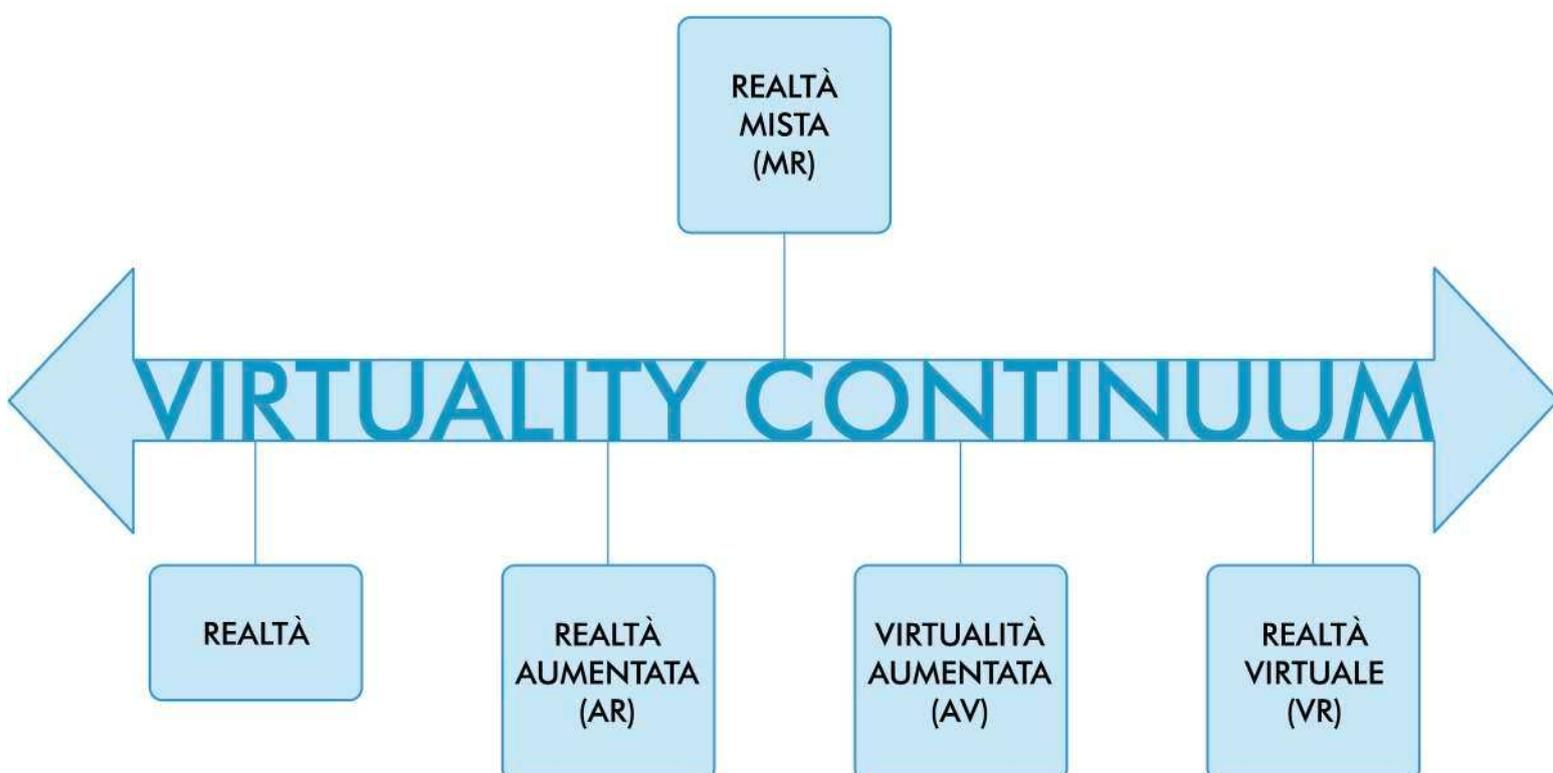
Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

passa per la Realtà aumentata, poi per la meno nota Virtualità aumentata e, infine, si arriva alla Realtà virtuale – dove il 100% degli elementi visualizzati è digitale.

Nel corso degli anni la struttura del Virtuality Continuum è stata spesso attaccata e messa in discussione, poiché si tratta di una semplificazione estrema del tema della virtualità, che ha come suo fulcro il senso della vista e ignora olfatto, udito e tatto. Inoltre, si può criticare anche il concetto di Realtà virtuale intesa come ambiente totalmente digitale, in quanto, anche se il fruitore del visore vede solo il mondo digitale, ciò non lo rende estraneo ai limiti del mondo fisico in cui si muove realmente.

Ad oggi, nonostante i tentativi di revisione e implementazione del modello di Milgram e Kishino, non si è ancora raggiunta una visione univoca.

Fig. 10.
Schematizzazione della struttura del *Virtuality Continuum*.



3.2. Storia della realtà estesa²⁹

Ricostruire la storia del rapporto tra tecnologia e architettura è particolarmente complesso: l'estrema multidisciplinarietà che caratterizza i due ambiti rende, infatti, problematica la graficizzazione della loro evoluzione attraverso delle linee del tempo; piuttosto sarebbe necessaria una formula grafica caratterizzata, per essere credibile, da una serie di ramificazioni derivanti dal mondo del *gaming*, da quello militare, da quello medico, aerospaziale, artistico, ecc.

Questo non significa, però, che organizzare i dati in modo ordinato sia impossibile. Per raggiungere questo obiettivo si è scelto di partire dalla visione elaborata nel paper *The Advent of Architectural AI* di Stanislas Chaillou della Harvard Graduate School of Design³⁰, visione secondo la quale la condizione odierna rientrerebbe nell'ultima delle quattro fasi in cui è divisibile la storia del rapporto tra invenzioni e innovazioni in architettura, ovvero: la modularità, il design computazionale, il Parametricismo³¹ e, infine, l'IA. Tutti passaggi di un'evoluzione tecnologica e culturale che non possono essere considerati indipendentemente l'uno dall'altro, in quanto ogni periodo affonda le sue radici in quello precedente.

Ogni epoca è segnata da una serie di invenzioni, nate in ambiti pratici e scientifici anche molto distanti da quello dell'architettura stessa, i cui effetti si traducono in un costante flusso di innovazioni che portano a

²⁹ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Virtual reality: History, Applications, Technology and Future*, Vienna, Vienna University of Technology, 1999.

³⁰ Chaillou, S., *The advent of Architectural AI. A Historical Perspective*, in Chaillou, S., *Artificial Intelligence and Architecture. From Research to Practice*, Berlino, Boston, Birkhäuser, 2022, pp. 32-61.

³¹ Il Parametricismo, nato ufficialmente nel 2008 con la pubblicazione del *Parametricism Manifesto*, è uno stile architettonico incentrato sulla progettazione digitale tramite algoritmi pre-programmati noti come parametri, che rappresentano le regole su cui si basano le relazioni tra le diverse parti del progetto. Il suo fondatore, nonché principale esponente, è Patrik Schumacher (30 agosto 1961), architetto e direttore dello studio Zaha Hadid.

«Parametricism and Patrik Schumacher», *Parametric Architecture*, 10 dicembre 2021, <https://parametric-architecture.com/parametricism-and-patrik-schumacher/>.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

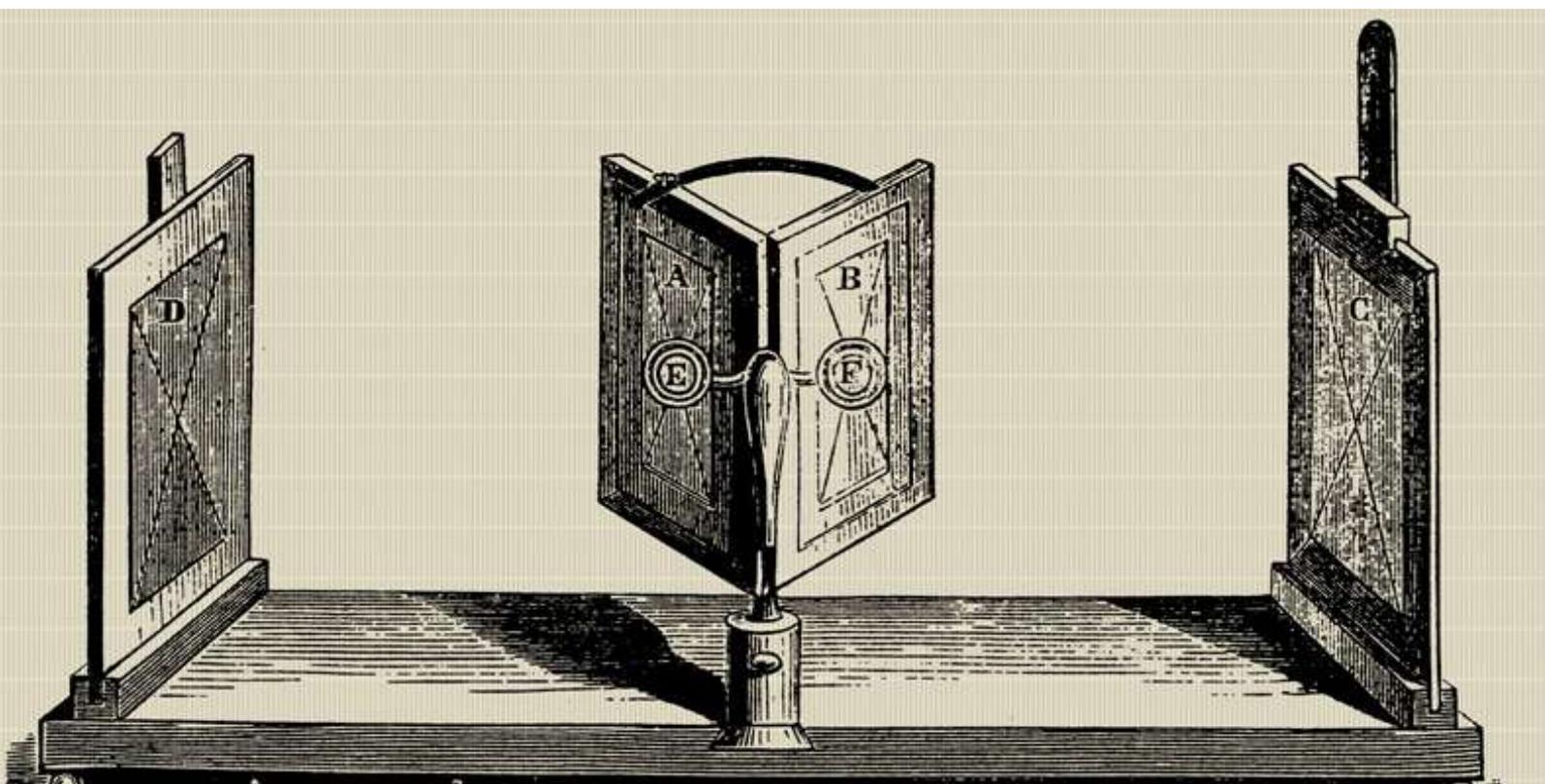
un mutamento sempre più profondo della pratica architettonica e che comincia, secondo Chaillou, nel 1930 fa con l'introduzione del concetto di modularità progettuale – il cui massimo esponente è Le Corbusier – e sembra evolversi con cadenza trentennale fino al 2010; circa, data che segna una duplice svolta: la commercializzazione a prezzi accessibili dei primi visori Oculus per la Realtà virtuale e l'avvento dell'Intelligenza Artificiale.

Prima di entrare nello specifico e raccontare il percorso evolutivo delle tecnologie immersive, è necessario aprire una parentesi storica: è vero che la storia della realtà estesa, così come la intendiamo oggi, inizia negli anni Sessanta, ma è altrettanto vero che l'uomo comincia a sviluppare i primi sistemi di ampliamento della realtà già agli inizi del 1800: infatti già nel 1832 nasce il primo stereoscopio, ovvero una sorta di antenato del visore odierno realizzato da Charles Wheatstone³² e che funziona dapprima attraverso disegni, e successivamente attraverso fotografie, permettendo di visualizzare immagini tridimensionali. Questa tecnologia, così come quella della VR, trova poi applicazione nel cinema, nello studio scientifico, nell'intrattenimento, nell'esplorazione astronomica, nella fotogrammetria, nella televisione, nell'informatica, nei videogiochi e nella telefonia.

Fig. 11.

Rappresentazione dello stereoscopio di Charles Wheatstone.

³² Sir Charles Wheatstone (6 febbraio 1802 - 19 ottobre 1975) è un fisico e inventore britannico noto per il suo contributo nell'ambito delle sperimentazioni stereoscopiche.



L'altro grande progenitore delle XR è il *fantasma di Pepper*. Anch'esso dell'Ottocento, ma risalente a circa trent'anni dopo lo stereoscopio, consiste nell'utilizzo di un sistema di specchi e luci che permette l'apparizione di un fantasma sul palcoscenico su cui recita l'attore. È una tecnologia perfezionata e messa in pratica da John Henry Pepper³³, da cui prende il nome, ed è la tecnica illusoria che negli anni ha permesso di arrivare agli ologrammi così come li si intende oggi.

Chiusa questa premessa, segue una disamina delle tappe della storia della XR, partendo dagli anni Sessanta del 1900.

Secondo quanto riportato in *The Advent of Architectural AI*, il 1960 segna l'avvento del design computazionale; mentre questa innovazione porta in campo puramente architettonico a un utilizzo sempre più intenso dei software CAD e a una sperimentazione formale decisamente più ardita – si pensi a edifici come il Guggenheim Museum di Bilbao di Frank Gehry – negli stessi anni, fanno la loro comparsa Sensorama, la cosiddetta Spada di Damocle, VCASS, VIVED e UNC walkthrough project.

³³ John Henry Pepper (17 giugno 1821 - 25 marzo 1900) è un inventore britannico. A lui si deve il perfezionamento delle tecniche di apparizione traslucida sviluppate da un altro inventore, Henry Dircks. L'effetto viene mostrato per la prima volta a teatro durante una scena di "L'Uomo Fantasma" di Charles Dickens.



Fig. 12.
Rappresentazione del funzionamento del Fantasma di Pepper elaborata da Bertrand nel 1865 e contenuta ne *Le Mond Illustré*.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

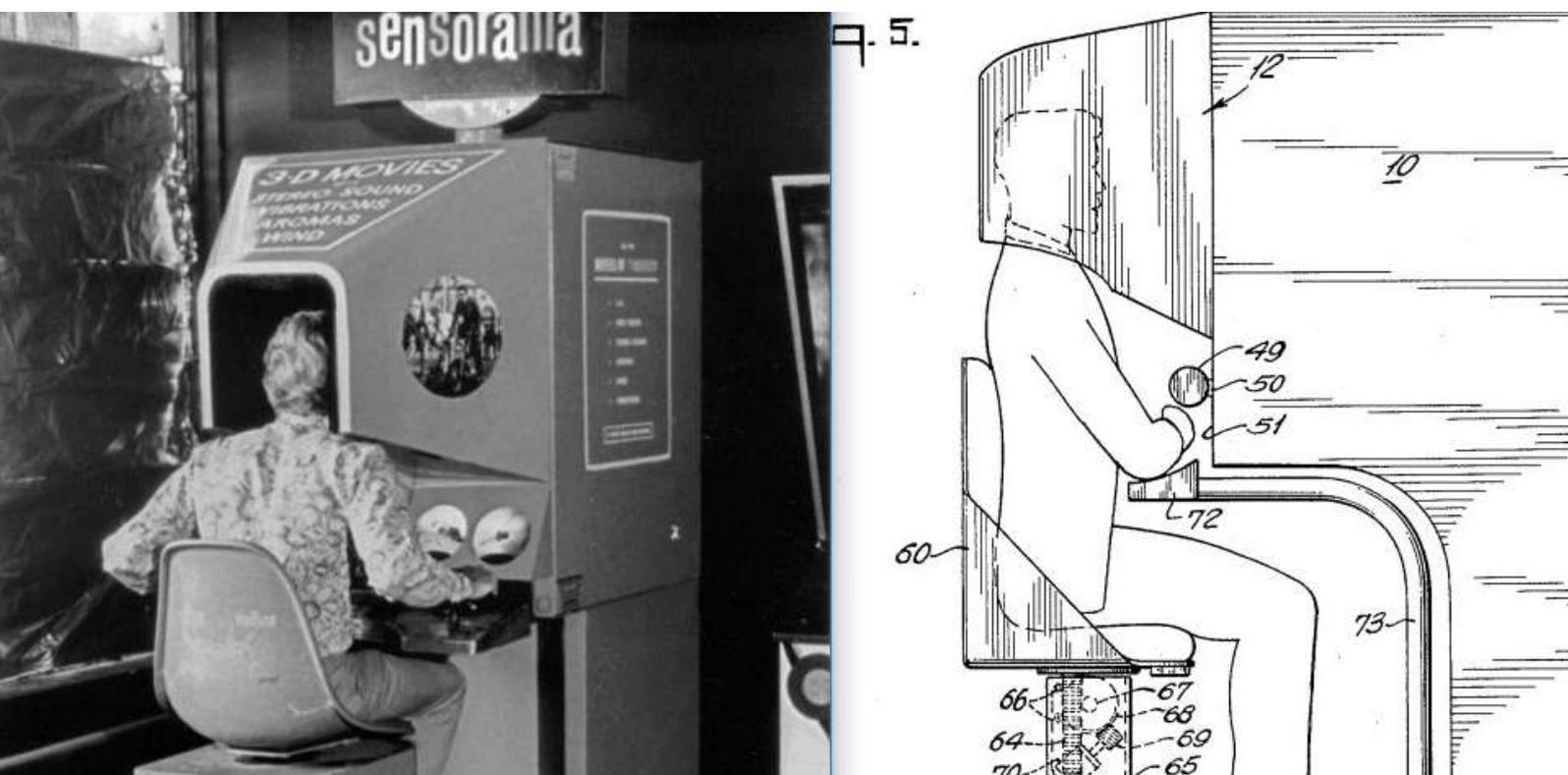
Sensorama

Morton Leonard Heilig (22 dicembre 1926 - 14 maggio 1997) è un regista, direttore della fotografia, e inventore americano, il quale, appassionato studioso di arte e cinema – negli anni 1948-50 si diploma al Centro Sperimentale di Cinema a Roma –, già nel 1955 scrive un documento intitolato *The Cinema of the Future* in cui descrive per la prima volta la possibilità di creare esperienze multisensoriali per gli spettatori. In questo modo inizia a elaborare, dunque, la premessa che lo porta a lavorare, a partire dal 1957, a una macchina con cui vedere la televisione in 3D. Il frutto dei suoi esperimenti viene brevettato nel 1962 e prende il nome di Sensorama, ovvero una cabina dotata di schermi stereoscopici, suono binaurale e stimolazioni olfattive che permette fino a quattro fruitori di simulare la guida di una motocicletta per le strade di Brooklyn, sentendo il vento sul viso, le vibrazioni del veicolo e perfino una riproduzione degli odori della città. Una tecnologia avanguardista, quindi, frutto della visione pionieristica di Heilig, il quale non trova, però, fondi e mezzi sufficienti a garantirne la diffusione^{34, 35}.

³⁴ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. cit.*, p. 2

Fig. 13. Prototipo e brevetto di Sensorama del 1961.

³⁵ Luna, R., «Il Sensorama, la macchina per realtà virtuale che non venne capita», *La Repubblica*, 28 agosto 2021, https://www.repubblica.it/tecnologia/2021/08/28/news/il_sensorama_la_macchina_per_realta_virtuale_che_non_venne_capita-315540396/



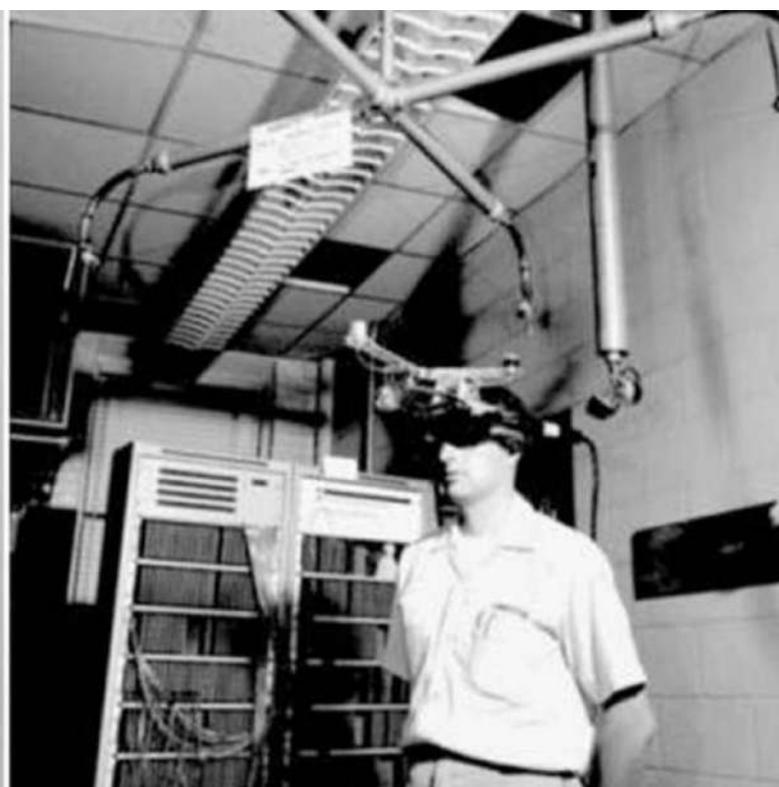
Spada di Damocle

Nel 1965 Ivan Sutherland (Hastings, 16 maggio 1938), informatico e ricercatore statunitense, pioniere di internet e vincitore del Premio Turing nel 1988 per l'invenzione del software Sketchpad, costruisce un dispositivo considerato il primo *Head Mounted Display (HMD)* della storia, dotato di un sistema di visualizzazione stereoscopica che si aggiorna in tempo reale seguendo posizione e orientamento della testa dell'utente. Il dispositivo è, però, estremamente primitivo sia in termini di visualizzazione – infatti l'ambiente virtuale è costituito da semplici stanze *wireframe* –, sia dal punto di vista estetico: lo strumento consiste, infatti, in una sorta di casco vincolato all'output di un computer e pesante al punto da necessitare il supporto di un braccio meccanico appeso al soffitto. Pur nella sua estrema rudimentalità, questo sistema è considerato il primo esempio di realtà aumentata della storia, anticipando di quasi quaranta anni l'AR (Realtà aumentata) così come intesa al giorno d'oggi^{36,37}.

³⁶ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. cit.*, p. 2.

³⁷ Marr, B., «The Fascinating History and Evolution of Extended Reality (XR) – Covering AR, VR and MR», *Forbes*, 17 maggio 2021, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/05/17/the-fascinating-history-and-evolution-of-extended-reality-xr--covering-ar-vr-and-mr/>.

Figg. 14-15. Foto scattate nel 1968 al primo visore per la realtà virtuale noto come Spada di Damocle.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

Aspen Movie Map

È soltanto nel 1978, però, che queste tecnologie cominciano a essere applicate al campo della visualizzazione architettonica e urbanistica, con il progetto Aspen Movie Map del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Il progetto consiste in una postazione dotata di seduta e schermi con cui effettuare un tour virtuale delle strade di Aspen (Colorado) creato utilizzando fotografie scattate da un'auto in movimento per la città – anticipando di circa trent'anni l'attuale Google Street View. Attraverso una serie di 50.000 *frame*, contenuti su un videodisco, l'utente può muoversi per le strade della città cambiando a piacimento le direzioni da seguire, la stagione e l'epoca. Un passaggio storico fondamentale, in quanto per la prima volta la realtà virtuale si mostra nella sua capacità di trasportare gli utenti in un altro luogo e, dunque, comincia a esprimere delle potenzialità di carattere architettonico³⁸.

Fig. 16. Fotogramma estratto dal video del 1981 del MIT Media Lab dedicato ad Aspen Movie Map.

³⁸ Weber, M., «Going Places: A History of Surrogate Travel and Google Maps With Street View», *Computer History Museum*, 22 giugno 2012, <https://computerhistory.org/blog/going-places-a-history-of-google-maps-with-street-view/?key=going-places-a-history-of-google-maps-with-street-view>.



Visually Coupled Airborne Systems Simulator (VCASS)

Nella maggior parte dei casi, la visualizzazione immersiva o aumentata e le tecnologie a essa legate presentano una componente grafica estremamente basilare e lo scopo è spesso vincolato ad attività di ricerca o test ingegneristici e militari. Ne è esempio VCASS, del 1982, che rappresenta un altro step importante nella storia delle XR e che consiste in un simulatore di volo avanzato – inventato da Thomas Furness, pioniere della realtà virtuale – con lo scopo di addestrare i soldati, fornendo loro informazioni grafiche su obiettivi e percorsi aerei³⁹.

Virtual Visual Environment Display (VIVED)

In alcuni casi la realtà virtuale diventa uno strumento di intermediazione uomo-macchina, per generare e visualizzare ambienti virtuali o interagire con essi attraverso delle macchine. È il caso di VIVED del 1985 – ovvero un casco dotato di display stereoscopico, sensori di tracciamento, funzioni di controllo vocale e audio surround incorporato –, che permette agli astronauti di controllare bracci robotici, telecamere e robot umanoidi per svolgere attività pericolose o missioni esplorative da remoto^{40, 41}.

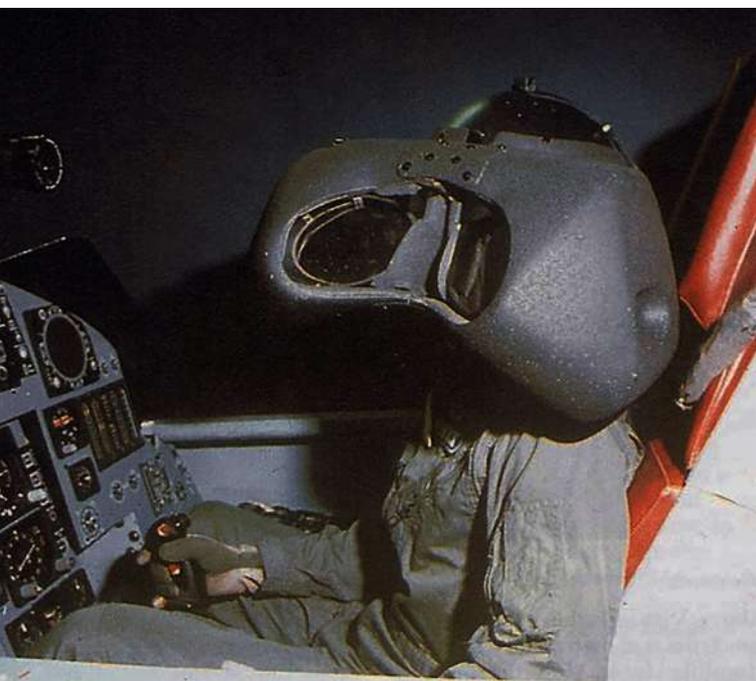
³⁹ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. Cit.*, p. 2.

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ Turi, J., «Time Machines: NASA goes virtual at CES», *engadget*, 15 dicembre 2013, <https://www.engadget.com/2013-12-15-time-machines.html/>.

Fig. 17 (a sinistra).
Un ingegnere indossa
VCASS.
Foto fornita dal
Dipartimento di Difesa
americano.

Fig. 18 (a destra).
Fotogramma di VIVED
estratto dal video
d'archivio *Nasa and
Virtual Reality. A New
Way of Looking at the
World*.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

UNC Walkthrough Project

Negli anni Ottanta, precisamente nel 1986, si assiste alla creazione della prima applicazione di esplorazione architettonica digitale così come la intendiamo oggi: UNC Walkthrough Project. Non si visualizzano più, quindi, elaborati a fil di ferro ma ambienti tridimensionali veri e propri. Per la prima volta si tenta di costruire uno strumento destinato in modo specifico ad architetti e rispettivi clienti da utilizzare per la prototipazione rapida di edifici, attraversandoli virtualmente. Il primo prototipo simula l'edificio di Scienze Informatiche dell'UNC composto da ottomila poligoni renderizzati con colori e ombre ogni 3-5 secondi mentre l'utente sposta in tempo reale un cursore sulle planimetrie – generalmente, nei paper scientifici dell'epoca, si parla della terza versione del prototipo, risalente allo stesso periodo e caratterizzato dalla possibilità di aggiornare l'immagine 9 volte al secondo. Il presupposto su cui si basa lo sviluppo dell'applicazione è legato a quanto asserito del professore di computer grafica Donald Greenberg⁴² nel 1974 in riferimento allo spazio costruito: l'architettura, a suo dire, non può essere osservata in modo statico come con un dipinto, ma deve essere valorizzata nella sua tridimensionalità e bisogna garantirne una comprensione approfondita attraverso lo spostamento, sperimentando continuamente nuovi punti di vista in modo da comprendere la complessa sequenza di relazioni spaziali. A distanza di altri trent'anni dall'avvento del CAD, nel 1990, avviene un nuovo cambio di paradigma: inizia l'era del Parametricismo – costantemente studiato e applicato da Zaha Hadid e, in seguito, dal suo successore Patrik Schumacher –, che raggiunge l'apice delle sue possibilità di espressione grazie all'invenzione di programmi e *plugin* per la modellazione parametrica attraverso la programmazione visuale, come nel caso di Grasshopper. In questo periodo si parla anche del Virtual Windtunnel, di CAVE e dell'AR⁴³.

⁴² Donald P. Greenberg (1934) è un docente americano globalmente riconosciuto come pioniere della computer grafica. Oggi è impegnato come insegnante presso i dipartimenti di architettura e ingegneria della Cornell University.

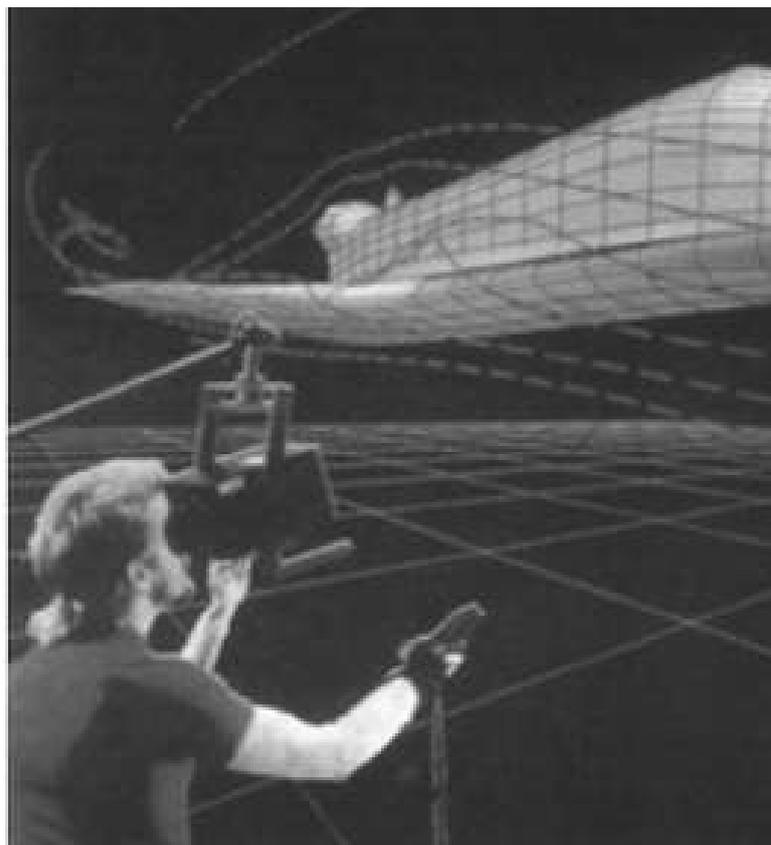
⁴³ Brooks, F. P., *Walkthrough – A Dynamic System for Simulating Virtual Buildings*, in *I3D '86: Proceedings of the 1986 workshop on Interactive 3D graphics*, 1987, pp. 9-21.

Virtual Windtunnel

Negli anni Novanta le tecnologie di realtà estesa cominciano a essere usate in modo più deciso per la realizzazione di simulazioni fisiche – attualmente implementate, seppur in modo non sempre efficace, all'interno degli attuali software di VR. Se oggi si può quasi dare per scontata la possibilità di effettuare con facilità operazioni che prendono in considerazione elementi come l'azione del vento, della pioggia o di altri fenomeni, è proprio grazie a invenzioni come il Virtual Windtunnel del Nasa Ames Research Center. Il progetto, di natura ingegneristica, consiste nel dotare un utente di visore e guanti per interagire virtualmente con modelli tridimensionali di veicoli, visualizzando gli effetti che i fluidi possono avere su di essi. Ciò che rende possibile lo sviluppo di tale progetto è l'applicazione simultanea di due tecnologie di poco precedenti: i guanti DataGlove del 1985 – che consentono di interagire col mondo digitale utilizzando il senso del tatto – e BOOM del 1989 – che consiste in un visore di realtà virtuale a forma di scatola legato a un braccio meccanico; quest'ultimo permette di tenere sotto controllo posizione e orientamento nello spazio. È proprio in questo periodo che vengono conati i termini di realtà virtuale, nell'1987, e di realtà aumentata, nel 1990⁴⁴.

⁴⁴ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. cit.*, p. 3.

Figg. 19-20. Vista dall'esterno e vista dall'interno del Virtual Wind Tunnel sviluppato presso NASA Ames.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)

Sviluppata dal Professor Daniel J. Sandin e dal suo team di informatici presso la University of Illinois di Chicago e presentato nel 1992, CAVE è un sistema di visualizzazione immersiva che sfrutta contemporaneamente le proiezioni di immagini stereoscopiche sulle pareti di una stanza e l'uso di occhiali LCD, cuffie e telecomandi per interagire con gli oggetti virtuali. Il nome è un riferimento alla Caverna di Platone, sottolineando il tema del rapporto tra realtà e illusione^{45, 46}.

Realtà aumentata (AR)

Fino al decennio 1990-2000 tutte queste novità e progressi in campo tecnologico e scientifico non trovano mai il modo di raggiungere l'attenzione popolare; in altri termini, sembra non si crei mai l'occasione di dare a questi mezzi un impulso tale da generare un interesse collettivo al di fuori dell'ambito scientifico. Ciò accade fino, appunto, agli anni Novanta inoltrati, quando lo sviluppo dei primi simulatori arcade VR destinati alle sale-giochi – come il simulatore di movimento SEGA VR-1 – consente una evoluzione pop della realtà estesa, che raggiunge la sua massima esposizione quando, nel 1998, Sportsvision trasmette per la prima volta nella storia una partita della National Football League, mostrando un indicatore di campo giallo sovrapposto in diretta alle immagini riprese dalle telecamere. Da questo momento la sovrapposizione di indicazioni grafiche alle riprese del mondo reale si diffonde rapidamente anche in altre trasmissioni sportive, rendendo di pubblico dominio il concetto di realtà aumentata^{47, 48}.

⁴⁵ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. cit.*, p. 3.

⁴⁶ Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R.V., Hart, J. C., *The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment*, in *Communications of the ACM*, vol. 35, n. 6, 1992, pp. 64-72.

⁴⁷ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. cit.*, p. 3.

⁴⁸ Marr, B., *Op. cit.*

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Fig. 21 (in alto). Foto di CAVE durante l'utilizzo, con i suoi 4 display attivi (tre pareti e un pavimento).

Fig. 22 (in basso). Prima applicazione della realtà estesa da parte dell'azienda Sportvision durante una partita di football trasmessa in diretta nel 1998.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

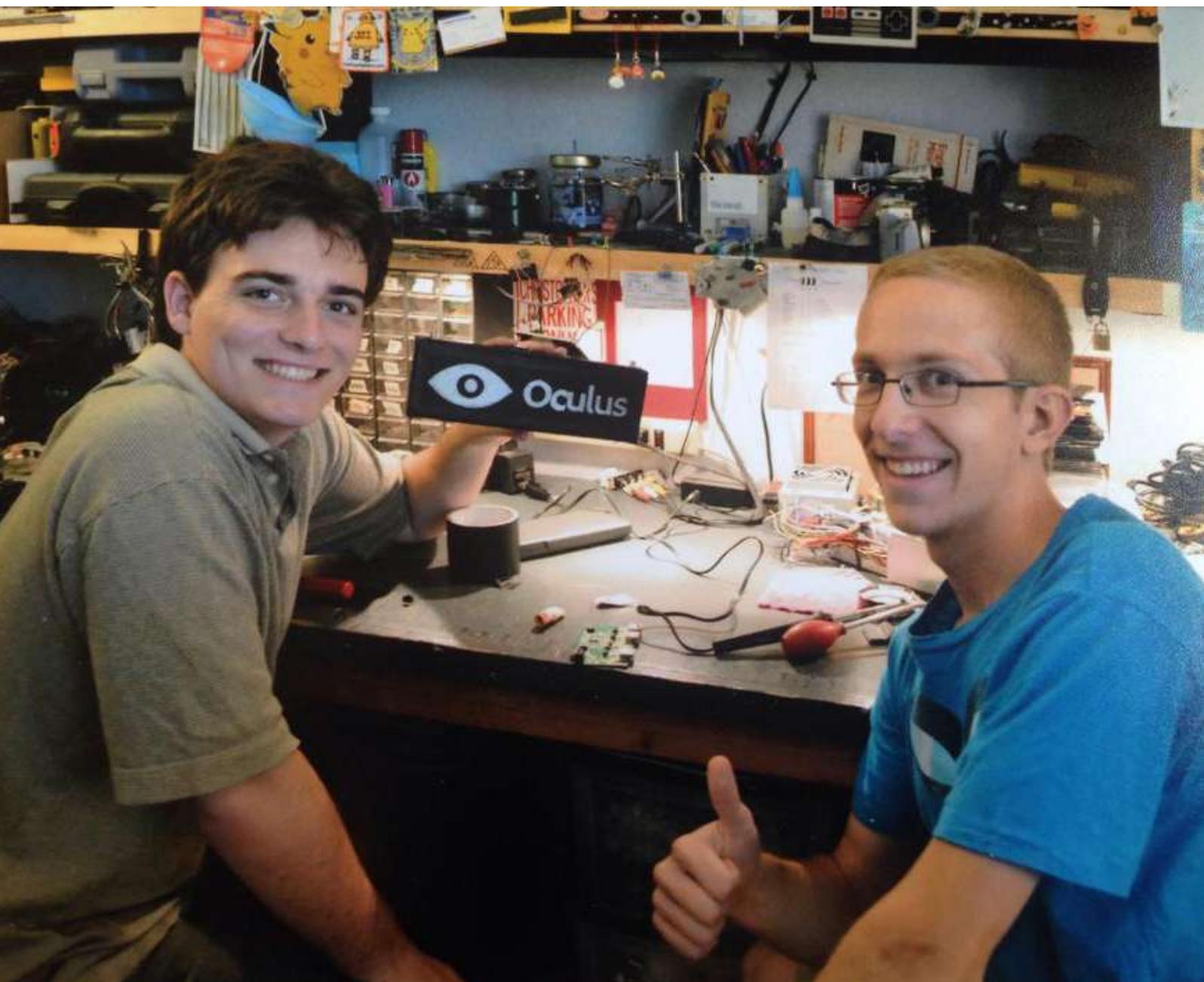
Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

Oculus Rift

La realtà virtuale o, meglio, gli strumenti di realtà estesa in generale si sono sempre posti come una via alternativa, innovativa e potenzialmente più efficiente di quelle tradizionali per sviluppare progetti di varia natura. I campi di applicazione sono molteplici, dal puro intrattenimento alla medicina, dall'ingegneria aerospaziale al campo militare e, chiaramente, quello dell'architettura. Quanto emerge, però, dai dati storici raccolti è che, nonostante le tecnologie immersive rappresentino un campo in cui si dovrebbe favorire lo sviluppo di ragionamenti architettonici critici e metodologie pratiche innovative, questo non accade e di tutti i progetti individuati come pilastri dell'evoluzione delle XR, solo il 20% si incentra sulla pratica architettonica, almeno fino al 2010.

Fig. 23. Il primo prototipo di visore Oculus nelle mani del suo progettista, Palmer Luckey.



Nel 2010, Palmer Luckey ultima il primo prototipo di Oculus Rift, ovvero il primo visore VR così come lo conosciamo oggi. Con un campo visivo di 90 gradi e l'integrazione con la potenza di calcolo del computer a cui viene collegato, il visore accende un interesse generale per la realtà virtuale, spingendo grandi aziende come Microsoft, Samsung e Facebook a un forte slancio economico e tecnologico – che sfocia in una serie di software, strumenti, giochi, applicazioni, ecc. – il quale accorcia notevolmente i tempi tra una tappa evolutiva e l'altra della storia delle XR. Per comprendere l'impatto che Oculus Rift genera, si pensi che, con una campagna Kickstarter, Luckey raccoglie 2,4 milioni di dollari per finanziare la realizzazione del primo visore e, successivamente, nel 2014, la sua società *Oculus VR* viene acquisita da Facebook per circa due miliardi di dollari^{49, 50}.

HoloLens

Nel 2016 Microsoft rilascia HoloLens, un visore autonomo, leggero e trasparente. Un vero e proprio piccolo computer indossabile che non ha bisogno di cavi o altri collegamenti con dispositivi informatici esterni per funzionare e che porta il concetto di realtà aumentata a un nuovo livello, consentendo ai fruitori di stratificare la realtà circostante con informazioni aggiuntive in tempo reale attraverso la tecnologia olografica. Nello stesso anno, a partire dal 6 luglio, viene lanciato ufficialmente a livello globale il gioco per smartphone Pokémon Go, che funziona proprio sfruttando la realtà aumentata: attraverso la telecamera del proprio cellulare i giocatori possono trovare e catturare Pokémon sparsi nel mondo reale circostante. Secondo Sensor Tower – società di analisi dati che si occupa di indagini di mercato a livello globale – nell'arco di una settimana dall'uscita sugli store digitali il gioco viene scaricato 10 milioni di volte⁵¹, per poi raggiungere i 100

⁴⁹ Mazuryk, T., Gervautz, M., *Op. cit.*, p. 3.

⁵⁰ Marr, B., *Op. cit.*

⁵¹ Nelson R., «Pokémon GO Becomes the Fastest Mobile Game to 10 Million Worldwide Downloads», *Sensor Tower*, luglio 2016, <https://sensortower.com/blog/pokemon-go-download-record>.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

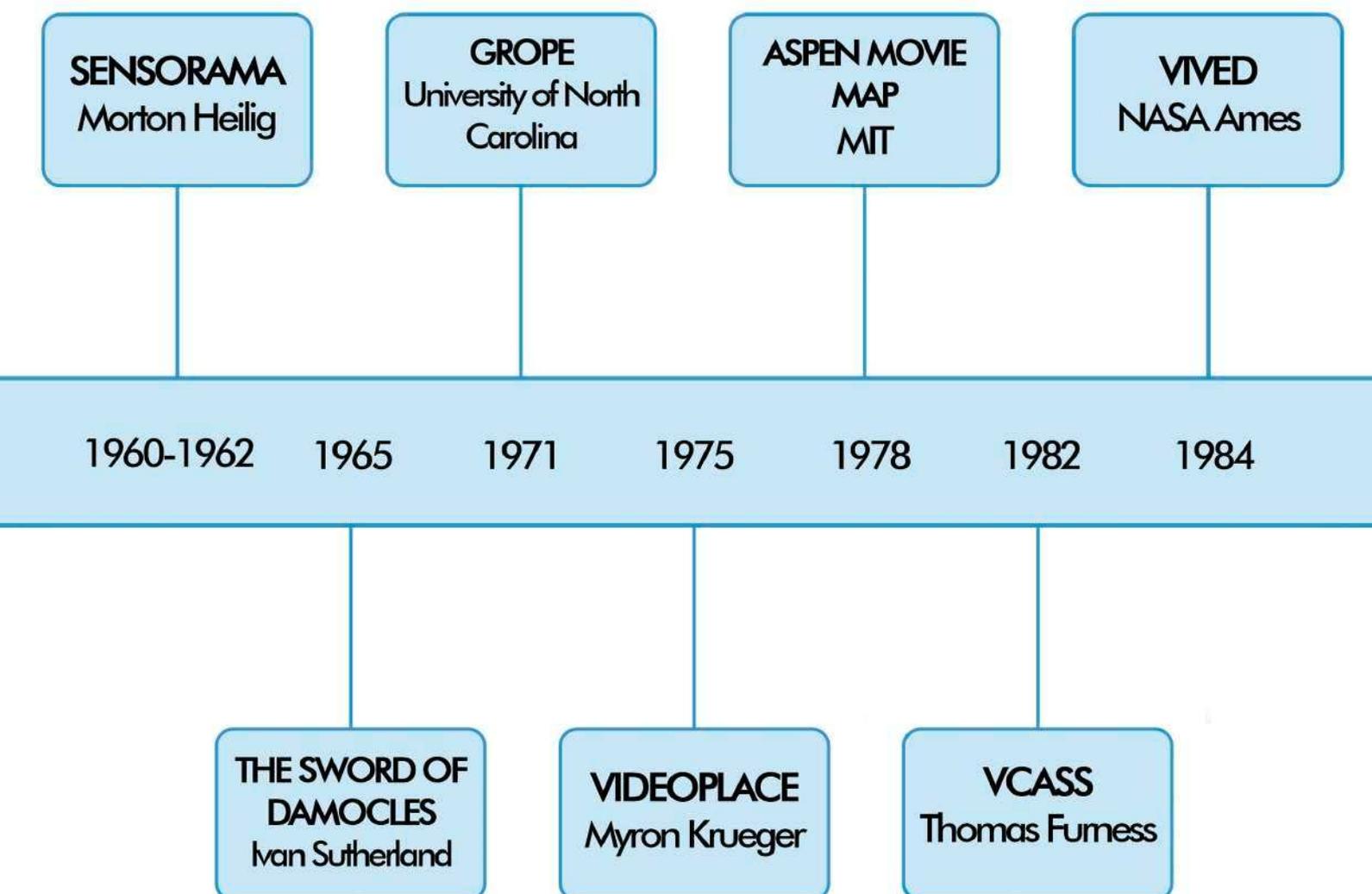
Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

milioni di download il 31 luglio 2016 e i 228 milioni entro la fine del terzo trimestre dello stesso anno⁵². Pokémon Go si rivela un fenomeno commerciale, culturale e sociale che ha, tra i suoi molteplici effetti, anche quello di attirare l'attenzione sulla tecnologia di realtà aumentata, con conseguenti investimenti da parte di centinaia di aziende, tra cui IKEA, per esempio, che cominciano a implementare questa tecnologia permettendo ai clienti di posizionare gli elementi di arredo in forma

Fig. 24. Linea del tempo riepilogativa della storia della realtà estesa.

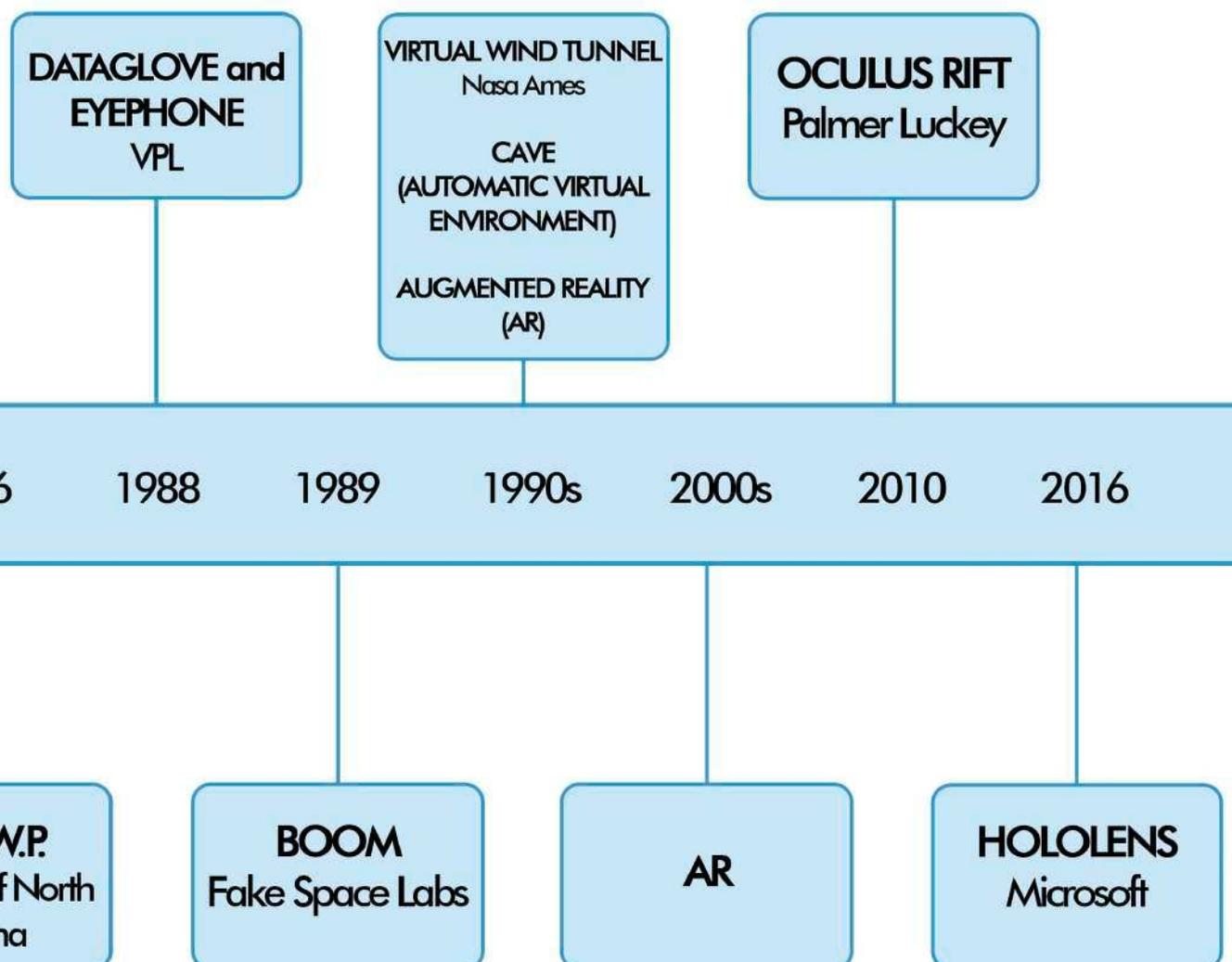
⁵² Sito web Statista: <https://www.statista.com/statistics/641690/pokemon-go-number-of-downloads-worldwide/>.



virtuale nelle loro case. HoloLens segna l'ultimo grande punto di svolta prima dell'avvento del Metaverso, portando a un radicale cambio di paradigma nel modo in cui gli esseri umani possono percepire e interagire con le informazioni digitali in ambiti disparati come quello didattico, medico, progettuale e ludico^{53, 54}.

⁵³ Sito web History of Computers: <https://historyofcomputers.eu/timeline/microsoft-hololens/>.

⁵⁴ Karthika, S., Praveena, P., GokilaMani, M., *HOLOLENS*, in *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 6, n. 2, 2017, pp. 41-50.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

3.3. Applicazioni di realtà estesa: analisi del contesto scientifico

Per comprendere a pieno le potenzialità delle tecnologie di realtà estesa in campo architettonico è opportuno tenere conto di ciò che è stato già fatto nel corso di altre ricerche ed esperienze internazionali e delle conclusioni raggiunte almeno per quanto riguarda la realtà virtuale e quella aumentata – la realtà mista è un ibrido sfuggente e spesso questo termine è usato impropriamente per fare comunque riferimento a VR e AR, motivo per cui non sarà considerata come elemento autonomo. La sempre più rapida diffusione delle tecnologie di cui si parla in questa tesi si traduce nella continua generazione di nuovo materiale, più o meno valido, a cui attingere per definire uno stato dell'arte; tuttavia questa condizione rende sia complesso effettuare una disamina puntuale sia svolgere un lavoro il cui output non sia subito obsoleto. Per questa ragione si è deciso di individuare delle matrici in comune ai lavori studiati e sfruttarle per effettuare una catalogazione. Per ciascuna tecnologia si sono individuati, dunque, una serie di campi di applicazione, per ognuno dei quali si è deciso di riportare sia un sunto dei relativi riferimenti studiati sia delle conclusioni e delle considerazioni a riguardo.

3.3.1. L'uso della VR in architettura

È possibile individuare cinque aree di interesse per quanto riguarda il rapporto tra realtà virtuale e architettura, ovvero:

1. Visualizzazione immersiva e progettazione architettonica stratificata;
2. Promozione di comportamenti e pratiche positive all'interno di un ambiente progettato
3. Ricostruzione di siti di interesse archeologico;
4. Creazione di una piattaforma di studio e confronto per curiosi ed esperti;
5. Valorizzazione del territorio e incentivo allo slow travel.

Alle pagine seguenti è riportato un approfondimento per ciascuno di questi punti.

Visualizzazione immersiva e progettazione architettonica stratificata

La realtà virtuale è strettamente connessa al senso della vista, per cui il primo ambito di applicazione a essa associato non può che essere quello della visualizzazione architettonica. Tuttavia, mentre quest'ultima – in gergo definita *archviz* – è tradizionalmente associata a strumenti e tecniche di rendering statici o video, la VR consente non solo di guardare un progetto, ma anche di immergersi nella sua versione virtuale senza alcun tipo di vincolo. Ne consegue che, se con una immagine renderizzata è il progettista a condizionare l'osservatore mostrandogli solo ciò che vuole, con un eseguibile di realtà virtuale la situazione cambia drasticamente e il fruitore ha più libertà. Dunque, si può asserire che l'utilizzo della VR permetta un passaggio nell'ambito della visualizzazione da fruizione passiva ad attiva e la simulazione immersiva – anche quando non è accompagnata da un alto livello di fotorealismo – assume i connotati di una piattaforma virtuale sia di revisione architettonica critica – favorendo un rapido scambio di *feedback*, ad esempio, tra cliente e progettista – sia di progettazione tridimensionale in tempo reale, permettendo una collaborazione dinamica tra esperti e lo sviluppo di un iter progettuale più stratificato.

Si pensi che nel 2023 Foster + Partners, in collaborazione con la University of London (City) E UCL's PEARL Lab, ha sviluppato un set di strumenti virtuali chiamato VARID con cui replicare le condizioni visive di chi è affetto da malattie, disturbi o menomazioni del sistema oculare che, anche per questioni anagrafiche, colpiscono una significativa porzione della popolazione mondiale. Questo sistema garantisce ai progettisti un supporto innovativo alla scelta di forme, materiali e colori e consente un importante approfondimento conoscitivo sulla varietà di possibili esperienze spaziali e sui relativi comportamenti umani, aiutando, quindi, a creare luoghi più inclusivi⁵⁵.

Inoltre, come dimostrato da uno studio condotto presso la University of Bahrain, la possibilità di controllare tutti i processi architettonici

⁵⁵ Fakharany, N., «Foster + Partners Designs VARID: A VR/AR Toolkit for Inclusive Design», *ArchDaily*, 27 dicembre 2023, <https://www.archdaily.com/1011613/foster-plus-partners-designs-varid-a-toolkit-for-inclusive-design/>.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

trovandosi all'interno di una simulazione globale – sia dell'edificio da costruire che del contesto in cui esso è calato –, unitamente all'accesso immediato a informazioni di varia natura e alla facoltà di alternare rapidamente colori e stili di visualizzazione – più o meno astratti –, consente al progettista di raggiungere più facilmente una consapevolezza totale del progetto, personalizzando l'utilizzo della realtà virtuale in base alle proprie esigenze e valutando non solo il lato estetico ma anche le caratteristiche strutturali dell'opera e le operazioni di assemblaggio necessarie⁵⁶. A questo tipo di attività, ancora fortemente incentrata su un approccio visivo, va, però, aggiunta una riflessione di natura più ampia. La realtà virtuale è in costante sviluppo e si sta trasformando in un mezzo estremamente potente, superando dubbi e perplessità che agli inizi del Duemila, per esempio, attanagliavano i ricercatori, che si sentivano frenati dalle limitate capacità prestazionali dei mezzi allora a disposizione, incapaci di supportare una tecnologia estremamente avanguardistica⁵⁷. Questa sua crescita, unita alla capacità di inglobare software e tecnologie sempre più potenti e provenienti da ambiti apparentemente distanti fa sì che i progettisti possano stratificare sempre di più il proprio *modus operandi*. Precedentemente si è parlato, infatti, della possibilità di progettare uno spazio inclusivo tenendo conto di problematiche visive, ma bisogna considerare che un ambiente progettato non è solo materia tangibile ma una esperienza multisensoriale che comprende, per esempio, anche i suoni – tant'è che si parla proprio di “paesaggi sonori”. Già nel 2014 un team di ricercatori tedeschi dell'Institute of Technical Acoustics decide di svolgere delle indagini facendo convergere progettazione acustica e realtà virtuale e implementando le simulazioni immersive con processi di auralizzazione – ossia di proiezione digitale dei suoni – riproducendo il modo in cui le onde sonore si distribuiscono in uno spazio in base alla geometria e ai

⁵⁶ Abdelhameed, W. A., *Virtual Reality Use in Architectural Design Studios: A case of studying structure and construction*, in *Procedia Computer Science*, vol. 25, 2013, pp. 220-230.

⁵⁷ Paranandi, M., Sarawgi, T., *Virtual Reality in Architecture: enabling possibilities*, in *CAADRIA 2002 Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, 2002, pp. 309-316.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

materiali di quest'ultimo⁵⁸.

Purtroppo spesso sono necessarie delle semplificazioni e delle approssimazioni, ma l'apertura dell'architettura virtuale a sistemi eterogenei e il fatto che ci si stia dirigendo verso una progettazione computerizzata che mette in crisi l'egemonia del senso della vista all'interno dei software immersivi rappresentano dei segnali estremamente incoraggianti.

⁵⁸ Vorländera, M., Schrödera, D., Pelzera, S., Wefersa, F., Virtual reality for architectural acoustics, in *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 8, n. 1, 2014, pp. 15-25.

Fig. 25. Screenshot tratti dal video di presentazione di VARID a cura di Foster + Partners. <https://www.fosterandpartners.com/news/foster-plus-partners-ucl-and-city-university-of-london-develop-varid-toolset-for-inclusive-design>.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

Promozione di comportamenti e pratiche positive all'interno di un ambiente progettato

Precedentemente in questa tesi si è parlato del tema della *gamification* facendo riferimento alla cosiddetta teoria dei pungoli che, ricapitolando rapidamente, consiste nel promuovere comportamenti e pratiche positive attraverso delle strategie che siano poco evidenti e, soprattutto, prive di sacrifici da parte di chi ne è soggetto. Questa teoria è applicabile, con le opportune modifiche, a tutti i campi del vivere umano e, di conseguenza, non sono esclusi il settore dell'architettura e quello delle costruzioni. Ma come si può testare e tradurre concretamente questa teoria in un progetto?

Una possibile risposta è data da un esperimento effettuato dal dipartimento di Ingegneria dell'Università di Hong Kong nel 2015⁵⁹ basato sul presupposto che, nonostante ci sia una sempre più evidente tendenza nel mondo dell'architettura ad adottare principi e tecnologie di progettazione edilizia a basse o zero emissioni di carbonio, continua a essere presente un gap tra la prestazione energetica effettivamente raggiunta e quella potenzialmente raggiungibile. Un tempo questa discrepanza, definita proprio "gap di prestazione", era ricondotta a fattori estrinseci come la scorretta progettazione degli involucri edilizi, ma oggi si tende a dare sempre più importanza anche ad altre cause di natura intrinseca ugualmente impattanti ma spesso impossibili da calcolare. Prima tra queste è il comportamento inappropriato o errato adottato da chi abita gli edifici, comportamento che, però, è difficilmente prevedibile in fase di progettazione – dato che nell'architettura a grande scala non è possibile produrre prototipi di intere abitazioni per effettuare test e valutazioni preventive.

Su questa consapevolezza, quindi, si basa il tentativo di sviluppare un approccio analitico innovativo basato sull'utilizzo della realtà virtuale per far muovere degli individui in un appartamento digitale pre-progettato, consentendo ai progettisti di valutare le configurazioni ingegneristico-architettoniche più adatte a incentivare atteggiamenti

⁵⁹ Niu, S., Pan, W., Zhao, Y., *A virtual reality supported approach to occupancy engagement in building energy design for closing the energy performance gap*, in *Procedia Engineering*, vol. 118, 2015, pp. 573-580.

efficienti dal punto di vista energetico. Nello specifico il test si basa sul chiedere ai partecipanti – dopo aver familiarizzato con la tecnologia e con l'appartamento virtuale – di svolgere quanto più velocemente possibile una serie di attività all'interno di ciascuna delle cinque stanze che compongono l'abitazione, accendendo e spegnendo le luci di volta in volta. Tutto ciò viene ripetuto distribuendo secondo pattern differenti gli interruttori – all'esterno o all'interno delle camere, raccolti in un unico punto o distribuito per tutta l'abitazione, con e senza targhette che indichino a quale ambiente sono associati, ecc. Il risultato è che il pattern più adatto a favorire il minor consumo di elettricità – valutato in base alla quantità di tempo durante la quale le luci restano accese – è quello che prevede la distribuzione degli interruttori all'interno di ciascuna camera.

Questo esperimento, seppur estremamente interessante, presenta due forti debolezze intrinseche: la prima è che è impossibile essere certi che il comportamento adottato da un utente all'interno di una simulazione virtuale sia lo stesso che adotterebbe anche nella realtà; la seconda è legata alla consapevolezza da parte dello stesso utente di dover svolgere una sorta di sfida, che lo porta ad agire secondo modalità fuori dall'ordinario. Per quanto riguarda la prima debolezza, la si potrebbe tamponare parzialmente immaginando di rendere il luogo virtuale usato per le simulazioni esattamente sovrapponibile a quello che sarà realizzato fisicamente. A tal proposito, i dipartimenti di Ingegneria, Architettura e Psicologia della University of South California hanno effettuato un test con 112 partecipanti ai quali è stato chiesto di portare a termine dei compiti – ovviamente a seguito di un *training* che li rendesse agili e consapevoli nell'uso di visori e accessori annessi – sia in un luogo virtuale sia in uno fisico quasi identico, in entrambi i casi sia in condizioni di luce che di oscurità⁶⁰. Effettivamente i risultati avrebbero provato la coincidenza tra i comportamenti umani all'interno della simulazione e quelli al di fuori, testimoniando l'efficacia di questa soluzione. Tuttavia anche in questo in caso resta il problema

⁶⁰ Heydarian, A., Carneiro, J. P., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes T., Wood W., *Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations*, in *Automation in Construction*, vol. 54, 2015, pp. 116-126.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

dell'alterazione psico-fisica degli utenti legata al test che è stato loro proposto e che, probabilmente, potrebbe essere rimossa intervenendo sulle tempistiche entro le quali si svolgono questo tipo di esperienze. Ipoteticamente, attraverso l'osservazione dei comportamenti – almeno quelli nei luoghi reali – all'interno di un lasso di tempo più dilatato, sarebbe possibile valutarne l'autenticità e consentire una riflessione più ampia e complessa.

Nonostante alcune fallacie, le sperimentazioni prese in esame mostrano una interessante intersezione tra realtà e virtualità, diventando testimonianza delle potenzialità della realtà virtuale non solo nell'ambito della visualizzazione, ma anche in quello della psicologia architettonica, confermando la sua vocazione multidisciplinare in grado di unire ambiti come quello del design, dell'architettura, della progettazione impiantistica e della salvaguardia ambientale. Le potenzialità di questo approccio virtuale si estendono, quindi, all'esplorazione dei comportamenti umani all'interno degli spazi progettati, con effetti significativi sulla qualità della progettazione stessa. L'utilizzo di tecnologie immersive consente non solo una migliore percezione dello spazio, ma anche una maggiore consapevolezza delle dinamiche sociali e psicologiche che in esso si sviluppano, come l'esperienza di comfort, stress, o disagio, che altrimenti potrebbero rimanere sconosciute o difficili da prevedere attraverso metodi tradizionali. La realtà virtuale, quindi, si configura come uno strumento che conferisce all'architetto la possibilità di anticipare e correggere eventuali difetti progettuali prima che vengano materializzati nel mondo fisico, facendo leva sulla consapevolezza di specifiche dinamiche umane.

Ricostruzione di siti di interesse archeologico

Uno dei più grandi vantaggi della realtà virtuale è che permette di infrangere qualunque vincolo geografico, fisico o temporale: una volta che si padroneggiano le *skill* di modellazione e programmazione necessarie, non c'è nulla che impedisca di riprodurre ed esplorare luoghi terrestri o spaziali, architetture del passato o del futuro, contesti estremi per posizione o condizione climatica.

Questa gamma di possibilità si sostanzia nell'elaborazione di un nuovo approccio di tipo didattico-divulgativo; – per esempio, rendendo fruibili elementi architettonici o vere e proprie porzioni di città fino a poco tempo fa relegati a rappresentazioni bidimensionali; – ma anche scientifico, attraverso la creazione di luoghi virtuali in cui esperti di diverse discipline possono intervenire in modo dinamico su molteplici ipotesi di ricostruzione o restauro virtuale.

Un esempio iconico, che permette di comprendere a pieno le potenzialità della VR nell'ambito della ricostruzione e valorizzazione è quello del gemello digitale della città di Pompei⁶¹.

Nel 1995, presso lo Studio per la Ricerca Creativa della Carnegie Mellon University, è stata elaborata una ricostruzione virtuale del distretto teatrale della città romana di Pompei, comprendendo il tempio di Iside, il Foro Triangolare, il Teatro Grande e tutta una serie di aree di connessione. La scelta è ricaduta su questa zona per due motivi: il primo era legato al desiderio di ottenere un scorcio globale della vita dell'epoca, comprendendo l'aspetto religioso, commerciale e sociale dei romani prima della storica eruzione del Vesuvio del 79 d.C; il secondo era legato alla grande quantità di documentazione presente, che non solo ha permesso una ricostruzione accurata, ma anche l'inserimento della stessa all'interno del progetto insieme a composizioni musicali e immagini, trasformando l'output in un vero e proprio database storico fruibile in modo attivo e dinamico da studenti, insegnanti e

⁶¹ Jacobson, J., Vadnal, J., *The virtual Pompeii project*, in Richards, G. (a cura di), *Proceedings of E-Learn 2005--World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education* Vancouver, Canada, 24-28 ottobre 2005), Vancouver, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2005, pp. 1644-1649.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

programmatori, sia in classe che a casa. Inoltre il progetto, accessibile online gratuitamente, è editabile e questo gli garantisce la possibilità di essere continuamente migliorato e implementato.

La possibilità di avere a disposizione una ricostruzione 3D in cui immergersi virtualmente rappresenta una potenzialità di grande portata sia in termini divulgativi che progettuali, rivoluzionando l'approccio ai luoghi dell'architettura antica e contemporanea; e consentendo un innalzamento dei livelli di interazione e il coinvolgimento dei fruitori, i quali possono sfruttare una sola applicazione VR per più scopi e in diverse ambientazioni verosimili – ricostruite da fonti di diverso tipo oppure elaborate attraverso rilievi fotogrammetrici tramite droni.

Alla luce di quanto scritto, dunque, è possibile individuare almeno tre campi di applicazione.

1. Didattica: agli insegnanti è fornito uno strumento con cui permettere agli studenti di osservare direttamente ricostruzioni storiche architettoniche e paesaggistiche effettuate da esperti, svincolandosi, quindi, da semplici disegni o descrizioni testuali potenzialmente imprecisi o inefficaci. Si verifica un passaggio dallo studio tradizionale a una sorta di *learning by doing* simulato, consistente nell'esplorare direttamente le architetture digitali, scoprendone le caratteristiche in modo rapido, diretto e intuitivo. Nel paper *The virtual Pompeii project*, per esempio, si fa riferimento alla semplificazione che tale eseguibile di realtà virtuale riesce a effettuare nella trasmissione di informazioni legate alle variazioni dell'estetica di un tempio dedicato a una divinità egizia, quale era Iside, dovute all'influenza dalla cultura romana.
2. Studio e confronto: l'atto di dover lavorare a un *digital twin* di tipo architettonico-archeologico costringe a un'attenzione particolare verso le fonti, a un lavoro meticoloso sui modelli 3D e un continuo confronto con esperti di altre discipline (storia, architettura, archeologia), i quali possono sfruttare l'eseguibile come una vera e propria piattaforma di confronto dove, anche a distanza, possono effettuare diverse simulazioni e testare molteplici ipotesi di ricostruzione. La creazione di piattaforme digitali di confronto, che favoriscono la sinergia tra più campi del sapere, è una pratica

che si sta sviluppando sempre di più nel corso degli anni, complice il rapido sviluppo e la grande diffusione di tecnologie di lavoro 3D e visualizzazione provenienti dal mondo del *gaming*⁶². Queste, infatti, non solo semplificano e velocizzano il lavoro sui modelli 3D, ma rendono anche più efficaci le simulazioni visive, consentendo variazioni di materiali, ambientazioni, orari e condizioni meteorologiche in modo realistico e in tempo reale.

3. Progettazione: la possibilità di interagire virtualmente con luoghi ricostruiti in modo dettagliato favorisce lo sviluppo di un approccio alla progettazione architettonica più consapevole, non più vincolato ad astrazioni grafiche bidimensionali, ma calato in contesti tridimensionali simulati in cui il progettista è facilitato nel valutare con attenzione scelte progettuali – provando anche forme complesse insolite – e materiali, di cui può testare immediatamente il rapporto con specifici climi, atmosfere, luci, vegetazione e architetture.

⁶²Rua, H., Alvito, P., Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage – the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria, in: *Journal of Archaeological Science*, vol.38, 2011, pp. 3296-3308.

Fig. 26. Riproduzione virtuale di parte di Pompei per *The Virtual Pompeii Project*.



Creazione di una piattaforma di studio e confronto per curiosi ed esperti

È possibile sfruttare la realtà virtuale allo scopo di creare degli archivi digitali interamente esplorabili sia da esperti che da curiosi e in modalità diverse a seconda delle esigenze specifiche.

Un esempio significativo è la ricerca del 2019 condotta dal Politecnico di Milano finalizzata alla realizzazione di un *serious game* immersivo della Basilica di S. Ambrogio⁶³. Gli studiosi coinvolti hanno ottenuto un'applicazione VR della chiesa milanese attraverso un processo stratificato, in cui sono converse molteplici operazioni di rilievo, modellazione tridimensionale, ricerca archivistica e virtualizzazione dei dati, che hanno portato a una serie di risultati importanti sia in termini di ricerca che di valorizzazione culturale.

Il lavoro in esame ha, infatti, comportato la costruzione di una metodologia *ex novo*, che può essere considerata un utile riferimento per interpolare virtuosamente fonti dirette e indirette. Nello specifico sono state necessarie tre fasi.

1. Raccolta dati: informazioni archivistiche (documenti testuali, disegni e foto storiche), file multimediali e file tridimensionali sono stati raccolti e organizzati in modo da ricostruire la storia dell'edificio. In termini pratici si è seguito un metodo simile a quello usato in archeologia e che viene definito *sottrazione virtuale*, che consiste nel partire dall'analisi dei "livelli" più recenti, per catalogarli e procedere, poi, con quelli più antichi. Differentemente dall'ambito archeologico, però, questo processo non ha risvolti distruttivi, in quanto si utilizzano ausili 2D e 3D.
2. Rilievo 3D: in un secondo momento si è proceduto a un rilievo non invasivo attraverso laser scanner e fotogrammetria, con i quali sono stati ottenuti i file da cui partire con l'elaborazione di disegni 2D e analisi BIM. A partire da una nuvola di punti è possibile interpolare parametri fisici e meccanici, fasi storiche e valori dimensionali,

⁶³ Banfi, F., Brumana, R., Stanga, C., *Extended reality and informative models for the architectural heritage – From scan-to-bim process to virtual and augmented reality*, in *Virtual Archaeology Review*, vol. 10, issue 21, 2019, pp. 14-30.

ottenendo, così, i riferimenti su cui esperti diversi hanno potuto confrontarsi e lavorare. Ogni elemento 3D è stato quindi implementato con le informazioni raccolte.

3. Disseminazione dei risultati attraverso l'XR: tutti i dati raccolti sono stati inseriti in un'applicazione sviluppata con Unreal Engine 4, utilizzabile sia tramite visore Oculus Rift, per ottenere un'esperienza totalmente immersiva in prima persona, sia tramite dispositivi come tablet o cellulari, sui quali l'applicazione si sarebbe incentrata sull'utilizzo di un avatar da controllare liberamente all'interno della scena. Tutto il materiale presente nel "gioco" (descrizioni, audio, pannelli informativi, video, oggetti interattivi, ortofoto, ricostruzioni, ecc.) è diventato parte di una libreria editabile e condivisibile. Inoltre una serie di codici QR sono stati distribuiti all'interno dell'esperienza per visualizzare alcuni contenuti in AR.

Il risultato di questo processo è stato la creazione di un database virtuale e interattivo dell'architettura, una sorta di "taccuino" digitale – termine utilizzato all'interno del paper in analisi per richiamare alla compresenza di scritte e disegni – immagazzinando una ingente mole di materiale, diversificato e stratificato, utilizzabile per favorire confronti critici o; sessioni studio, operazioni di manutenzione o gestione del monumento; inoltre la realizzazione di un "videogioco" facilmente accessibile e condivisibile a livello globale funge indirettamente da potente promotore per l'edificio storico "conservato" al suo interno. Questo approccio innovativo consente, infatti, di presentare il patrimonio architettonico e culturale in una forma interattiva e coinvolgente, che può attrarre un vasto pubblico di utenti di diverse età e background, facilitati nel comprendere e apprezzare il valore storico e architettonico dell'edificio a prescindere da eventuali vincoli geografici o logistici.

La *gamification* del patrimonio, quindi, preserva quest'ultimo e lo vivifica, rendendolo parte integrante della cultura contemporanea. A testimoniare la validità dell'impatto di simili tecnologie sul rapporto utente-progetto si può citare uno studio del 2019 del *Tokyo Institute of Technology*, che ne ha confermato l'efficacia anche via smartphone

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

nell'86% dei casi⁶⁴. Risultato promettente legato sia al senso di novità caratterizzante l'approccio immersivo, sia alla percezione "ludica" che ne hanno i fruitori.

⁶⁴ Atwa, S. M. H., Ibrahim, M. G., Saleh, A. M., Murata, R., *Development of sustainable landscape design guidelines for a green business park using virtual reality*, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 48, 2019.



Figg. 27-29. Le tre proposte progettuali da fruire in VR trattate in *Development of sustainable landscape design guidelines for a green business park using virtual reality*, in *Sustainable Cities and Society*.

Valorizzazione del territorio e incentivo allo slow travel

Uno studio pubblicato dal Department of Leisure and Recreation Management della Ming Chuan University, a Taiwan, dal titolo *Could virtual reality effectively market slow travel in a heritage destination?* ha dimostrato come l'utilizzo della VR rappresenti un modo efficace per incentivare gente di diversa età ed estrazione sociale a interessarsi e visitare anche quei luoghi che generalmente non appaiono come mete turistiche particolarmente ambite – nel caso specifico la meta è l'antica città di Jinan⁶⁵.

Lo studio viene svolto in Cina, precisamente a Fuzhou, da maggio ad agosto 2018, su un totale di 308 partecipanti, di età uguale o superiore ai diciotto anni, ai quali viene chiesto di effettuare una simulazione in Realtà virtuale del famoso dipinto cinese *Colori d'autunno sui monti Qiao e Hua* del 1295 e di essere sottoposti a un'intervista di circa dieci minuti.

Ciò che emerso è che la VR risulta particolarmente efficace sia nella valorizzazione di luoghi poco conosciuti sia nell'incoraggiare un turismo lento e sostenibile, ma questo accade solo nel momento in cui l'esperienza immersiva riesce ad essere effettivamente coinvolgente per i fruitori soprattutto da un punto di vista emotivo, confermando quanto scritto dai professori Morgan e Pritchard – docenti presso lo University of Wales Institute – nel loro libro del 2004 *Advertising in Tourism and Leisure*⁶⁶. La possibilità non solo di osservare dall'interno una riproduzione digitale, ma di associare questa a una stimolazione multisensoriale globale e di fare leva sull'entusiasmo per la tecnologia – soprattutto nel caso dei più giovani – o sull'effetto nostalgia – prevalente nel caso dei più anziani – permette a chi utilizza un visore di maturare un coinvolgimento emotivo che si traduce nel desiderio di recarsi fisicamente nel luogo esperito tramite visore, andando oltre preconcetti o paure. Questo tipo di coinvolgimento risulta assente in altri strumenti o media come i video tradizionali o le riproduzioni sferiche a 360°,

⁶⁵ Lin, L., Huang, S., Ho, Y., *Could virtual reality effectively market slow travel in a heritage destination?*, in *Tourism Management*, vol. 78, 2020.

⁶⁶ Morgan, N., Pritchard, A., *Advertising in Tourism and Leisure*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

prive di elementi di interazione e di stimoli per l'immaginazione.

Questa conclusione è confermata dalla divergenza generatasi tra le idee e le aspettative nei confronti della città di Jinan – poco attraente da un punto di vista commerciale o culturale – espresse dai partecipanti alla ricerca prima e dopo la simulazione virtuale.

Da questo studio emerge che la validità della valorizzazione architettonico-paesaggistica virtuale passa necessariamente attraverso tre elementi noti come le tre I della VR:

1. immersività – coinvolgimento multisensoriale;
2. interazione – partecipazione fisica agli eventi del contesto virtuale;
3. immaginazione – stimolazione della creatività.

I partecipanti all'esperienza proposta dai ricercatori dell'università di Taiwan hanno frequentemente commentato quanto esperito con espressioni legate al modo in cui si sentivano durante la visita virtuale, piuttosto che a ciò che effettivamente vedevano, facendo riferimento, per esempio, ai ricordi di infanzia. Questo conferma, dunque, che l'elemento emozionale rappresenta uno dei principali motori del coinvolgimento, nonché ciò che permette all'esperienza puramente virtuale di diventare stimolo per il viaggio fisico.

3.3.2. L'uso dell'AR in architettura

È possibile individuare tre aree di interesse per quanto riguarda il rapporto tra realtà aumentata e architettura, ossia:

1. didattica dell'architettura;
2. valorizzazione del patrimonio storico-architettonico;
3. ausilio alla costruzione di strutture complesse.

Didattica dell'architettura

L'insegnamento dell'architettura è cambiato notevolmente nel corso degli anni, passando da un approccio "cartaceo" a uno progressivamente più tecnologico, che permette il confronto con le richieste sempre più complesse e con gli standard sempre più alti del mondo delle costruzioni, sia da un punto di vista formale sia per quanto riguarda questioni di manutenzione, sostenibilità, resilienza e accessibilità. Nonostante ciò, riportando quanto emerso dal lavoro svolto da alcuni ricercatori della Western Sidney University e della University of Technology Sidney, i metodi di insegnamento contemporanei sembrano non riuscire a colmare il *gap* tra mondo accademico e lavorativo⁶⁷, spesso a causa della mancanza di esperienze sul campo – per esempio le visite nei cantieri – che consentirebbero agli studenti di misurarsi con le difficoltà del mondo "reale". Questa situazione sarebbe dovuta a quattro criticità della didattica contemporanea⁶⁸:

1. sembra mancare la dimensione interattiva all'interno dei metodi convenzionali di insegnamento;
2. risulta spesso assente il confronto con la componente spaziale e tridimensionale dell'architettura, relegata a disegni o immagini bidimensionali;

⁶⁷Hajirasouli, A., Banihashemi, S., *Augmented reality in architecture and construction education: state of the field and opportunities*, in *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 19, issue 39, 2022.

⁶⁸*Ibid.*

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

3. non si incentiva lo sviluppo di *skill* sociali che impatterebbero sulla capacità degli studenti ragionare criticamente, prendere decisioni e lavorare in gruppo;
4. c'è carenza di metodi didattici attrattivi e coinvolgenti.

Per tentare di risolvere i problemi elencati si sono effettuate una serie di sperimentazioni basate sull'utilizzo della realtà aumentata – tramite applicazioni per cellulare facilmente accessibili come AR-media, Aurasma e Augmented – allo scopo di sviluppare progetti accademici di architettura che ponessero lo studente al centro del processo didattico. Queste sono consistite nella creazione di eseguibili di AR dei progetti da utilizzare tramite cellulare, computer o tablet – associati a un approfondito lavoro con software di modellazione 3D e in alcuni casi alla prototipazione tramite stampa 3D – e questa si è dimostrata una via efficace per generare una pratica di coinvolgimento attivo dei partecipanti che – come testimoniato dai questionari da loro stessi compilati a seguito delle esperienze – si sentono incentivati a tentare di tradurre tridimensionalmente le proprie idee e a interagire fisicamente e virtualmente con esse, migliorando sia nella percezione e comprensione degli spazi sia nella loro rappresentazione grafica.

Dunque, alle precedenti quattro problematiche si oppongono i seguenti aspetti positivi dell'approccio tecnologico incentrato sull'AR:

1. si crea contesto costruttivo e interessante che spinge gli studenti ad applicarsi di più in ambito progettuale, migliorando le proprie capacità e ottenendo output architettonici più complessi;
2. viene potenziata la didattica tramite un approccio che rende lo studente il fulcro intorno a cui ruota tutta l'esperienza della progettazione architettonica;
3. si sviluppa un metodo flessibile capace di integrare diversi strumenti, tecniche e tecnologie;
4. i discenti si sentono più motivati e incuriositi;
5. si sviluppa il cosiddetto *edutainment*, per cui intrattenimento e formazione si fondono, facilitando il confronto degli studenti con problemi e situazioni reali;

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

Valorizzazione del patrimonio storico-architettonico

Come accade con la realtà virtuale, anche nel caso della realtà aumentata è possibile trovare un punto di incontro con il tema della valorizzazione del patrimonio storico-architettonico. Esiste, però, una differenza sostanziale tra le due tecnologie, che implica anche una diversificazione in termini applicativi: la realtà aumentata, a differenza della VR, richiede che fruitore si rechi sul luogo da “aumentare”, interfacciandosi fisicamente e attivamente con l’architettura. Ciò che distingue, quindi, la realtà aumentata dalla realtà virtuale è proprio il tipo di esperienza a cui ciascuna permette di accedere, rendendo le due tecnologie implementabili ma non interscambiabili.

Nel corso del tempo il teatro, le belle arti e il cinema hanno arricchito notevolmente il pacchetto di strumenti con cui il pubblico può avvicinarsi a tematiche ostiche, sfruttando particolari strategie drammatico-emotive o elementi estetici che hanno migliorato il senso di coinvolgimento, rinunciando, però, alla creazione di esperienze personalizzate o interattive⁶⁹. L’AR può tamponare – se non proprio risolvere – questo problema andando a implementare ambienti realmente esistenti con ricostruzioni tridimensionali eventualmente arricchite da animazioni e suoni. La possibilità di sfruttare questa tecnologia su qualunque smartphone ha permesso di sviluppare applicazioni in grado di trasformare intere città in luoghi aumentati da cui poter prendere, dunque, in modo rapido e semplice informazioni di ogni tipo. Nel 2020, per esempio, Bari è diventata la prima città al mondo a essere interamente mappata e digitalizzata, creando una grande infrastruttura virtuale accessibile tramite realtà aumentata e sfruttabile per registrare e scambiare informazioni geospaziali precise al centimetro⁷⁰.

⁶⁹ Papagiannakis G., Schertenleib S., O’Kennedy B., Arevalo-Poizat M., Magnenat-Thalmann N., Stoddart A., Thalmann D., *Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii*, in *Computer Animation And Virtual Worlds*, vol. 16, 2005, pp. 11-24.

⁷⁰ La *startup* barese *Augmented.city* nel 2020 ha mappato oltre 100 km² di città implementando la tecnologia *Open Spatial Computing Reference Platform* (OSCP). <https://www.lagazzettadelmezzogiorno.it/news/bari/1252646/bari-e-la-prima-cittal-mondo-ad-essere-mappata-in-3d-con-la-realta-aumentata.html>.

Soprattutto in caso di disastri ambientali gravi, che possono minare l'identità dei luoghi distruggendone monumenti ed edifici di alto valore storico-culturale, operazioni di mappatura e di utilizzo della realtà aumentata simili a quella precedentemente descritta garantiscono una forma di salvaguardia dell'immagine delle città, facilitando anche eventuali operazioni di ricostruzione.

Il 4 settembre 2010 un terremoto di magnitudo 7.1 ha colpito la città di Christchurch in Nuova Zelanda, danneggiando irrimediabilmente la città e portando alla demolizione di oltre novecento edifici del centro storico. Per tentare un salto nel passato e conservare il ricordo della città prima del disastro, l'università di Canterbury ha lavorato a un eseguibile di realtà aumentata da utilizzare tramite cellulare e con cui fornire ai fruitori non solo informazioni di tipo storico-architettonico in merito a luoghi persi o inaccessibili, ma anche ricostruzioni 3D dettagliate degli stessi, visibili a grandezza reale nei siti in cui sorgevano prima del terremoto⁷¹.

In conclusione, la realtà aumentata è una tecnologia in rapida evoluzione, complice lo sviluppo e la diffusione sempre più rapida di hardware che ne supportano il funzionamento. Nonostante ciò, l'utilizzo in ambito puramente architettonico appare ancora limitato, anche se presenta grandi potenzialità progettuali insite nella possibilità di avere sempre a disposizione gemelli digitali accurati di edifici, quartieri o addirittura intere città. Questo consente agli architetti e ai loro collaboratori di visualizzare, analizzare ed eventualmente modificare interi progetti in tempo reale, sovrapponendo i modelli digitali al mondo fisico e ottimizzando, di conseguenza, tutte le operazioni legate alla salvaguardia o allo sviluppo di quest'ultimo.

⁷¹ Gun, A. L., Dünser, A., Kim, S., Billingham, M., *CityViewAR: A Mobile Outdoor AR Application for City Visualization*, in atti dello *11th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2012) - Arts, Media, and Humanities* (Atlanta, USA, 5-8 novembre 2012), 2012, pp. 57-64.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

Ausilio alla costruzione di strutture complesse

Differentemente da quanto fatto per le altre macroaree, in questo caso si è scelto di riportare più esempi, ritenendo l'ausilio alla costruzione il punto più importante e meritevole di un maggiore approfondimento. Questa scelta è dovuta a tre ragioni: la prima è il valore pratico e concettuale che assume lo strumento della realtà aumentata nel momento in cui la si utilizza per costruire. L'atto di costruire, infatti rappresenta l'essenza concreta della disciplina architettonica – sempre in bilico tra arte e scienza, teorie e pratica – e non è scontato che le tecnologie di estensione della realtà consentano sempre il passaggio dal piano virtuale a quello reale, abbandonando il campo della teoria e della virtualità per entrare a tutti gli effetti in quello concreto della pratica.

La seconda ragione risiede nella consapevolezza che i metodi costruttivi innovativi influenzano inevitabilmente anche la fase progettuale: infatti la conoscenza dei nuovi strumenti a supporto dell'architetto fornisce a quest'ultimo una vasta gamma di altrettanto nuove possibilità e può portare il progettista a operare scelte giustificate proprio dall'ausilio degli stessi.

La terza ragione è legata all'esperienza che si vedrà nel dettaglio più avanti e con cui si è scelto di concludere questa tesi, ovvero quella della realizzazione di un dimostratore che funga da riassunto materiale del lavoro di ricerca svolto nel corso di questo dottorato. Il dimostratore in questione è un padiglione di dimensioni medio-grandi montato alla fiera Marmomac di Verona – la fiera della pietra più importante a livello internazionale – attraverso il supporto della tecnologia olografica. Per fare fronte a una simile sfida è fondamentale avere degli esempi-guida simili con cui confrontarsi e da cui raccogliere informazioni utili.

Fig. 31. Il capomastro Salvador Gomis durante la costruzione del padiglione InnixAR presso il campus dell'IE University a Segovia. Foto di Wesam Al Asali.



Il caso di SNBR⁷²

In occasione della dell'edizione 2023 del Salone di Rocalia – esposizione sul tema della pietra naturale che si tiene annualmente a Lione, in Francia – l'azienda francese SNBR ha presentato un prototipo di paraboloide iperbolico in pietra realizzato attraverso un interessante connubio tra tradizione – rappresentata dalla lavorazione del materiale lapideo – e innovazione – ovvero le tecnologie di estensione della realtà –, mettendo a punto un sistema di costruzione sperimentale in cui è stato ibridato il lavoro manuale con la realtà aumentata.

Nello specifico, l'azienda ha lavorato su un doppio fronte, sviluppando un metodo di lavoro innovativo. Da una parte si è occupata di effettuare uno studio progettuale “concreto”, prendendo in analisi i materiali da utilizzare in relazione alle forme da realizzare. A una scelta iniziale di lavorare con la terracotta o con la terra cruda è seguita una seconda ipotesi, poi portata a compimento, di sfruttare dei blocchi in travertino e dei conci in pietra di Noyant. I primi sono stati usati per costruire una “colonna vertebrale” che stabilizzasse le pendenze della volta e che fungesse da supporto, i secondi sono stati apparecchiati seguendo le giaciture imposte dal progetto.

Proprio per agevolare la disposizione dei conci è stato sfruttato il visore HoloLens 2. È stato, infatti, creato un gemello virtuale della volta, completa e perfettamente sovrapponibile alla controparte reale durante il cantiere, ed è stata proiettata tramite HoloLens nel punto esatto in cui

Fig. 32-33. Il processo di costruzione tramite HoloLens del padiglione esposto a Rocalia dall'azienda SNBR. Foto di SNBR.

⁷² SNBR, *Nouveaux outils pour la construction de formes complexes. Cas d'étude: maçonnerie d'une voûte par réalité mixte à Rocalia 2023*, https://www.snbr-stone.com/images/paper_realit%C3%A9_mixte_SNBR.pdf.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

si stava avviando il processo di costruzione. Poiché nel *digital twin* i conci erano già correttamente disposti e visualizzabili in tempo reale come una griglia a fil di ferro, si è formato un vero e proprio pattern trasparente di riferimento che gli operai hanno dovuto semplicemente “riempire” con i veri blocchetti litici di $14 \times 7 \times 4$ cm – sia all’intradosso che all’estradosso – e con la malta di collegamento.



Fig. 34 (in alto). Prova di messa in opera dei conci del padiglione esposto alla fiera Rocalia dall’azienda SNBR con l’ausilio di HoloLens.
Foto di SNBR.



Fig. 35 (in basso). Il padiglione completo esposto a Lione in occasione della fiera Rocalia 2023.
Foto di SNBR.

*Angelus Novus Vault*⁷³

In occasione della diciottesima edizione della Biennale di Architettura di Venezia, nel 2023, l'IE School of Architecture and Design di Madrid, il Form Finding Lab della Princeton University, lo studio di architettura Skidmore, Owings e Merrill (SOM) e le università di Bergamo e di Salerno hanno collaborato per realizzare l'Angelus Novus Vault, ovvero una volta autoportante in mattoni posta all'ingresso di Palazzo Mora. Questa, progettata e costruita in soli tre mesi sulla base del *know how* ottenuto attraverso il padiglione in mattoni innixAR – un progetto simile, realizzato precedentemente presso il campus della IE University a Segovia e consistente in una volta totalmente compressa fatto di mattoni in terracotta –, è stata il risultato della fusione tra la manodopera tradizionale e la tecnologia di realtà aumentata, con la quale gli operai sono stati guidati durante tutto il processo costruttivo⁷⁴.

Anche in questo caso, come avvenuto con il prototipo di SNBR, l'AR – precisamente il visore HoloLens con il software Twinbuild – ha permesso l'elaborazione di una struttura virtuale di riferimento da seguire durante il montaggio, facilitando e velocizzando tutte le operazioni fisiche di costruzione. In aggiunta a questo, però, il professor Wesam Al Asali dell'IE School of Architecture, ha specificato due concetti interessanti: il primo riguarda la questione dell'intreccio tra tecnologica e competenze tecniche tradizionali e il secondo riguarda il tema della formazione.

⁷³ «Angelus Novus Vault: Demonstrating New Possibilities for Self-Balancing Construction through a Mixed-Reality Approach», Skidmore, Owings & Merrill, 23 maggio 2023, <https://www.som.com/news/angelus-novus-vault/>.

⁷⁴ Sito web della IE School of Architecture and Design, <https://www.ie.edu/school-architecture-design/news/cutting-edge-technology-and-traditional-vaulting-from-segovia-to-venice/>.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

«This technology offers the potential for faster construction, simplified molds, and guidance systems, as well as training for novice builders. It's essential to highlight that the technology does not replace the expertise, skill, and dexterity of a master builder but rather engages in a dialogue with these invaluable qualities»⁷⁵.

Nonostante appaia innegabile l'aiuto che la tecnologia fornisce, potenziando aspetti come la precisione in fase di cantiere ed eliminando ostacoli fisici – per esempio guide generalmente realizzate utilizzando reti in PVC o tondini di acciaio –, è importante evidenziare come anche la fase precedente di progettazione sia influenzata dal potenziale utilizzo della realtà aumentata per l'assemblaggio. Infatti, sia nel caso dell'Angelus Novus Vault sia in quello di innixAR è stato importante avere interazioni multiple col capomastro, sottoponendogli dei modelli virtuali con cui lui stesso potesse confrontarsi, creando così una condizione di equilibrio tra la possibilità fornirgli informazioni dettagliate e di lasciargli spazio per esprimersi in quanto esperto. Questo processo si è tradotto in una ricerca progettuale globale, in cui sono stati presi in considerazione quasi contemporaneamente gli aspetti geometrici, virtuali e quelli della pratica tradizionale, a vantaggio della sinergia tra esperti di campi diversi.

Fig. 36. Visualizzazione a fil di ferro del padiglione InnixAR costruito presso il campus dell'IE University a Segovia. Foto di Wesam Al Asali.

⁷⁵ «Questa tecnologia offre il potenziale per una costruzione più rapida, stampi semplificati e sistemi di guida, nonché una formazione per i costruttori alle prime armi. È fondamentale sottolineare che la tecnologia non si sostituisce alla competenza, all'abilità e alla destrezza di un capomastro, ma piuttosto dialoga con queste preziose qualità».



«This approach challenged traditional hierarchies in architecture and construction, where plans are typically created for builders to execute, and architects and engineers subsequently review and approve the work. Instead, we discovered that successfully integrating technological advances into traditional construction relies on open and meaningful collaboration with craft communities»⁷⁶.

Da un punto di vista costruttivo sono stati coinvolti anche gli studenti dell'IE University attraverso un workshop pratico in cui, accanto all'utilizzo di tecniche di *form finding*, design computazionale e scansione 3D, hanno potuto sperimentare l'uso della realtà aumentata per la costruzione di modellini in scala attraverso i loro cellulari.

⁷⁶«Questo approccio ha sfidato le gerarchie tradizionali nell'architettura e nell'edilizia, dove le planimetrie vengono generalmente create per essere seguite dai costruttori e successivamente architetti e ingegneri rivedono e approvano il lavoro. Invece, abbiamo scoperto che l'integrazione ottimale dei progressi tecnologici nell'edilizia tradizionale si basa su una collaborazione aperta e significativa con le comunità artigiane».

Fig. 37. Il processo di costruzione dell'Angelus Novus Vault presso lo European Cultural Centre a Venezia nel 2023.

Foto di Vittorio Paris.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 3. La realtà estesa e il *virtuality continuum*

In conclusione, sia l'esperienza di SNBR che quella svolta a Venezia testimoniano, attraverso esempi di applicazione architettonico-costruttiva, che la realtà aumentata ha le potenzialità di fungere da ponte diretto tra il luogo virtuale di progettazione e quello fisico di costruzione, facilitando lo scambio di conoscenze, la comunicazione tra progettista e operaio e semplificando le effettive operazioni di montaggio di un'architettura. Infatti, si velocizzano e semplificano notevolmente le attività di cantiere – soprattutto quando bisogna costruire strutture complesse o geometrie non convenzionali –, si rende più agile il lavoro eliminando la necessità di elaborati grafici tecnici o di supporti fisici che possono intralciare i movimenti *in situ*; e si riduce il carico di attività manuale per costruttori, muratori e scalpellini.

Fig. 38 (in basso).
padiglione InnixAR
costruito presso
il campus dell'IE
University a Segovia.
Foto di Wesam Al Asali.

Fig. 39 (alla pagina
seguinte). Il padiglione
Angelus Novus Vault
costruito presso
l'European Cultural
Centre a Venezia nel
2023.

A fronte di un miglioramento delle condizioni di lavoro *in situ*, però, si verifica un profondo cambiamento dell'attività preliminare di tipo digitale, per la quale sono richieste specifiche operazioni di programmazione, tracciamento e modellazione tridimensionale, la conoscenza di software adeguati e la padronanza dello strumento di realtà aumentata. Inoltre esistono delle condizioni intrinseche al visore HoloLens che ne ostacolano la diffusione, ovvero i costi elevati, il *know how* specifico necessario al suo utilizzo, il campo visivo piuttosto limitato, la sua estrema sensibilità alle condizioni del sito in cui viene adottato (luce ambientale, presenza di polvere, maltempo) e, infine, la durata della batteria.





Capitolo 4

L'intelligenza artificiale

4.1. Contestualizzazione dell'IA

Alla fine del XIX secolo in Europa diventa particolarmente famoso un cavallo tedesco di nome Hans. Questo animale non è come gli altri della sua specie, perché, a differenza loro, è in grado di risolvere problemi di matematica e di eseguire numerose attività logico-cognitive come leggere l'ora o sillabare le parole. Per questa ragione viene nominato *Der Kluge Hans*, ovvero Hans l'intelligente, e nel 1904 diventa una vera e propria celebrità, di cui si arriva a parlare anche sul *New York Times*, che lo definisce: «il meraviglioso cavallo di Berlino, capace di fare quasi tutto tranne parlare».

Fig. 40. Il professor Wilhelm von Osten con il cavallo Hans in una foto del 1908.



Il fenomeno, un *unicum* assoluto, suscita ben presto l'interesse della comunità scientifica e viene nominata una commissione d'indagine di tredici scienziati guidata dallo psicologo e filosofo Carl Stumpf e dal suo assistente Oskar Pfungst. La cosiddetta "commissione Hans" nel 1904 conclude i suoi esperimenti riconoscendo l'autenticità delle abilità mostrate dall'animale; in seguito, attraverso un'ulteriore indagine effettuata nel 1911, Stumpf e Pfungst registrano un dato interessante: il cavallo non risponde correttamente se la persona che pone la domanda non è nel suo campo visivo o se questa non conosce la risposta. Da qui la scoperta: Hans non risponde davvero alle domande, ma reagisce agli stimoli visivi del linguaggio corporeo del suo interlocutore – primo tra tutti il suo addestratore, il professore di matematica in pensione Wilhelm von Osten –, cogliendone modifiche posturali o espressive involontarie durante la formulazione dei quesiti⁷⁷.

Questa storia è interessante perché consente un parallelismo con l'intelligenza artificiale e mette in luce il tema della costruzione dell'intelligenza stessa. Così come von Osten tenta di simulare l'intelligenza degli uomini addestrando un cavallo a seguire ed emulare dei processi cognitivi propriamente umani, così, oggi, il mondo della ricerca sembra stia tentando di addestrare le macchine allo scopo di emulare il funzionamento di una mente, utilizzando il termine "intelligenza" come se questa possa esistere disgiunta dall'umanità e, quindi, in assenza di relazioni col mondo circostante – relazioni di ogni tipo, anche di natura emotiva. Quando si parla di "intelligenza" artificiale, insomma, in primo luogo ci si dimentica che non esiste una definizione univocamente riconosciuta di intelligenza⁷⁸, e soprattutto che, riprendendo un concetto espresso dal professore di filosofia Hubert Dreyfus in *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*⁷⁹, essa non può essere scollegata da processi

⁷⁷ Crawford, K., *Atlas of AI. Power, Politics and the Planetary Costs of Artificial Intelligence*, New Haven, Yale University Press, 2021 (ed. it. *Né Intelligente né Artificiale. Il lato oscuro dell'IA*, Bologna, Il Mulino, 2021).

⁷⁸ Goertzel, B., Wang, P., *Advances in Artificial Intelligence: Concepts, Architectures and Algorithms*, Amsterdam, IOS Press, 2007.

⁷⁹ Dreyfus, H. L., *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*, New York, Harper Collins, 1972.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 4. L'intelligenza artificiale

propriamente umani, consci e subconsci, che invece nei computer vanno necessariamente approssimati o eliminati.

L'intelligenza in quanto tale non può esistere in forma disincarnata e priva di relazioni col mondo materiale ed è per questo motivo che è necessario stabilire una cornice entro la quale essa assuma significato, attribuendole qualità che ne permettano una contestualizzazione.

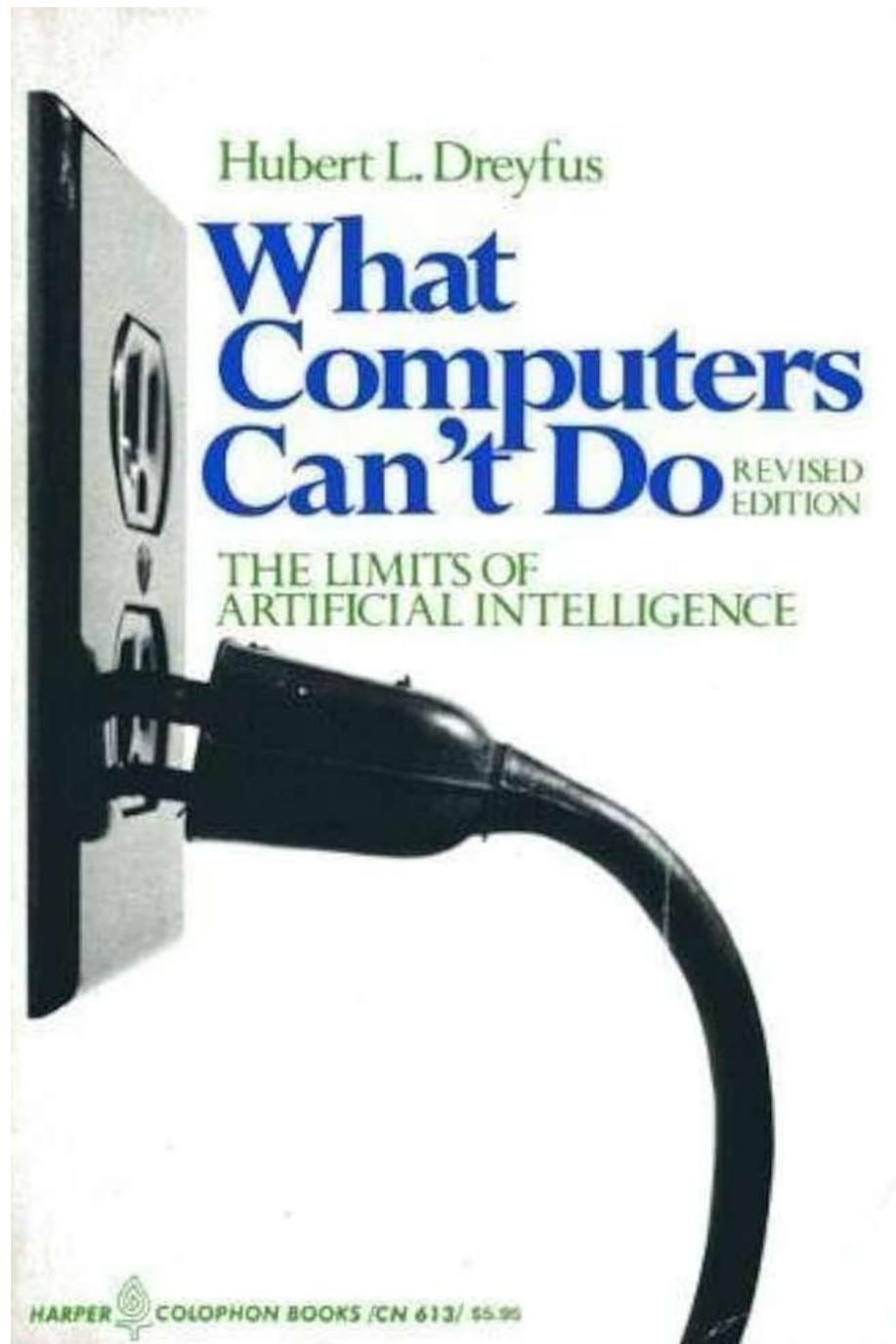


Fig. 41. La copertina del libro *What Computers Can't Do* di Hubert L. Dreyfus.

Alla luce di ciò è necessario specificare che ciò di cui si parla in questa tesi non è, quindi, un'intelligenza artificiale generica, ma è l'intelligenza artificiale "generativa", nota con l'acronimo GAN (Generative Adversarial Network o Rete Antagonista Generativa). Si tratta di una "architettura" dotata di reti neurali profonde in grado di individuare molto rapidamente, in un dato insieme di contenuti, delle caratteristiche o dei pattern comuni da riutilizzare-successivamente per generare output apparentemente nuovi.

Perché ciò sia possibile, la macchina deve essere a tutti gli effetti addestrata, deve diventare "consapevole" e deve essere in grado di distinguere un dato dall'altro. Se si vuole che l'IA elabori un'architettura in un determinato stile, ad esempio, è necessario che essa sappia cosa non è fatto in quello stile specifico, in modo da potersi allontanare da informazioni errate. Questo può avvenire se a una rete neurale generativa, che si occupa di creare un contenuto, si oppone una seconda rete neurale profonda – che viene definita antagonista o discriminatoria –, la quale svolge la funzione di "discriminare", e cioè di effettuare una selezione nel database di riferimento, in modo che l'output finale sia effettivamente un contenuto con le caratteristiche richieste. Le IA, quindi, imparano e maturano, basando il loro funzionamento su un meccanismo detto "*deep learning*" – ovvero apprendimento profondo – che può essere definito come un sistema di apprendimento gerarchico che imita il modo in cui gli esseri umani acquisiscono conoscenza, a volte anche inconsciamente. È una branca del *machine learning* con cui si insegna alle menti artificiali a svolgere determinati compiti in modo rapido, tramite algoritmi.

Fare propri questi concetti è necessario per comprendere a fondo entità e potenzialità dell'IA, e soprattutto è fondamentale per evitare che la si umanizzi impropriamente, generando paure e timori sproporzionati e ingiustificati; essa è una macchina e l'inevitabile accostamento alla mente umana serve a spiegarne il funzionamento in modo intuitivo, rendendo il tema più facilmente accessibile in un momento storico in cui la sua esposizione mediatica è estremamente elevata in tutti i campi scientifici e artistici – con questa consapevolezza non deve sorprendere l'utilizzo di termini come "apprendere" o "crescere" nel momento in cui si esplica il suo meccanismo.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 4. L'intelligenza artificiale

Nonostante, infatti, si cominci a parlare di intelligenza artificiale all'incirca nel 2010, le sue potenzialità in ambito architettonico iniziano a emergere solo nel decennio successivo, sfuggendo a una sorta di elitarismo scientifico e diventando uno strumento effettivo nelle mani dei creativi di tutto il mondo, complici a volte involontari della sua rapida evoluzione. Il 2022, in particolare, è l'anno in cui ha luogo una vera e propria esplosione popolare dell'Intelligenza Artificiale applicata al mondo della produzione di contenuti: infatti, nonostante i laboratori che si occupano di questo tema siano attivi da tempo, è solo nell'estate di quest'anno che molti di essi rendono accessibili al pubblico le versioni *beta*, ossia software in fase di test.

Quest'azione si traduce in breve tempo nella saturazione di social network, siti e forum di opere dal forte impatto estetico e improntate, solitamente, su un'impostazione cinematografica sia in termini di composizione fotografica; sia di uso delle regole di luce e colore. Un'impostazione che è tipica di strumenti come Midjourney, una delle numerose "interfacce di dialogo" disponibili per interagire con l'IA e che, per via della semplicità e rapidità di utilizzo, è stata scelta per questa tesi di dottorato.

Fig. 42. *Théâtre d'opéra spatial*, opera generata tramite IA da Jason Allen e vincitrice del primo premio alla *Colorado State Fair* del 2022.



Anche limitando il range di analisi solo alle IA finalizzate alla produzione di immagini, è possibile muoversi in un folto gruppo di applicazioni, sia per computer che per cellulare, gratuite e a pagamento. DALL-E, DreamStudio, Wonder-sono altri esempi più o meno famosi, diversi per layout ma tutti caratterizzati da un approccio ugualmente rivoluzionario, per cui è sufficiente scrivere dei comandi, delle frasi o anche solo singole parole di riferimento per ottenere i risultati desiderati. È necessario, quindi, un costante confronto uomo-macchina durante il quale gli input forniti e la possibilità di indicare alla tecnologia su quali output continuare a lavorare di volta in volta avvicinano l'iter procedurale a una sorta di dialogo, in cui sembra quasi che sia la mente umana sia quella artificiale apprendano e crescano.

L'IA si evolve progressivamente grazie agli stimoli e alle “esperienze” a cui è sottoposta e contemporaneamente le sue reti neurali artificiali vengono “addestrate”. Essa diviene sempre più abile sia nell'individuare eventuali relazioni latenti tra un'infinita quantità di dati e immagini presenti in rete sia nel fonderle per generare risultati che costituiscono un esito innovativo rispetto all'input che ha alimentato il sistema. L'architetto, dal canto suo, allena la sua creatività utilizzando gli output della macchina per avviare nuovi ragionamenti da reimmettere in un processo che appare privo di blocchi di natura fisica, spaziale o perfino logica e che permette di raccogliere e fondere suggestioni.

Suggestioni che sono fondamentali, perché è proprio nell'elaborazione di esse che la mente dell'uomo e quella della macchina si allineano, adottando un *modus operandi* sorprendentemente simile. Quando il professionista deve trovare una soluzione progettuale, prima di ricorrere a piante e sezioni – ovvero quelle astrazioni che permettono di sviluppare in modo tecnico ed efficace il funzionamento dell'architettura – ricorre alla sua creatività. Cerca, infatti, di generare mentalmente un'immagine di riferimento interessante, un'ispirazione, e per farlo fa ricorso al suo bagaglio culturale: tutte le conoscenze acquisite negli anni tramite l'educazione accademica e le esperienze personali, immagazzinate nel cervello e messe da parte, riaffiorano – più o meno inconsciamente, in modo soggettivo – e si fondono per ottenere quella suggestione che guiderà il progetto. Allo stesso modo lavorano le IA, le quali prendono le richieste testuali come fossero idee che le spingono a navigare

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 4. L'intelligenza artificiale

nell'enorme quantità di dati conservati nei server di riferimento per fornire al progettista ausilio nel raggiungimento di un'alta qualità architettonica.

L'uso del termine "ausilio" non è casuale: è di fondamentale importanza ricordarsi che è sempre l'architetto a essere il "sovrintendente" – come indica il termine *architékton*, con cui si indica non colui che costruisce in prima persona, ma colui che coordina e che si fa portatore dei valori del *notum* e che, allo stesso tempo, ha lo sguardo rivolto al *novum*⁸⁰ – mentre l'intelligenza artificiale, nonostante il suo carattere avanguardistico, resta comunque un mezzo e non il fine dell'iter progettuale.

Difatti, come dichiarato dallo stesso laboratorio che ha sviluppato Midjourney, l'obiettivo del lavoro sulle IA è quello di «esplorare nuovi mezzi di pensiero» ed «espandere i poteri immaginativi della specie umana»⁸¹, evidenziando il ruolo da protagonista dell'essere umano. L'intelligenza artificiale, dunque, resta dichiaratamente uno strumento nelle mani di quei professionisti che, seppur attratti dalla *venustas* vitruviana, non riducono il proprio lavoro alla ricerca della bellezza e non fanno arte "inutile" – nel senso inteso da Oscar Wilde –, ma puntano anche a *utilitas* e *firmitas*.

4.2. Il pensiero associativo

Gli architetti radicali austriaci degli anni Sessanta, come dichiarato dal loro massimo esponente Hans Hollein, basavano la propria attività sul principio «tutto è architettura». Erano convinti, cioè, che bisognasse svincolarsi dalle ideologie convenzionali e trovare nuove ispirazioni e nuove chiavi di interpretazione della realtà; bisognava staccarsi dall'idea di architettura intesa come disciplina vincolata alla conoscenza e all'uso dei materiali e alla costruzione di opere e intenderla in un modo più ampio, considerando il mondo fenomenologico in cui si immergeva e i

⁸⁰ Dionigi, I., *Op. Cit.*

⁸¹ Salkowitz, R., «Midjourney Founder David Holz On The Impact Of AI On Art, Imagination And The Creative Economy», *Forbes*, 17 settembre 2022, <https://www.forbes.com/sites/robsalkowitz/2022/09/16/midjourney-founder-david-holz-on-the-impact-of-ai-on-art-imagination-and-the-creative-economy/>.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

suoi rapporti con i media.

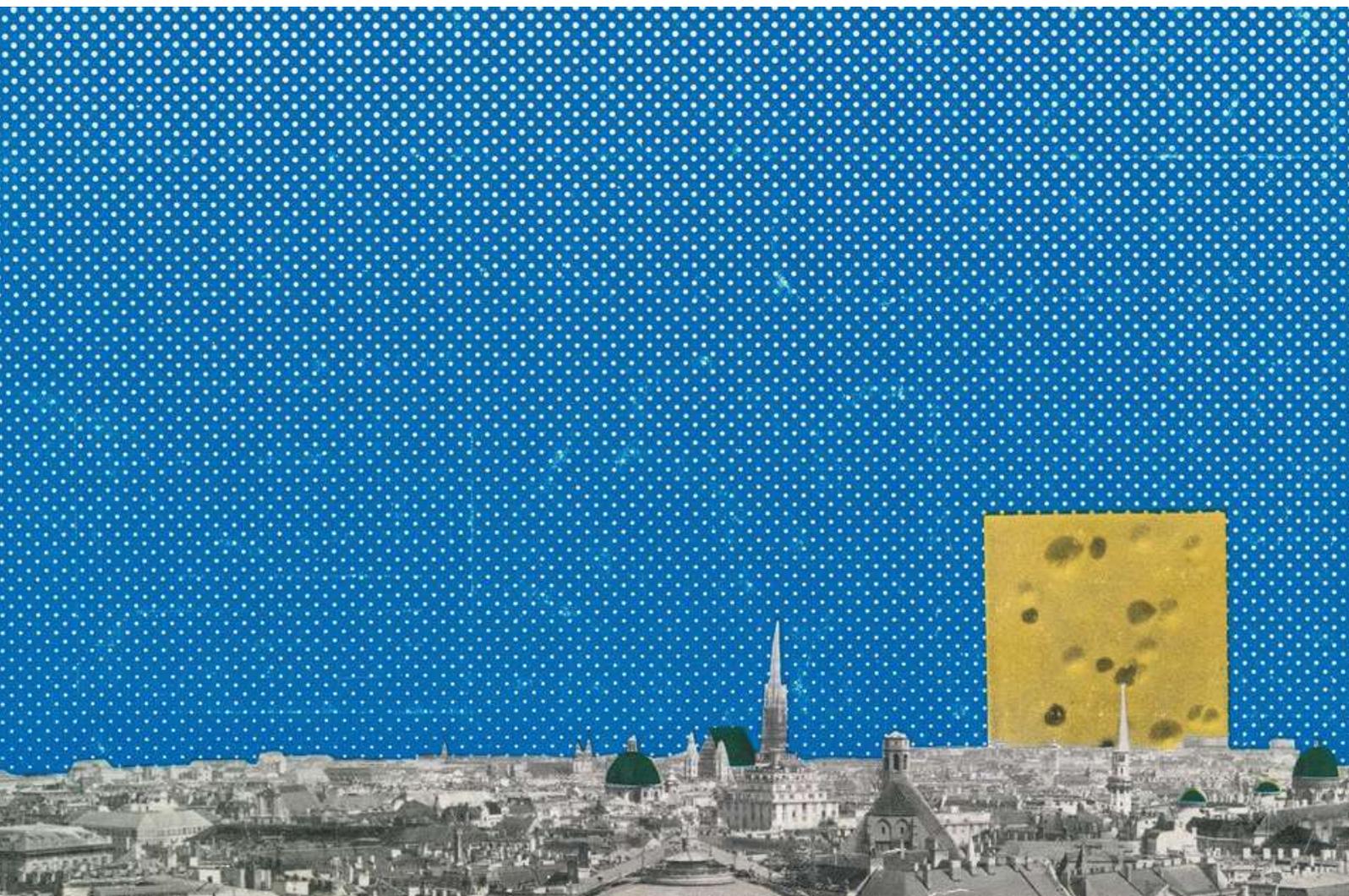
«Gli architetti devono smetterla di pensare solo alle opere d'architettura»⁸².

Da questo punto di vista la rilettura del mondo concreto in forme più o meno utopistiche e attraverso stili differenti da parte delle intelligenze artificiali diventa parte integrante di un processo di ricerca molto complesso, basato sostanzialmente sulla rottura di tutti i vincoli legati alla visione contemporanea dell'architettura.

In assenza di blocchi di natura fisica, spaziale e logica, la possibilità di produrre grandi quantitativi di immagini dai contenuti estremi e variegati si trasforma in un corrispettivo del disegno artistico su carta, ovvero uno strumento con cui dare forma e fissare le idee in modo rapido e talvolta inconsapevole.

⁸² Hollein, H., *Op. Cit.*

Fig. 43. Copertina del catalogo di Bau Magazine per la mostra *Alles Ist Architektur* del 1968.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

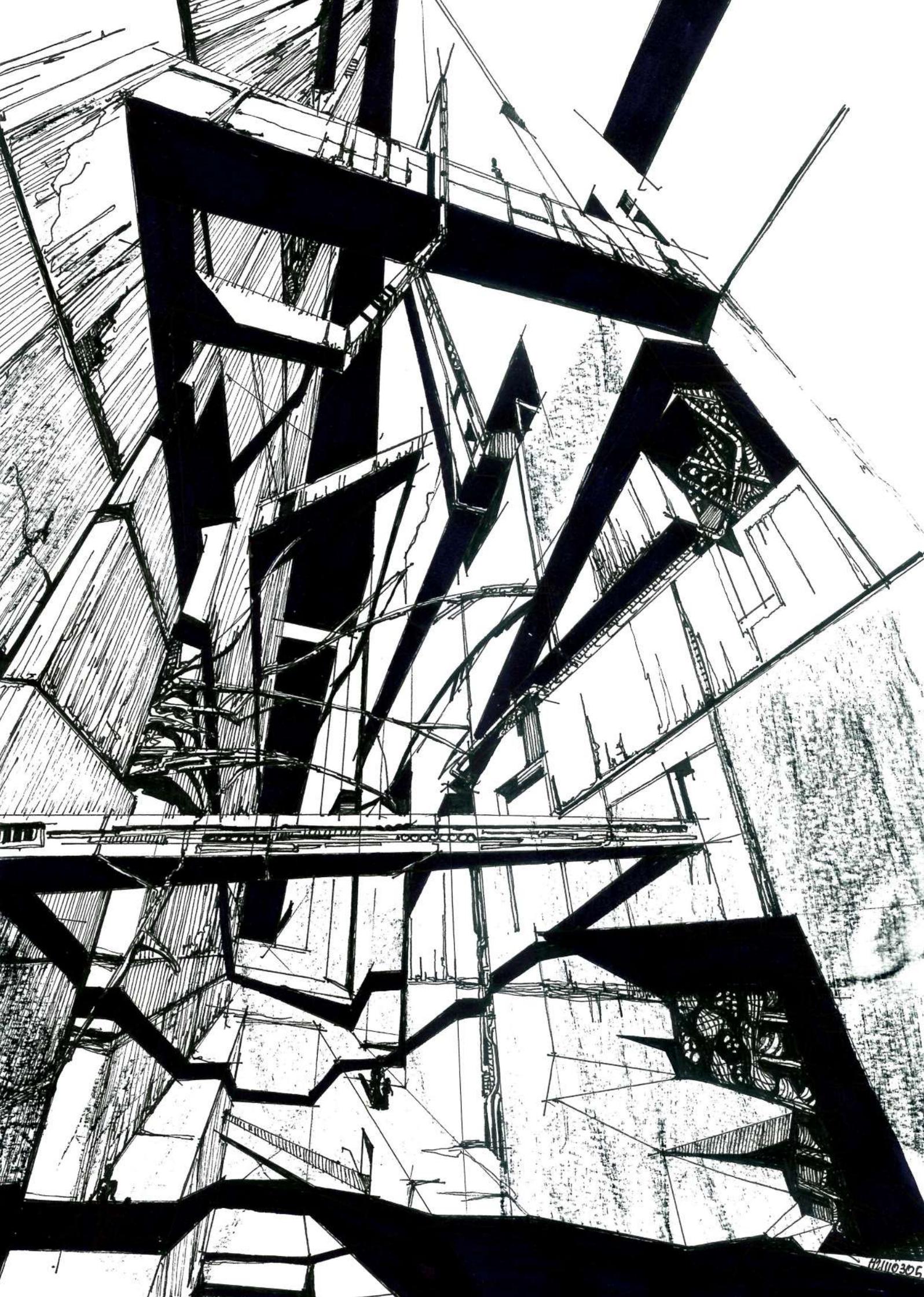
Parte seconda

Cap. 4. L'intelligenza artificiale

Un nuovo sistema, dunque, con cui si concretizza il pensiero associativo umano – ovvero una forma di pensiero più rapida del pensiero logico, in quanto non strettamente legata a un andamento consequenziale, ma basata sulla possibilità di costruire rapidamente e intuitivamente legami tra idee e concetti⁸³ –, in un processo che permette di raccogliere e fondere suggestioni che potranno diventare la base di futuri progetti di architettura e design. Questo avviene sulla scia di una tradizione ancestrale in cui l'architettura “di carta” e l'architettura costruita si sono intrecciate influenzandosi a vicenda, alterando e innovando la disciplina, basti pensare a Philibert Delorme e i suoi disegni estremi, all'archeologia visionaria di Piranesi e all'architettura rivoluzionaria di Étienne-Louis Boullée. Un esempio contemporaneo che consente di comprendere al meglio la questione del pensiero associativo è quello di Alessandro Melis e del suo studio Heliopolis21. Architetto curatore del Padiglione Italia per la Biennale di Venezia del 2021, Melis è solito produrre illustrazioni estreme, molto simili a quelle ottenibili dall'intelligenza artificiale, e che sono usate da lui per fissare inconsapevolmente delle idee a cui ispirarsi in un secondo momento nella progettazione. –Questi ultimi concetti sono emersi anche in una intervista ad Alessandro Melis a cui lo scrivente ha preso parte e in cui si parla di temi come la realtà virtuale e le nuove tecnologie⁸⁴.

⁸³ «[...] il pensiero associativo è un efficacissimo e semplice strumento per interpretare la complessità della realtà che ci circonda senza passare attraverso le semplificazioni binarie. Nato tra i 200.000 e i 90.000 anni, questa modalità di pensiero che si attiva nei casi di emergenza come le crisi ambientali, si deve proprio dall'aumento del disordine delle strutture del nostro cervello, grazie alla proliferazione delle interconnessioni tra le parti e alle molteplici cooptazioni funzionali delle sue componenti. La creatività è la principale manifestazione di questa trasformazione strutturale del nostro cervello. Attraverso una profonda immersione nella dimensione articolata e disomogenea del mondo, l'arte consente quindi una lettura sintetica della complessità, senza indugiare nella semplificazione, e di superare i pregiudizi delle mappe mentali attraverso la disarticolazione delle tassonomie più conservative e reazionarie». <https://and-architettura.it/index.php/and/article/view/311>.

⁸⁴ Fallacara, G., Cavaliere, I., Costantino, D., *Un'architettura tra utopia e innovazione*, in Perbellini, M., Pongratz, C., *Heliopolis 21: architettura tra natura e artificio*, Milano, Skira, 2021, pp. 43-49.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 4. L'intelligenza artificiale

4.3. L'uso dell'IA generativa in architettura

Come si è visto nei capitoli precedenti, la lunga storia della realtà virtuale e della realtà aumentata ha fatto sì che il settore dell'architettura avesse modo di assimilarne – seppur parzialmente – temi, linguaggi e modalità, non solo aprendosi a disparate sperimentazioni pratiche, ma consentendo anche l'elaborazione di una filosofia architettonico-digitale in cui rientrassero tematiche come quella della rappresentazione grafica o quella del ruolo del progettista all'interno di un processo sempre più tecnologico. Per quanto concerne l'intelligenza artificiale, invece, ci si trova ancora in uno stadio primitivo, in cui è frequente individuare sostanzialmente due filoni: da una parte ci sono sperimentazioni architettoniche di carattere spiccatamente commerciale – in cui l'architettura non è il fulcro, ma è considerata una sorta di pretesto per mostrare le crescenti capacità dell'IA –; dall'altra parte ci sono ricerche di carattere prevalentemente compilativo, in cui a uno studio sul funzionamento di strumenti come Midjourney non segue un apporto critico.

Per quanto riguarda il filone commerciale, si pensi all'IA Vitruvius⁸⁵, presentata come uno strumento attualmente in grado di fornire piante e rendering di architetture non ancora esistenti e concepita per arrivare, in futuro, a creare modelli 3D, a elaborare prezzi credibili per i progetti che propone e perfino a fornire documentazione per l'eventuale costruzione. Questa intelligenza artificiale, per quanto promettente e interessante, si inserisce in un insieme di IA generative sempre più ricco⁸⁶ ma sterile dal punto di vista del contributo che può fornire alla crescita della teoria dell'architettura e che presenta sia il forte limite di attingere da un database “già fatto”, senza spingersi in operazioni di *problem solving*,

⁸⁵ Nel mese di marzo 2024, in concomitanza con la cerimonia di annuncio dei vincitori del concorso di progettazione Initiative 99, l'azienda texana di stampa 3D ICON ha organizzato un evento di portata internazionale durante il quale ha presentato l'IA Vitruvius. <https://iconbuild.com/vitruvius>.

⁸⁶ Midjourney, Dall-E, Adobe Firefly, Maket, ARCHITEChTURES, Kaedim, Luma AI, Veras, Autodesk Forma sono solo alcuni dei software di intelligenza artificiale che oggi possono essere usati all'interno di diversi campi dell'architettura (visualizzazione, progettazione residenziale, modellazione 3D, rilievo, rendering, progettazione urbana sostenibile).

sia quello di essere vincolato al perseguimento di obiettivi definiti e circoscritti. Ciò significa che queste intelligenze artificiali funzionano bene fintanto che sono applicate per risolvere un numero mutevole di problemi *semplici*, caratterizzati da un range di variabili prestabilito e da un approccio funzionalistico – si parla, quindi, di una progettazione di natura estremamente tecnica, basata sull’applicazione pedissequa di una serie di regole e principi di riferimento –, ma perdono efficacia quando devono confrontarsi con la complessità della progettazione architettonica “creativa”.

«Un primo motivo di complessità è che non sembra esservi una sola modalità di progettare in modo creativo, ma più modalità: agli estremi, una logico-deduttiva e una basata sull’impiego critico di modelli e prototipi. Un secondo motivo di complessità consiste nel fatto che la progettazione creativa è una operazione iterativa che nel corso del suo processo generalmente porta a ridefinizioni degli obiettivi iniziali e del percorso che si ritiene auspicabile seguire per raggiungerli»⁸⁷.

Per quanto riguarda il secondo filone, invece, è osservabile che anche quando si tenta di inserire l’IA generativa all’interno di ragionamenti architettonici, sembra comunque mancare la componente critica e spesso si tende a concentrare l’attenzione sulle potenzialità della tecnologia – spesso in termini di resa grafica –, sul modo in cui interpreta i comandi che le vengono impartiti, sull’attendibilità degli output che fornisce⁸⁸ oppure ci si limita a creare uno stato dell’arte, raccogliendo informazioni sui possibili utilizzi che si fanno e che si sono fatti dell’intelligenza artificiale nel corso degli anni in differenti settori. Pubblicazioni scientifiche come *Artificial Intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture* ne sono un chiaro esempio: i diversi ricercatori spagnoli che hanno preso parte a questo studio hanno raccolto e organizzato il rapporto tra architettura e IA prendendo in

⁸⁷ Brunetti, G. L., *L’intelligenza artificiale nella progettazione*, in Zevi, B. (a cura di), *L’Architettura – Cronache e storia*, Roma, Mancosu, 2024, pp. 48-49.

⁸⁸ Jo, H., Lee, J., Lee, Y., Choo, S., *Generative artificial intelligence and building design: early photorealistic render visualization of façades using local identity-trained models*, in *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 11, issue 2, 2024, pp. 85-105.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte seconda

Cap. 4. L'intelligenza artificiale

considerazione metodi di applicazione, studi pregressi e caratteristiche o componenti architettonici per cui l'intelligenza artificiale è stata impiegata (forma globale, facciate, solai, ecc.)⁸⁹. L'approccio è, quindi, soprattutto di carattere compilativo: manca un'analisi puntuale di natura critica che consenta di ampliare a tutti gli effetti gli orizzonti dell'architettura, definendo nuovi metodi di lettura della disciplina e stratificando il panorama conoscitivo. Quindi si rientra a pieno titolo nella cornice delineata da Pablo Lorenzo-Eiroa – docente di architettura e design presso il New York Institute of Technology – nel suo libro *Digital Signifiers In An Architecture Information*: «While architecture was influenced by advancement in computation, computational theory was not much advanced by architecture [...]»⁹⁰.

Seppur in misura minore, è possibile individuare anche una corrente di pensiero che si contrappone ai due casi precedentemente elencati. In un contributo scritto a commento del libro di Neil Leach, *Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architects*⁹¹, l'architetta Marina Rigillo mette in risalto il cambiamento di paradigma progettuale che, inconsapevolmente, sta avvenendo per via dell'utilizzo dell'IA ed evidenzia come l'architetto stia gradualmente cambiando il suo ruolo per come è inteso tradizionalmente, diventando sia il responsabile del processo informativo – cioè colui che fornisce le informazioni all'intelligenza artificiale – sia l'artefice di un nuovo metodo creativo in cui i molteplici *output* prodotti sono considerati non solo per la loro qualità estetica, ma alla luce della connessione che

⁸⁹ Castro, L., Carballal, A., Rodriguez-Fernandez, N., Santos, I., Romero, J., *Artificial Intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture*, in *Automation in Construction*, vol. 124, 2021.

⁹⁰ «Mentre l'architettura è stata influenzata dallo sviluppo computazionale, la teoria computazionale non è stata fatta avanzare particolarmente dall'architettura». Lorenzo-Eiroa P., *Digital Signifiers in an Architecture of Information. From Big Data and Simulation to Artificial Intelligence*, Routledge, 2023.

⁹¹ Leach, N., *Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architects*, Londra, Bloomsbury Visual Arts, 2022.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

instaurano con la visione e con la sensibilità dell'architetto⁹².

Si crea «una modifica importante nel ruolo tradizionalmente attribuito all'architetto, che diventa responsabile del progetto informativo sotteso all'intervento, artefice di un processo cognitivo creativo finalizzato a generare soluzioni molteplici, tutte rispondenti ai criteri introdotti, ma ognuna diversamente in sintonia con la sensibilità e l'immaginario artistico del progettista. L'impatto delle AI sul progetto dell'edificio e della città definisce quindi, soprattutto, il passaggio da un'idea di architettura declinata al singolare, ad una produzione di opzioni definitivamente plurali».

Come conseguenza di questa teoria si ottiene la creazione del movimento che Neil Leach definisce *Architectural Intelligence*⁹³, in cui l'intelligenza artificiale e quella naturale e, quindi, esperienza virtuale e reale, si sono saldate, rendendo gli uomini «*natural born cyborgs*».

«E siamo naturalmente cyborg poiché dotati di cervelli plastici, geneticamente adattivi e in grado di metabolizzare l'innovazione tecnologica come parte integrante del nostro sviluppo cognitivo».

⁹² Rigillo, M., *Neil Leach. Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architects*, in *TECHNE*, vol. 25, pp. 272-273, 2023.

⁹³ Leach, N., *Op. Cit.*

Fig. 45. L'architetto Neil Leach durante una conferenza sull'IA presso la University of Florida College of Design, Construction and Planning nell'ottobre del 2024.



PARTE TERZA

Capitolo 5

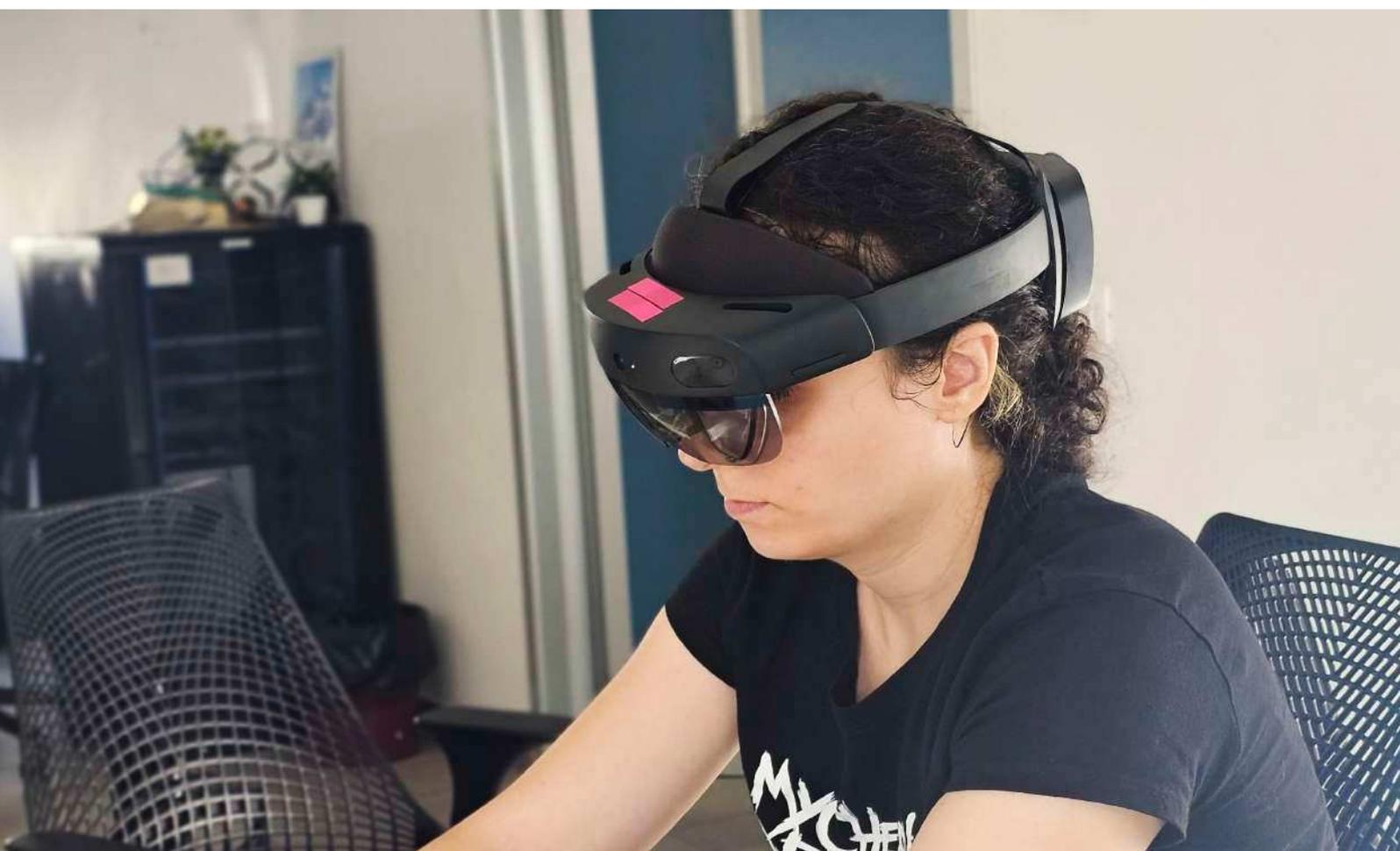
L'esperienza diretta

5.1 Premessa

Come anticipato nell'introduzione, questa sezione della tesi è quella incentrata sulla practice based research e, dunque, contiene una serie di esperienze focalizzate sull'utilizzo di nuove tecnologie in ambito architettonico, organizzate e sistematizzate in modo da ottenere una raccolta organica. L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di facilitare un confronto sia teorico con il lavoro svolto dagli altri ricercatori – ossia quello riportato precedentemente nello stato dell'arte – sia pratico, in modo da elaborare un ragionamento coerente, analizzare l'eventuale integrazione di determinate tecnologie all'interno dei processi progettuali e costruttivi, valutare pro e contro di ogni metodo e sviluppare una consapevolezza critica che consenta di distinguere quali innovazioni siano davvero significative e quali, invece, siano solo tendenze passeggere.

Questo processo è strettamente legato alla necessità di effettuare un'operazione di astrazione che permetta di fare delle considerazioni di ampio respiro, andando oltre le contingenze temporali e tecnologiche attuali e mirando a stabilire principi e intuizioni che possano essere applicati in una varietà di contesti futuri.

Fig. 46. Prova di utilizzo di HoloLens presso il Politecnico di Bari.



5.2. Il cielo mancante: una cupola per i SS. Medici di Alberobello. La VR per la valorizzazione del patrimonio⁹⁴

Il culto dei Santi Medici ad Alberobello risale al XVII secolo. Quella che inizialmente è solo una cappella si espande nel corso del tempo fino al 1881, quando il Consiglio Comunale affida all'architetto Antonio Curri l'incarico di progettare l'ultimo ampliamento, che conferisce all'edificio sacro l'aspetto che ancora oggi è possibile ammirare nella sua incompiutezza: nonostante, infatti, nei disegni originali sia prevista una grande cupola alta ventitré metri, questa non viene mai realizzata per via di una serie di problemi statici sopraggiunti negli anni, lasciando, quindi, l'incrocio fra la navata e il transetto privo del suo "cielo", sostituito internamente da un solaio piano che, paradossalmente, amplifica il senso di "non finito" che caratterizza la chiesa. L'edificio, inoltre, appare incompleto anche dall'esterno, in quanto tra i due campanili è evidente l'assenza del tamburo.

La basilica è già stata in passato oggetto di studi approfonditi, durante i quali è emersa la possibilità di integrare effettivamente la sua attuale configurazione con il progetto di un apparato tamburo-cupola che le restituisca organicità e completezza. È già stata elaborata un'ipotesi di intervento attraverso una collaborazione tra l'Amministrazione Comunale di Alberobello, il New Fundamentals Research Group⁹⁵, la Scuola di Specializzazione in Beni architettonici e del Paesaggio

⁹⁴ Questa esperienza è stata descritta all'interno del volume *La Basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della cupola*, a cura di Giuseppe Fallacara ed edito da Gangemi Editore. È stata, inoltre, presentata alla conferenza internazionale XR Salento, svoltasi a Lecce dal 4 al 7 settembre 2024.

⁹⁵ Associazione scientifica di ricerca progettuale diretta dal prof. arch. Giuseppe Fallacara e facente capo al Dipartimento di Architettura, Costruzione e Design del Politecnico di Bari.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

del Politecnico di Bari⁹⁶ e il corso di perfezionamento CESAR del Politecnico di Bari, che prevede una ricostruzione della volta a partire dai disegni originali del Curri, integrando tecniche e materiali tradizionali con tecniche e materiali moderni. L'intradosso cassettonato, infatti, è stato pensato per essere realizzato in carpenteria lignea, mentre il tamburo esterno è stato concepito per essere realizzato usando una malta geopolimerica^{97, 98}.

Alla luce di questo studio esistente, si è ipotizzato di effettuare un ulteriore avanzamento scientifico, sfruttando la realtà virtuale per elaborare un gemello digitale della chiesa completa e interamente esplorabile.

L'operazione in questione risulta particolarmente importante per due ragioni: da una parte bisogna considerare il valore scientifico di questo lavoro, che implica la convergenza di molteplici competenze e ambiti disciplinari (architettura, storia, visualizzazione architettonica, programmazione) e che necessita di definire un *modus operandi*

⁹⁶ Tale proposta è stata al centro di studi teorici e test pratici: da una parte, infatti, è stata oggetto di studio all'interno della tesi dell'architetta Micaela Pignatelli intitolata *Il cielo mancante. Sull'ipotesi costruttiva differita della Cupola della Basilica dei SS. Medici di Alberobello*, nell'ambito della Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio del Politecnico di Bari; dall'altro è stata integrata nell'ambito del Corso di Perfezionamento CESAR del Politecnico di Bari, durante il quale è stata realizzata un'accurata proposta costruttiva basata su una struttura portante leggera in carpenteria lignea.

⁹⁷ I geopolimeri sono composti a base di alluminosilicati ottenuti attraverso la reazione chimica tra una polvere attiva e un liquido salino. Le malte geopolimeriche presentano ottime caratteristiche meccaniche – che possono essere anche superiori a quelle del calcestruzzo tradizionale –, un'elevata resistenza al fuoco e alle aggressioni chimiche e si possono ottenere a partire da scarti industriali come ceneri volanti o loppe d'altoforno. Il geopolimero scelto in questo caso è anche visivamente simile alla pietra calcarenitica impiegata per i prospetti della chiesa.

Cfr. Alessandrini, F., De Biaggio, N., Pedrocchi, L., Reggiani, A., «*Geopolimeri a media ed alta resistenza: il futuro sicuro e durevole delle costruzioni*», *Ingenio*, 1 luglio 2020, <https://www.ingenio-web.it/articoli/geopolimeri-a-media-ed-alta-resistenza-il-futuro-sicuro-e-durevole-delle-costruzioni/>.

⁹⁸ Fallacara, G., Pignatelli, M., *Il cielo mancante – Ipotesi di completamento della cupola*, in Fallacara, G. (a cura di), *La basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della cupola*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 53-69.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione

sperimentale, privo, cioè, di linee guida definite o codici da seguire; dall'altra esiste il coinvolgimento della comunità alberobellese – per la quale la basilica rappresenta un monumento particolarmente caro –, che può avere finalmente la possibilità di visualizzare l'ambiente sacro completo della cupola, similmente a come doveva essere stato concepito in origine.

Fig. 47. Confronto tra lo stato attuale della basilica di Alberobello e una simulazione, a cura del prof. Fallacara, raffigurante la chiesa completa di cupola.



Dario Costantino

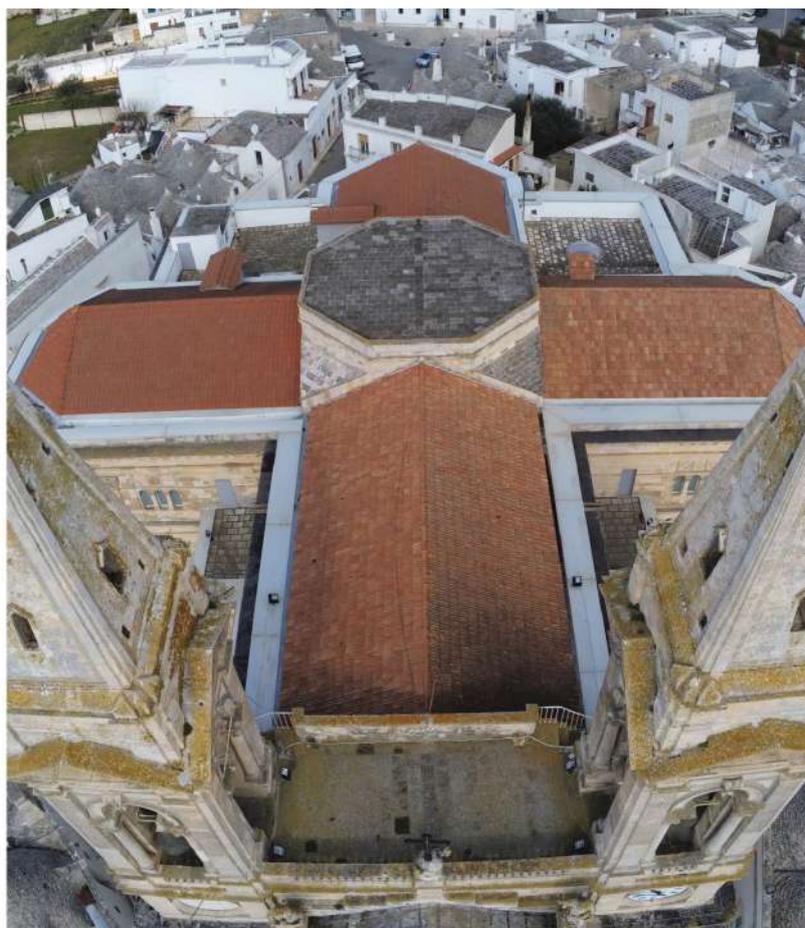
Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Fig. 48 (in alto). Vista dell'esterno della basilica di Alberobello allo stato attuale.

Figg. 49-50 (in basso). Il solaio piano che tampona l'assenza della cupola visto dall'interno e dall'esterno.



5.2.1. *Le tecnologie immersive*

Con l'avvento della rivoluzione digitale si è verificato un cambiamento radicale nella vita degli uomini, che hanno modificato totalmente il modo in cui guardano la realtà circostante e interagiscono con essa. L'avvento di strumenti come realtà aumentata e la realtà virtuale – a cui ci si riferisce in modo più generale con il termine *extended reality* o *realtà estesa* o *XR* – ha portato con sé una vasta gamma di possibilità in molteplici campi, tra cui quello dell'architettura, del restauro e della tutela di beni storici, al punto che non di rado si possono incontrare termini di nuova coniazione come *architettura virtuale* o *virtual heritage*.

Le ricostruzioni digitali abbinate alla realtà estesa, nelle sue varie declinazioni, permettono di pre-visualizzare, in modo più o meno immersivo e interattivo, uno spazio progettato, di visualizzare ricostruzioni storiche, di interagire con oggetti e manufatti senza entrare fisicamente in contatto con essi – quindi senza il rischio di danneggiarli – e di fruirne da punti di vista e prospettive altrimenti impossibili; tutto ciò a vantaggio del campo della progettazione vera e propria, dell'indagine scientifica, della valorizzazione del patrimonio e della divulgazione.

Nel caso specifico dell'esperienza descritta in questa sezione si è scelto di utilizzare la basilica dei Ss. Medici di Alberobello come riferimento per l'elaborazione un *eseguibile* – ovvero di un'applicazione – che permetta di fruire dell'architettura in questione in modo totalmente nuovo: attraverso la realtà virtuale è possibile entrare virtualmente nella chiesa e osservarne l'aspetto una volta implementata con la cupola attualmente mancante.

Poiché il problema dell'incompletezza è particolarmente sentito dalla comunità di Alberobello, l'obiettivo prefissato è stato quello di fare riferimento ai cosiddetti *serious game* per fornire a fruitori, fedeli e turisti un modo alternativo per poter percepire lo spazio sacro nella sua completezza, dando loro, dunque, anche uno strumento e riferimento per coinvolgerli e favorire lo sviluppo di un dibattito pubblico più consapevole sul tema degli interventi sul patrimonio storico e architettonico.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.2.2. Metodologia

Il lavoro ha avuto inizio con un sopralluogo nella chiesa dei Ss. Medici, durante il quale si è effettuato un rilievo dell'edificio attraverso l'uso di una stereocamera calibrata laser, grazie al supporto del geologo Gianluca Fallacara. È importante sottolineare, a tal proposito, che si sia trattato, probabilmente, di una delle prime applicazioni di questo strumento per il rilievo di un intero edificio di queste dimensioni e che il risultato, nonostante all'apparenza risulti confusionario, sia da considerarsi eccezionale, dato che si è ottenuto un livello di precisione addirittura inferiore al centimetro nonostante le complesse geometrie del manufatto e i problemi legati a una illuminazione sfavorevole – la distribuzione disomogenea dei faretto con compensava la mancanza di una adeguata luce naturale.

Una volta effettuata questa operazione si è passati a una fase di rielaborazione del materiale tramite gli opportuni software (Agisoft Metashape e Agisoft Photoscan). Il modello 3D ricavato dal rilievo fotogrammetrico, infatti, si è dimostrato ottimo per una valutazione dimensionale della chiesa, ma non si è rivelato consono allo sviluppo diretto di un eseguibile VR: le sue geometrie, oltre a presentare un livello di dettaglio e un peso in termini prestazionali troppo elevati, presentavano superfici caratterizzate da quello che in gergo viene chiamato *noise*, ossia rumore – una sorta di disturbo della mesh⁹⁹ –; inoltre le parti corrispondenti alla zona inferiore della chiesa, ossia quelle più in ombra oppure nascoste da arredi e sedute, risultavano estremamente approssimative.

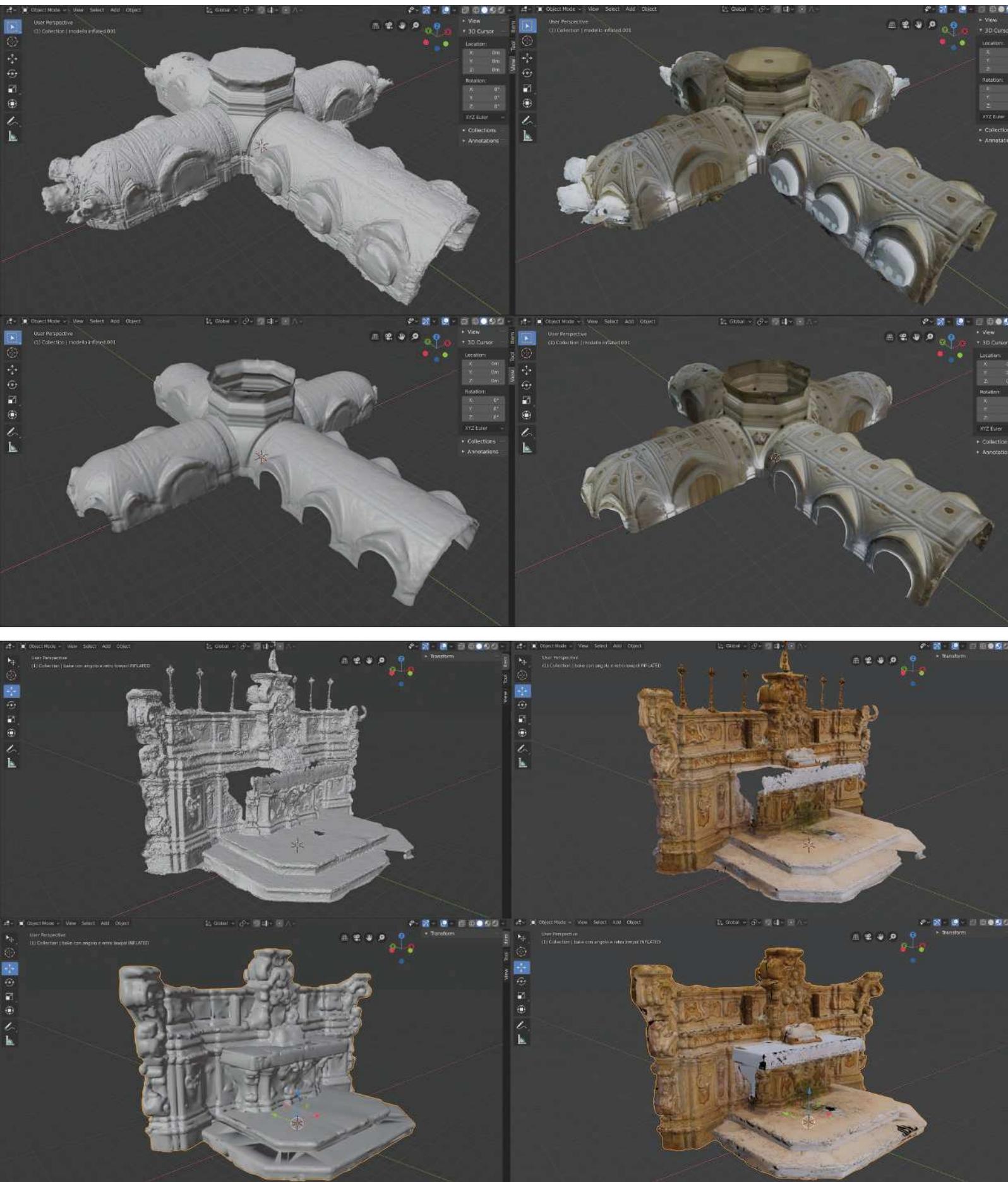
Figg. 51-52 (alla pagina seguente). Le fasi di ottimizzazione dei rilievi 3D attraverso il software Blender.

⁹⁹ Una mesh poligonale è un reticolo – letteralmente una maglia – che definisce un oggetto tridimensionale composto da vertici, spigoli e facce. Nel caso della fotogrammetria, la maglia approssima la geometria dell'oggetto reale e quanto più essa risulta fitta, tanto più preciso risulterà il gemello virtuale. Tuttavia a una maggiore precisione si accompagna un peso maggiore del modello digitale.

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Per questo motivo si è deciso, innanzitutto, di servirsi del rilievo 3D per effettuare una ricostruzione delle pareti dell'edificio attraverso il programma di modellazione tridimensionale Rhinoceros; successivamente si è operata un'ottimizzazione del modello digitale della volta: attraverso il software Blender si è eliminato il rumore superficiale a cui si è fatto cenno precedentemente, si è ridotto il numero di poligoni, si è ricostruita la topologia¹⁰⁰ in modo che risultasse più regolare e, infine, si è "rimappato"¹⁰¹ tutto in modo che le texture si potessero adattare perfettamente ai nuovi modelli di riferimento. Un procedimento analogo si è seguito per altri elementi, come gli altari laterali, che sono stati anch'essi rilevati tramite fotogrammetria e, successivamente, ottimizzati in Blender. Per quanto riguarda la nuova cupola, invece, si è operata un'ottimizzazione del modello esecutivo elaborato da parte degli studenti del Corso di Perfezionamento CESAR del Politecnico di Bari, in quanto anch'esso troppo complesso e ricco

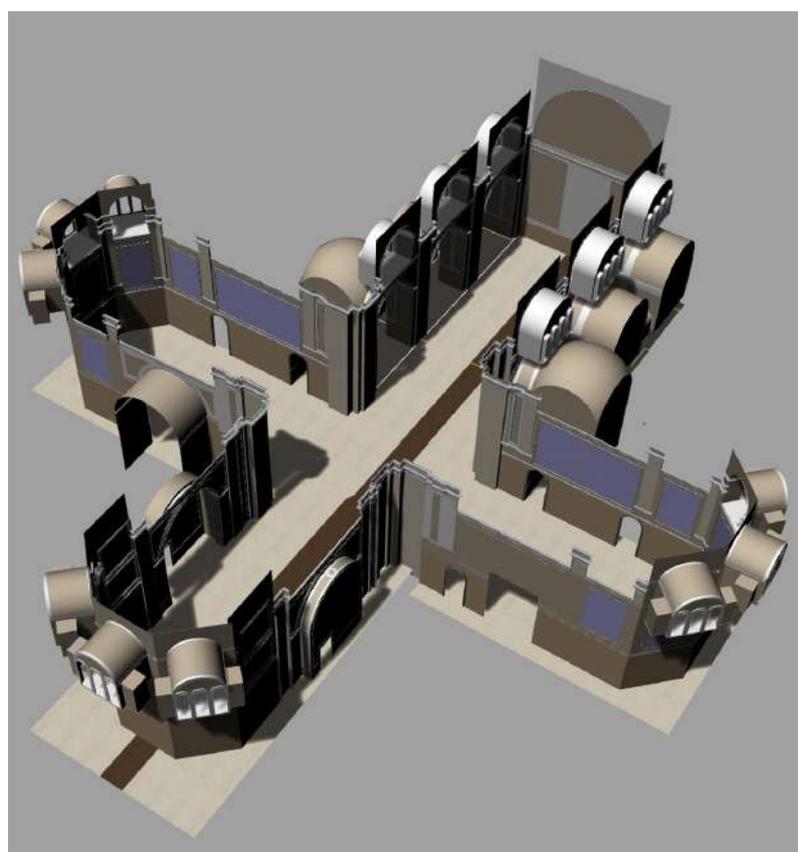
Figg. 53-54. Il modello 3D della basilica ottenuto utilizzando il software Rhinoceros.

Figg. 55-56 (alla pagina seguente). Il modello 3D della cupola.

Figg. 57-62 (alle pagine seguenti). Confronto tra l'eseguibile di realtà virtuale della basilica e lo stato di fatto.

¹⁰⁰ Nel campo della computer grafica questo termine si riferisce generalmente alla distribuzione e all'organizzazione dei poligoni che definiscono la superficie di una mesh 3D. Una topologia ottimale prevede una distribuzione dei poligoni ordinata, che si adatti all'andamento della superficie di riferimento.

¹⁰¹ Per fare in modo che le texture, ovvero le mappe che consentono di riprodurre digitalmente i materiali, si distribuiscano in modo corretto su un oggetto 3D è necessario effettuare un'operazione detta di mappatura.



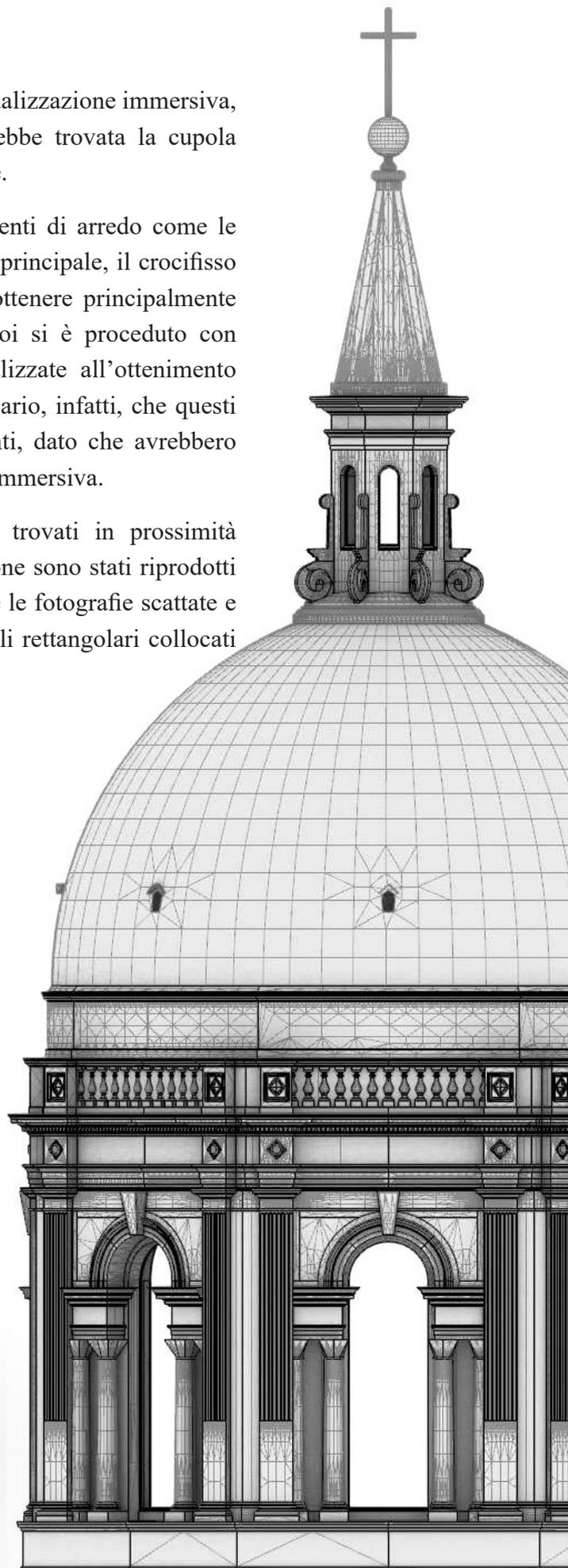
Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

di dettagli – inutili ai fini dell’esperienza di visualizzazione immersiva, data la distanza dall’osservatore a cui si sarebbe trovata la cupola virtuale – e inadatto, dunque, alla realtà virtuale.

Per quanto riguarda, invece, accessori o elementi di arredo come le sedute vicino all’altare, le panche della navata principale, il crocifisso e l’organo, si è sfruttato il rilievo al fine di ottenere principalmente texture e alcuni riferimenti dimensionali e poi si è proceduto con semplici operazioni di modellazione 3D finalizzate all’ottenimento di modelli simili a quelli reali. Non era necessario, infatti, che questi oggetti fossero copie perfette di quelli esistenti, dato che avrebbero fatto sostanzialmente da sfondo all’esperienza immersiva.

Gli affreschi del transetto che si sarebbero trovati in prossimità dell’area di interesse all’interno dell’applicazione sono stati riprodotti correggendo e raddrizzando in post-produzione le fotografie scattate e utilizzandole, poi, come texture per dei pannelli rettangolari collocati nel modello 3D generale.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta



Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Il passo successivo è stato l'importazione di tutti questi elementi in Unreal Engine¹⁰², software con cui è stata impostata l'intera scena virtuale assegnando a ciascun oggetto uno o più materiali, impostando luci naturali e artificiali in modo realistico e modificando alcuni parametri per migliorare l'impatto estetico globale e fornire all'esperienza un'atmosfera suggestiva.

Grazie alla collaborazione con il collega Alessandro Angione, che si è occupato di analizzare e classificare i dissesti dell'edificio, è stato possibile aggiungere un ulteriore livello di interattività all'esperienza immersiva: si sono disposte, infatti, una serie di schede contenenti spiegazioni circa i vari problemi riscontrati e un'ipotesi di risoluzione. Tali schede possono essere visualizzate dal fruitore solo quando quest'ultimo si avvicina al luogo in cui sono posizionate, contrassegnato da una "i" di "informazioni" luminosa¹⁰³.

Fig. 63. Test dell'eseguibile di realtà virtuale implementato con le schede sulla condizione statica dell'edificio elaborate dall'architetto Alessandro Angione.

¹⁰² Unreal Engine è un motore grafico sviluppato da Epic Games che, a partire dal 1998 – con la pubblicazione del videogame *Unreal* – ha subito uno sviluppo tale da passare da puro strumento di programmazione di videogiochi a uno dei più potenti mezzi di gestione di elaborati tridimensionali e simulazioni VR.

¹⁰³ Angione, A., *Realtà virtuale e visualizzazione dei dissesti statici*, in Fallacara, G. (a cura di), *La Basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della Cupola*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 151-169.



Inoltre la collega Ilaria Cavaliere, che ha collaborato con lo scrivente alle varie fasi di realizzazione dell' eseguibile, ha utilizzato gli stessi modelli 3D per realizzare un'app di realtà aumentata per cellulare che consentisse, una volta inquadrato l'edificio con la propria fotocamera, di osservarlo nella sua forma completa sia dall'interno che dall'esterno. Si tratta di un tipo di applicazione meno coinvolgente dal punto di vista emotivo per via del suo livello di immersività inferiore, ma più immediata e semplice da utilizzare, dato che non richiede strumenti costosi e complessi come un visore e un computer ad alte prestazioni^{104,105}.

¹⁰⁴ Cavaliere, I., *Realtà aumentata*, in Fallacara, G. (a cura di), *La Basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della Cupola*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 145-149.

¹⁰⁵ Cavaliere, I., *Augmented reality for the heritage. Basilica SS. Medici in Alberobello, a case study*, in Scalisi, F., Sposito, C., De Giovanni, G. (a cura di), *On Sustainable Built Environment. Between Connections and Greenery*, vol. 07, pp. 214-227, 2022.



Fig. 64. Screenshot estratti dall'applicazione di realtà aumentata sviluppata dall'architetta Ilaria Cavaliere.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Entrambe le applicazioni sono state descritte nel libro *La Basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della cupola* edito da Gangemi e sono state presentate ufficialmente alla comunità di Alberobello durante l'evento *Ricerca progettuale finalizzata alla costruzione della cupola della Basilica dei Santi Medici di Alberobello*, svoltosi nella basilica dei Ss. Medici il 13 gennaio 2024. In questa occasione è stato possibile osservare direttamente le reazioni dei cittadini nel muoversi all'interno della chiesa integrata con la cupola pensata da Antonio Curri e, nonostante l'atteggiamento prudentemente sospettoso esibito da coloro che non avevano mai provato uno strumento di realtà estesa, tutti i partecipanti si sono mostrati incuriositi ed entusiasti.

Figg. 65-66. Foto scattate durante l'evento di presentazione della ricerca progettuale sulla costruzione della cupola il 13 gennaio 2024.



5.2.3. Conclusioni e considerazioni

In conclusione, dopo aver analizzato approfonditamente studi precedenti sulla realtà virtuale e sul patrimonio culturale, si è tentato di proporre una ricostruzione della basilica di Alberobello simile a quella originale, desunta dai disegni dell'architetto Antonio Curri. La differenza fondamentale di questo progetto rispetto ad altri simili è il suo obiettivo: mentre la maggior parte delle applicazioni XR per il patrimonio culturale mirano a fornire agli utenti informazioni oggettive, questa applicazione – come anche l'applicazione di AR – si sforza di offrire una prospettiva diversa. Non si cerca di rappresentare ciò che esisteva nel passato ma piuttosto ciò che potrebbe esistere, poiché la cupola presentata non è una ricostruzione di uno spazio reale, ma un'interpretazione basata sul progetto originale di Curri.

L'obiettivo è duplice: presentare all'utente uno spazio affine al progetto originale, alleviando parzialmente il senso di incompletezza nella visione della basilica, e stimolare il pensiero critico e il dibattito comunitario sulle potenzialità e le implicazioni di un vero progetto architettonico per la chiesa. Questo approccio può incoraggiare l'uso delle tecnologie XR per coinvolgere i cittadini nelle discussioni sui progetti architettonici e urbani che interessano la loro comunità.

L'applicazione VR, però, presenta dei limiti: richiede innanzitutto un computer da utilizzare in combinazione con un visore e dei telecomandi, che a loro volta necessitano di essere calibrati. Inoltre, il tipo di informazioni che l'applicazione veicola è prevalentemente visiva e ciò fa sì che il valore di ciò che comunica sia legato prevalentemente alla capacità del programmatore di riportare efficacemente informazioni tridimensionali e grafiche piuttosto che alla qualità del materiale di riferimento.

L'obiettivo futuro di questa ricerca è quello di rendere l'app disponibile alla comunità in maniera permanente, raccogliere il feedback degli utenti attraverso l'osservazione diretta e anche cercare nuove strategie e tecnologie che aiutino a ottenere rilievi architettonici 3D che abbiano uno scarso bisogno di post-produzione, al fine di garantire una maggiore fedeltà al materiale originale ed evitare l'intervento potenzialmente alterante di un tecnico esterno.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.3. La 17. Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia: la VR per abbattere le barriere¹⁰⁶

Nel mese di maggio del 2021, a seguito del posponimento di un anno dovuto al Covid-19, è stata inaugurata la 17. Mostra Internazionale di Architettura di Venezia, alla quale il professor Giuseppe Fallacara è stato invitato a partecipare dall'architetto Alessandro Melis, curatore del Padiglione Italia. Quest'ultimo, dedicato al tema Comunità Resilienti, ha ospitato all'interno del Giardino delle Vergini l'opera *Porzione di Infinito* – progettata in collaborazione con l'architetto Maurizio Barberio e realizzata con le aziende SNBR & Rocamat, Stilmarmo Srl e Francesco Brunetti – che rappresentava una sorta di riflessione in chiave lapidea sia sul problema del cambiamento climatico sia sulla qualità materico-culturale di quei progetti architettonici che vanno ad articolare lo spazio pubblico¹⁰⁷.

Alla luce, però, di tutti i problemi e le restrizioni legate alla pandemia – che ha alterato radicalmente il modo di vivere degli esseri umani, ridefinendo i temi della socialità e dello spostamento da un luogo all'altro – la riflessione si è estesa, oltrepassando i limiti materici dell'architettura e inglobando la questione della ricerca di metodi di evasione alternativi, tra i quali è spiccata la realtà virtuale. Si pensi, infatti, che nel periodo della pandemia, precisamente nei primi tre mesi del 2021, è stato registrato un aumento delle vendite degli *headset* per la VR del 52,4% rispetto al corrispondente periodo dell'anno precedente – come riporta IDC –, stimando una crescita media annua del 41,4%¹⁰⁸.

¹⁰⁶ Fallacara, G., Cavaliere, I., Costantino, D., *Virtual Reality Application for the 17th International Architecture Exhibition Organized by La Biennale di Venezia*, in Barberio, M., Colella, M., Figliola, A., Battisti, A. (a cura di), *Architecture and Design for Industry 4.0. Theory and Practice*, Cham, Springer Nature Switzerland, pp. 593-608, 2023.

¹⁰⁷ Fallacara, G., *Porzione d'infinito*, in Melis, A. (a cura di), *Catalogo della mostra. Catalogo del Padiglione Italia. Comunità Resilienti alla Biennale Architettura 2021*, vol. 01b Roma, D Editore, 2021, pp. 298-321.

¹⁰⁸ Corsini, P., «In aumento, e non di poco, le vendite di visori per la realtà virtuale», *Hardware Upgrade*, 7 luglio 2021, https://www.hwupgrade.it/news/wearables/in-aumento-e-non-di-poco-le-vendite-di-visori-per-la-realta-virtuale_99016.html

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione

Con questa consapevolezza si è deciso, quindi, di realizzare un eseguibile di realtà virtuale che consentisse la visita dell'allestimento presente nel Giardino delle Vergini a chi fosse impossibilitato a recarvisi fisicamente.



Fig. 67. La locandina della mostra *Comunità Resilienti* allestita presso il Padiglione Italia e curata da Alessandro Melis in occasione della Biennale di Architettura di Venezia del 2021.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.3.1. Il luogo

Il primo passaggio è stato quello della ricostruzione digitale del Giardino delle Vergini, al cui interno sarebbero stati calati i *digital twin* dei padiglioni. Si tratta di un'area verde circondata da edifici storici in mattoni ed è parte dell'Arsenale della Biennale – ovvero un edificio di periodo pre-industriale caratterizzato da una serie di cantieri dove era stata costruita la flotta di Venezia e che dal 1980 ha ospitato le Mostre organizzate dalla Fondazione La Biennale¹⁰⁹. Normalmente l'intervento su un luogo esistente presupporrebbe una serie di sopralluoghi durante i quali, con l'aiuto di fotografie e droni, effettuare dei rilievi che permettano una restituzione tridimensionale dell'area di intervento, in modo da rendere tutte le operazioni successive più coerenti e precise e per garantire ai fruitori una sensazione di immersione totale. Quest'ultimo aspetto è fondamentale: se chi utilizza il visore percepisce di trovarsi in una simulazione e non riesce a “dimenticare” la realtà in cui vive, la VR diventa non solo poco efficace, ma addirittura problematica. La sensazione di “distacco” che si rischia di provare nel momento in cui si fa uso di un'applicazione immersiva fallace, infatti, rischia di accentuare sensazioni di nausea e mal di testa – la cosiddetta *motion sickness*. Tenendo conto, inoltre, del fatto che il proprio corpo non è percepibile all'interno della simulazione, diventa semplice riscontrare problematiche che rafforzino il senso di alienazione. Bisogna compensare il problema che alcune caratteristiche fisiche vengano meno – un esempio banale è l'impossibilità di vedere i propri piedi nella simulazione – con una qualità generale del progetto che sia quanto più alta possibile sia in termini estetici ma soprattutto in termini qualitativi e prestazionali, perché qualunque tipo di errore o rallentamento dell'esperienza virtuale in corso risulterebbe dannoso.

Dato che la pandemia ha reso impossibile visitare personalmente l'area di progetto, il principale alleato nelle operazioni di ricostruzione dei Giardini delle Vergini è stato Google Earth. Il software gratuito messo a disposizione da Google, infatti, ha consentito l'estrazione, tramite Sketchup, di una riproduzione tridimensionale del terreno e dei volumi degli edifici dell'Arsenale, l'ottenimento di un'ortofoto in alta qualità e,

¹⁰⁹ Sito web de La Biennale di Venezia, <https://www.labiennale.org/it/luoghi/arsenale>

tramite lo Street View, di diversi *screenshot*. Questo materiale, insieme ad alcune fotografie del sito inviate da Dario Pedrabissi – coordinatore di sezione del Padiglione Italia –, è stato di fondamentale importanza sia per la modellazione tridimensionale sia per restituire al meglio le caratteristiche di materiali e vegetazione che caratterizzano il luogo.

Una volta raccolti i riferimenti, si è proceduto con la restituzione del luogo in 3D. Per quanto riguarda il terreno, una volta ottenuta la superficie del suolo, si è notata la sostanziale assenza di dislivelli importanti. Per questa ragione, quando ci si è spostati sul modellatore tridimensionale Rhinoceros, si è scelto di lavorare con un semplice piano, in modo da semplificare al massimo la scena in vista della programmazione dell'eseguibile di realtà virtuale. Il suolo è stato, quindi, diviso in diverse porzioni, ognuna mappata separatamente per poter essere successivamente associata a un materiale diverso (erba, cemento e pietrisco). La combinazione tra Google Earth e Sketchup è stata utile anche per ottenere le giuste dimensioni delle strutture che attorniano il giardino e per posizionare correttamente elementi di arredo urbano – per esempio i lampioni – riprodotti in 3D. Particolare cura è stata posta nel lavoro sugli edifici ad archi ogivali, che, essendo molto vicini alle installazioni progettuali, avrebbero necessitato di un giusto compromesso tra ottimizzazione e realismo. Si è scelto di trattarli, quindi, in modo modulare, concentrandosi sulla modellazione di un singolo arco che avrebbe fatto da modulo e che sarebbe stato ripetuto nello spazio. Le misure sono state ottenute dividendo la lunghezza totale di ciascun edificio per il numero di archi contati dalla foto, dato che l'obiettivo era quello di ottenere un modello che fosse visivamente molto simile all'originale ma anche leggero, per non inficiare sulla prestazione dell'applicazione. Anche se la dimensione e la geometria globale del modulo sono sempre le stesse, guardando le foto è possibile distinguere quattro varianti: un modulo semplice, un modulo con finestra ad arco a tutto sesto, un modulo con arco a sesto acuto e finestra e, infine, un modulo con finestra, arco a sesto acuto e porta. Per questioni di ottimizzazione sarebbe stato impossibile lavorare a un modello diverso per ogni variante, pertanto la differenziazione è stata effettuata utilizzando texture personalizzate e aggiunte tridimensionali sono state effettuate solo dove strettamente necessario per questioni di realismo – come nel caso di alcuni davanzali o archi aggettanti in mattoni.

Figg. 68-72 (alle pagine seguenti). Alcuni screenshot dell'eseguibile del Giardino delle Vergini a confronto con la controparte reale e una graficizzazione delle texture generate per l'eseguibile stesso.



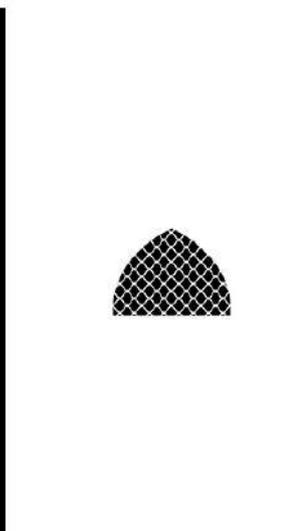
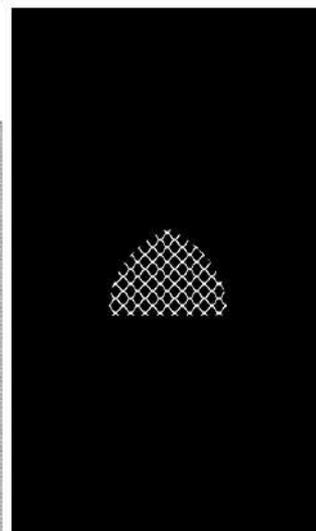
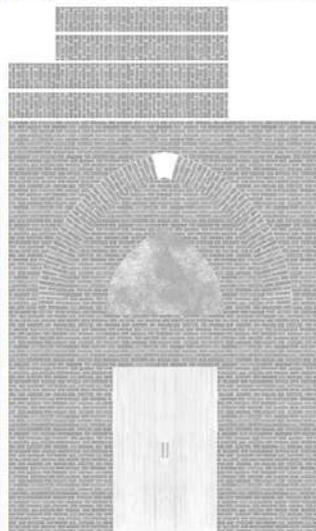
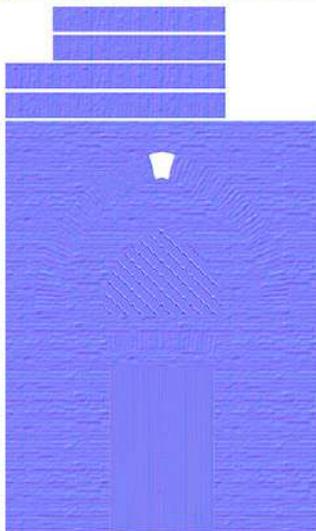
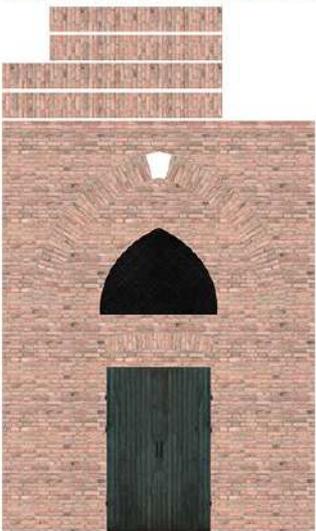
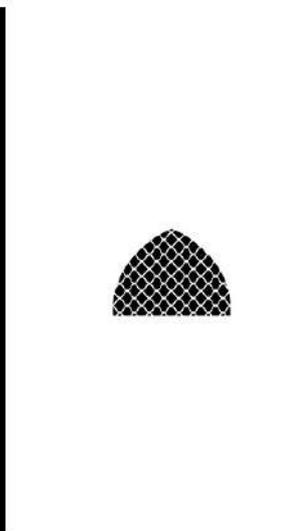
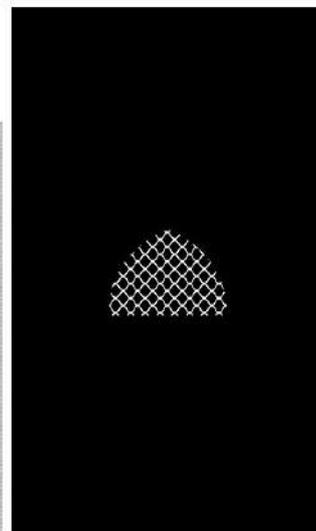
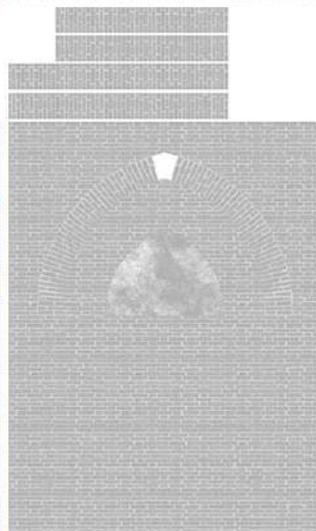
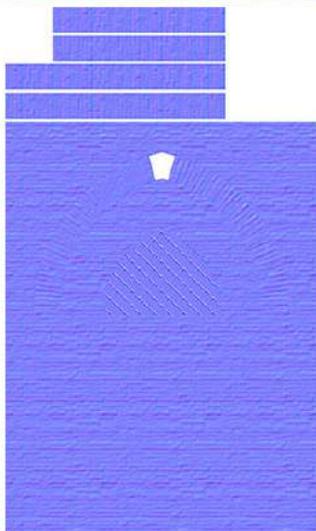
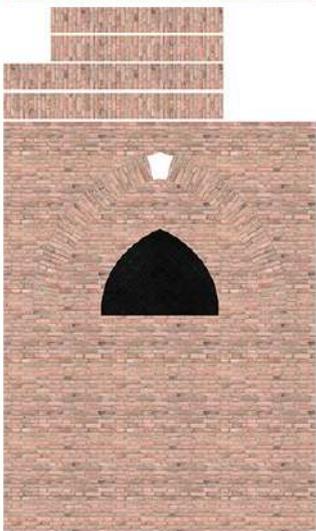
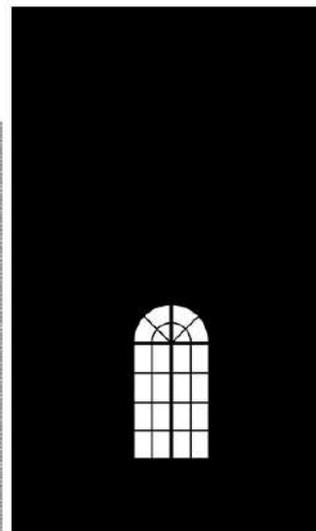
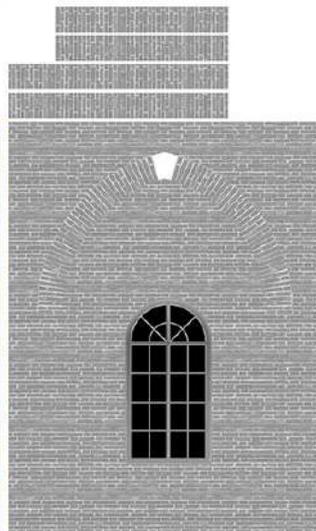
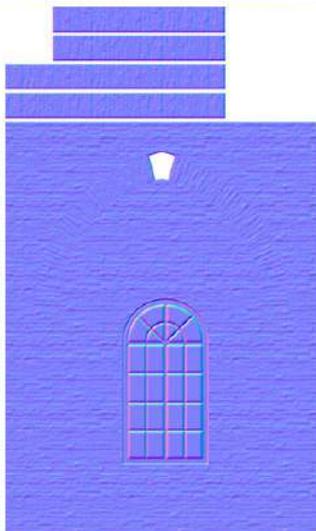
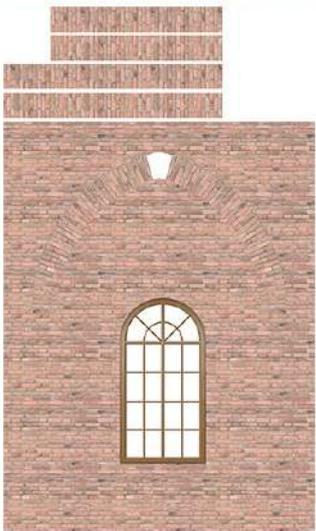
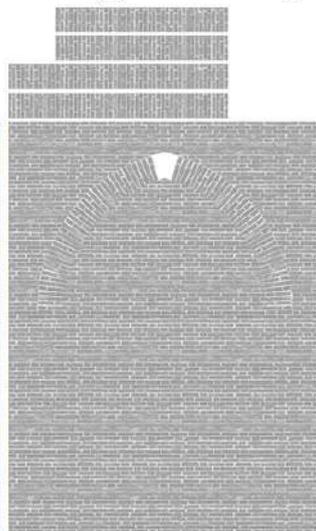
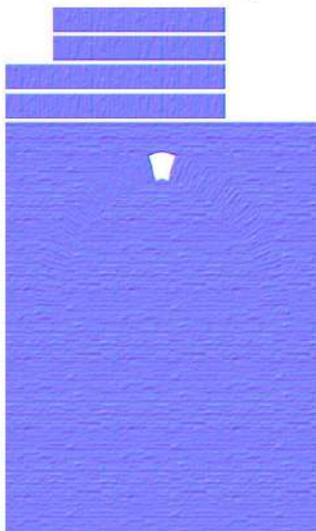
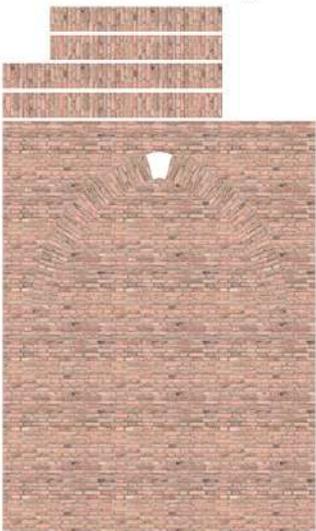
Diffuse map

Normal map

Roughness map

Metalness map

Opacity map



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.3.2. I padiglioni

Completate queste operazioni ci si è spostati su Unreal Engine 4.26, su cui hanno avuto luogo tutte le fasi di *texturing* e *rendering*. Operazioni complesse, in quanto presupponevano l'applicazione di mappe elaborate ad hoc per far sì che la qualità grafica fosse molto alta senza gravare sul peso prestazionale dell'eseguibile.

Costruire un mondo virtuale in cui le texture abbiano tutte una definizione estremamente sarebbe inutile, perché si otterrebbe un file difficilmente gestibile dalla maggior parte dei computer e, di conseguenza, si complicherebbero tutte le operazioni legate allo scambio e alla fruizione del file, che potrebbe anche subire dei rallentamenti notevoli. Bisogna prevenire questa condizione attraverso un'accurata ottimizzazione: poiché, come nella realtà, ciò che si trova a distanza dall'osservatore non può essere percepito con la stessa qualità di ciò che si trova in prossimità dello stesso, si possono sostituire gli oggetti lontani con dei corrispettivi semplificati. Inoltre, bisogna essere cauti nell'utilizzo degli oggetti virtuali, riducendo al minimo gli elementi inutilizzati all'interno del file.

Fig. 73. Il padiglione *Porzione d'Infinito* visualizzato all'interno dell'eseguibile di realtà virtuale.



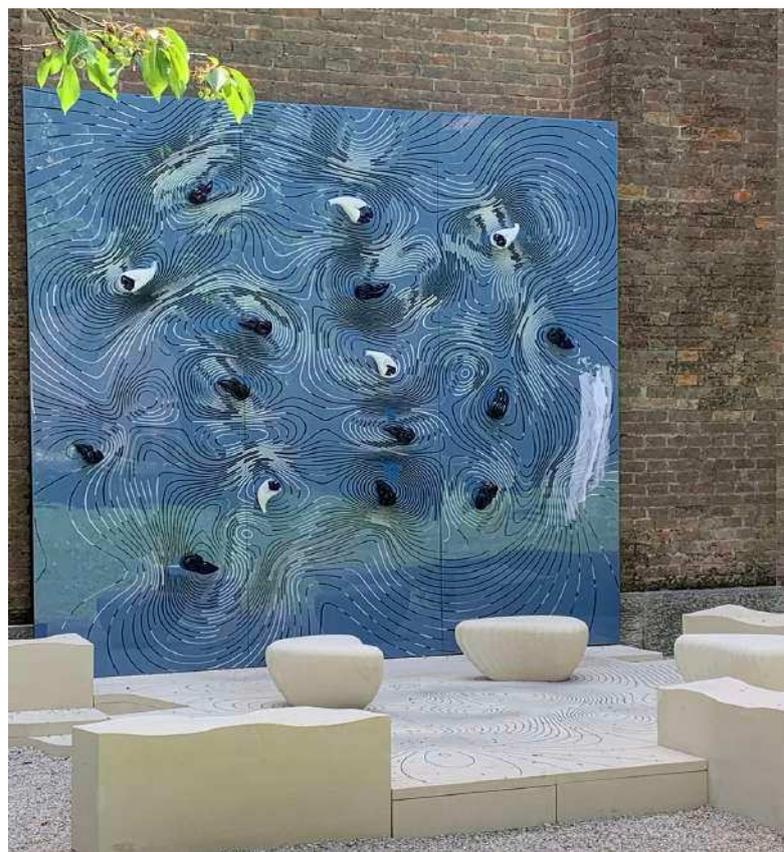
Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

A questo punto ci si è avviati a conclusione inserendo nel file di Unreal Engine tutti i padiglioni che sarebbero stati esposti all'interno del Giardino delle Vergini. Alcuni modelli sono stati forniti dai rispettivi designer e, quindi, ci si è limitati alla loro ottimizzazione, all'inserimento nella scena nella posizione corretta e all'applicazione di materiali; altre installazioni sono state modellate appositamente seguendo alcuni disegni forniti nel corso dell'esperienza. È stato il caso di *Alis* di Zaha Hadid Architects e *Archipensiero* di Gianni Pettena.

La fase di allestimento virtuale ha presupposto anche un dialogo diretto con i progettisti, per concordare con loro la modalità di fruizione virtuale del loro manufatto. In alcuni casi è emersa la volontà di creare un distacco tra l'esperienza virtuale e quella reale, in modo da incuriosire maggiormente i fruitori ed evitare che i tour VR si presentasse come un mero sostituto di una visita in presenza. Lo studio Zaha Hadid Architects, per esempio, ha richiesto che il suo prototipo non fosse riconoscibile, ma se ne percepisse solo il volume e per questo si è applicato al modello un materiale semitrasparente, in modo da renderne visibile solo l'ingombro. Christian Pongratz e Maria Perbellini, invece, hanno voluto che al loro padiglione fosse applicato un semplice materiale bianco invece della pietra blu che sarebbe stata utilizzata nella realtà. Questo per indurre l'osservatore a soffermarsi maggiormente sulla configurazione geometrica del modello.

Figg. 74-75. Confronto tra il modello 3D del padiglione di Pongratz Perbellini Architects visualizzabile all'interno dell'eseguibile di realtà virtuale e il corrispettivo reale.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Conclusasi l'elaborazione dell'ambientazione virtuale, si è eseguita tutta la parte di programmazione, arricchendo l'esperienza con alcune componenti interattive. Si sono inseriti dei pannelli contenenti le descrizioni dei diversi progetti che comparissero nel momento in cui ci si fosse avvicinati. La possibilità di avere informazioni sull'installazione è stata segnalata da delle "i" luminose, posizionate laddove il pannello sarebbe comparso. Nel caso del padiglione di Pettena, consistente in un'anamorfo, si è anche disposto un adesivo luminoso sul pavimento per indicare al fruitore la posizione da cui osservare la corretta simulazione prospettica del modello.

Fig. 76. Il padiglione di Gianni Pettena, intitolato *Archipensiero*, posizionato all'interno dell'eseguibile di realtà virtuale con il riferimento per il posizionamento dell'osservatore per visualizzare correttamente l'anamorfo.

A cavallo tra il 2023 e il 2024 tutto il lavoro descritto è stato aggiornato, sfruttando l'eseguibile per effettuare una nuova simulazione della mostra e inserire il progetto di una cupola elaborato nel corso di una tesi di laurea dal titolo *Stereotomy 4.0*, seguita dal prof. Giuseppe Fallacara. Ciò dimostra la versatilità che la progettazione architettonica virtuale può assumere nel tempo, declinandosi in modi diversi e aggiornandosi di pari passo con tecnologie e progetti.



5.3.3. Conclusioni e considerazioni

L'esperienza della Biennale di Venezia è stata estremamente formativa, non solo da un punto di vista tecnico, per via del *know how* acquisito durante il lavoro sulla restituzione virtuale della mostra, ma anche per le riflessioni che ha permesso di formulare. In particolare si è posto un dilemma di tipo etico sulla questione della valorizzazione dei luoghi tramite i *digital twin*, che potrebbero rivelarsi un'arma a doppio taglio. È innegabile che la possibilità di accedere facilmente a posti lontani nel tempo e nello spazio attraverso l'utilizzo di un visore garantisca ai luoghi stessi maggiore esposizione mediatica – per cui diventa più facile la valorizzazione di architetture e monumenti poco conosciuti – ma, allo stesso tempo, bisogna chiedersi se fornire questa possibilità non aumenti il rischio che la curiosità dell'eventuale visitatore sia soddisfatta interamente in modo digitale, evitando, quindi, che si reputi necessario visitare fisicamente il sito in questione.

La valorizzazione di un'opera si intreccia necessariamente con una serie di meccanismi di tipo economico e turistico, dunque bisogna agire in modo che la gente sia invogliata a visitare realmente, assicurando un flusso tale da supportare manutenzione e promozione continua del patrimonio. Per intrecciare questa condizione con il tema della valorizzazione virtuale si è raggiunta la conclusione che la soluzione fosse da individuarsi in una diversificazione tra l'esperienza simulata e quella concreta, limitando eventualmente alcuni contenuti in modo da alimentare la curiosità. Da qui la scelta di ridurre la porzione di mostra visualizzabile online al solo Giardino delle Vergini – stimolando l'interesse dei potenziali visitatori per il resto dell'allestimento –, di differenziare alcuni modelli virtuali da quelli reali nella scelta dei materiali – vincolando la tangibilità all'esperienza diretta – e di fornire una componente interattiva attraverso dei pannelli esplicativi virtuali – che possano fornire una base di conoscenza da approfondire eventualmente in loco.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.4. L'IA nella Progettazione Architettonica¹¹⁰

La possibilità di strumenti come Midjourney o Stable Diffusion di generare immagini esteticamente impattanti è inutile in ambito scientifico se non accostata a ragionamenti più approfonditi. Nel caso di questa ricerca si è cercato, dunque, di stratificare i risultati generati tramite IA conferendo loro una valenza progettuale e, pertanto, questi non sono mai stati considerati il prodotto finale di un processo esclusivamente estetico, ma un punto di partenza su cui lavorare per lo sviluppo di un metodo di lavoro multidisciplinare che conducesse all'elaborazione di un nuovo iter progettuale. Innanzitutto si è provato a immaginare in che modo l'IA potesse essere effettivamente utilizzata per integrare la progettazione architettonica e ciò ha portato a una riflessione globale sull'uso della tecnologia che si è sviluppata a partire da una schematizzazione – necessariamente sintetica ma funzionale – dell'intero processo:

1. idea – fase iniziale del lavoro, in cui si cerca la soluzione a un problema architettonico attraverso spunti, riferimenti e suggestioni di varia natura;
2. disegno – fase di creazione della bozza, in cui si mette “su carta”, anche sommariamente, quanto raccolto precedentemente;
3. progetto – fase in cui si dà forma all'architettura in modo critico, valutando estetica, funzionalità e rispondenza ai criteri statici;
4. costruzione – fase finale in cui l'architettura passa da progetto virtuale a reale, assumendo consistenza materica.

Dati i vincoli attuali dell'intelligenza artificiale generativa in generale e di Midjourney in particolare, si può introdurre l'uso dell'IA sia a cavallo tra le fasi 1 e 2, per generare suggestioni visive di partenza in modo rapido e dal forte impatto visivo, sia eventualmente nella fase 3 per valutare soluzioni formali ed estetiche alternative a quelle su cui si

¹¹⁰ Quanto riportato in questa sezione è contenuto nel libro a cura dello scrivente intitolato *IArchitettura. Intelligenza Artificiale e Architettura tra dialogo e sperimentazione*. All'interno del volume sono presenti i contributi del prof. Giuseppe Fallacara, del prof. Nicola Parisi e dei colleghi Francesco Ciriello, Ilaria Cavaliere, Angelo Vito Graziano e Alessandro Angione.

è lavorato. Ovviamente si tratta di un'ipotesi estremamente soggetta ad alterazioni: l'IA, infatti, non presenta reali vincoli di utilizzo ed è l'obiettivo progettuale che si vuole raggiungere a modificare il modo in cui la si sfrutta e il momento in cui essa subentra nel processo, passando dall'essere una ispirazione a un mezzo di supporto al progettista, che può adoperarla in associazione ad altri strumenti per raggiungere un *controllo totale* dello spazio.

Ottenere questo risultato è fondamentale perché la possibilità di controllare lo spazio si traduce in una migliore consapevolezza architettonica sia da parte del professionista che da parte dell'utente a cui l'opera è destinata, superando i problemi legati alla *capacità astrattiva soggettiva*. Poiché, infatti, ogni soggetto interpreta le immagini in maniera diversa a seconda delle *skill* che ha acquisito nel corso del tempo – legate sia a questioni culturali che a fattori come età, estrazione sociale, sensibilità, ecc. –, la comprensione di un progetto non è sempre immediata e univoca e, anzi, in alcuni casi può apparire addirittura esclusiva, rendendo l'architettura una disciplina elitaria e, quindi, in totale antitesi rispetto a ciò che essa dovrebbe rappresentare in quanto intrinsecamente allacciata alla comunità – si pensi a disegni tecnici di edifici complessi come la stazione marittima di Salerno di Zaha Hadid Architects.

La sempre maggiore rilevanza data alle esperienze di urbanistica tattica – volte a diffondere la cultura architettonica tra i cittadini, coinvolgendoli in esperienze e riflessioni collettive – è sintomo di una consapevolezza crescente da questo punto di vista.

Nell'ottica, quindi, di elaborare un percorso progettuale innovativo e consapevole in tutte le sue parti è necessario che esso sia comprensivo di tutti i possibili ausili offerti dalla contemporaneità – oltre che dalla tradizione – e, dunque, è possibile ipotizzare di implementare ulteriormente le fasi descritte in precedenza introducendo, accanto all'uso dell'intelligenza artificiale, mezzi – come la VR –, nuove tecniche – come la stampa 3D – e nuovi materiali – come le fibre di vetro e carbonio. Ciò è stato fatto sviluppando un piccolo progetto modulare all'interno di un team di lavoro guidato dal professor Fallacara e composto dallo scrivente e dai colleghi Francesco Ciriello, Ilaria Cavaliere, Angelo Vito Graziano e Alessandro Angione, i quali

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

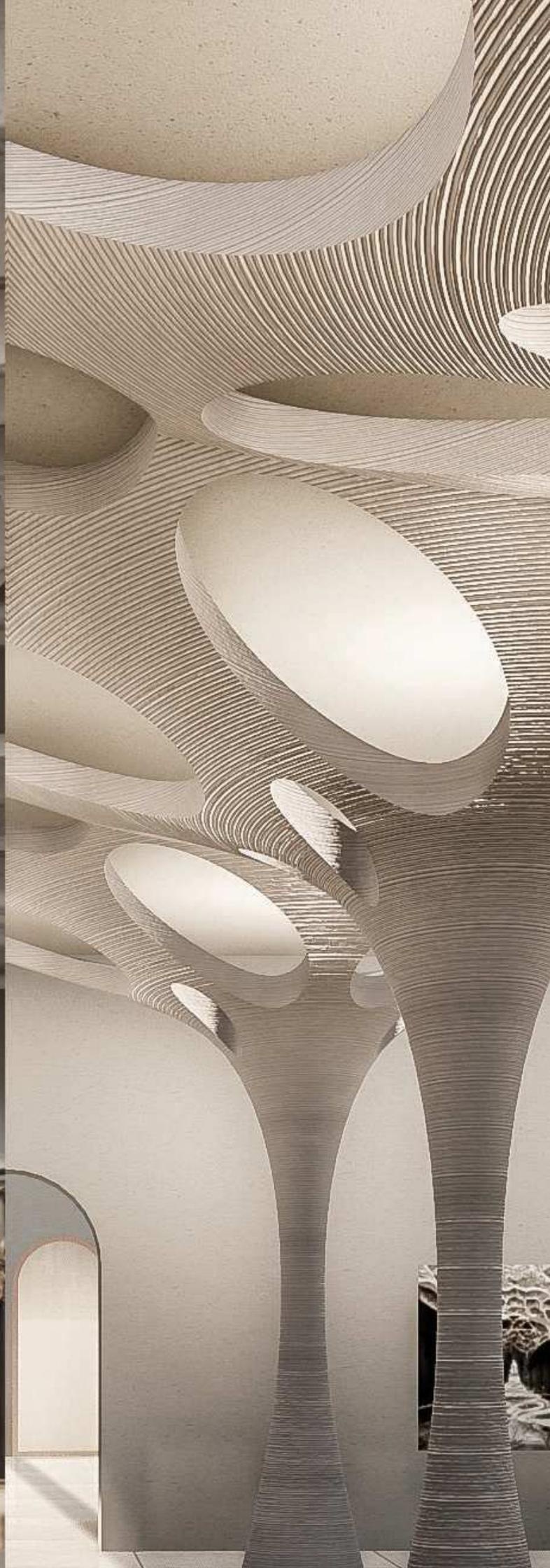
Cap. 5. L'esperienza diretta

hanno congiunto le proprie competenze derivanti dalle rispettive ricerche di dottorato. La sperimentazione è partita da un dialogo scritto con un'intelligenza artificiale con cui sono state generate alcune *visioni*. Nello specifico le si è chiesto di elaborare un interno architettonico caratterizzato dalla presenza di colonne di pietra a forma di albero e una volta scelto il riferimento ritenuto più adatto, sono state interpretate le forme visibili nell'immagine e sono state modellate tridimensionalmente in Rhinoceros, cercando di raggiungere un risultato che non fosse necessariamente identico all'immagine di partenza, ma che ne riportasse le caratteristiche formali principali. Alla base di questa scelta c'è l'idea secondo cui l'IA sia un ausilio, una linea guida che l'architetto deve poter sviluppare autonomamente. Limitarsi a copiare le forme in modo acritico sarebbe inutile, se non controproducente. Il risultato di questa fase di lavoro è stata l'individuazione e l'elaborazione di un modulo "alberiforme" ripetibile nello spazio che ha rappresentato il primo step verso la definizione di una *spazialità oggettiva*. Infatti quando si guarda una immagine generata tramite IA si ha la sensazione di osservare uno spazio, ma di fatto uno spazio non è presente: ciò che si osserva è una sorta di quadro in cui nulla è davvero progettato e che deve essere necessariamente interpretato, proprio come accade, per citare un esempio estremo, con le opere di Maurits Cornelis Escher. Quindi si tratta di uno *spazio soggettivo*, mutabile e privo di caratteristiche tecniche, a differenza di un'opera architettonica che, essendo progettata, è definita in modo rigoroso e univoco, considerando in perfetto equilibrio la triade vitruviana: *firmitas* (solidità), *venustas* (bellezza), *utilitas* (funzione). Questo significa che quando si deve passare dall'output dell'IA a un elaborato tridimensionale si sta definendo l'identità del progetto in modo netto: si forniscono delle dimensioni e si stabiliscono dei rapporti proporzionali che non sono realmente presenti nell'opera di partenza.

Fatto ciò, si è potuto procedere con le lavorazioni successive, ovvero:

1. l'utilizzo della realtà virtuale per verificare e controllare le spazialità;
2. l'uso della stampa 3D per prototipare a diverse scale;
3. l'ideazione di proposte di costruzione innovative, attraverso materiali e tecniche sperimentali.

Fig. 77 (alla pagina seguente). Confronto tra l'immagine generata attraverso l'intelligenza artificiale e l'interpretazione tridimensionale elaborata per la realtà virtuale.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.4.1. La VR per controllare e verificare gli spazi

Gli strumenti di realtà estesa presentano un vantaggio importante rispetto ai metodi di visualizzazione tradizionali e più diffusi, perché consentono di fare esperienze più interattive e coinvolgenti, dando la possibilità di esplorare gli spazi in un modo nuovo – senza essere vincolati a ciò che il progettista vuole mostrare, come può accadere coi rendering –, riducendo la necessità di interpretare disegni, immagini o schemi.

Nel caso specifico dell'ambiente su cui si è lavorato per questo progetto, data la sua configurazione spaziale *sui generis*, si è scelto di usare la VR. Questa, infatti, avrebbe permesso la totale immersione, muovendosi liberamente, alterando le condizioni di illuminazione, cambiando l'ora del giorno, il mese e anche le condizioni meteorologiche in tempo reale, verificando, quindi, istantaneamente come il progetto avrebbe reagito a queste variazioni. Inoltre la realtà virtuale consente di testare rapidamente diverse alternative progettuali – nel caso specifico si sono fatte due ipotesi di solaio, intonacato e vetrato. Al modello tridimensionale è stata assegnata la funzione di un museo: sono stati reiterati nello spazio gli alberi litici e intorno sono state modellate e distribuite pareti, aperture e soffitto per poi trasferire tutto nel software Twinmotion. Qui sono stati importati i materiali per i vari oggetti – scegliendo di far apparire i supporti verticali come se fossero stati stampati in 3D – ed è stata creata un'atmosfera accogliente, inserendo luci calde all'interno delle “chiome”. Lungo il perimetro è stata poi disposta una lunga serie di quadri, tutti ottenuti attraverso dialoghi con l'intelligenza artificiale, e, infine, è stato possibile estrarre l'applicazione di realtà virtuale.

Un aspetto interessante da citare a testimonianza dell'efficacia della VR è che l'ambiente presentava delle sproporzioni dovute alla particolare conformazione delle “colonne” di cui non ci si era resi conto durante il processo di modellazione tridimensionale: non essendo queste radialmente simmetriche, generavano una spazialità complessa, con delle strettoie della cui reale entità ci si è resi conto solo una volta entrati virtualmente nel progetto. A questo punto sono state individuate facilmente le criticità e si è intervenuti immediatamente attraverso le opportune operazioni di ridimensionamento e redistribuzione degli elementi architettonici.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Figg. 78-80. Alcune immagini dell'eseguibile di realtà virtuale ispirato all'immagine di Midjourney.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.4.2. La stampa 3D a piccola scala

Dopo aver modellato, compreso e corretto dove necessario lo spazio, è giunto il momento di procedere con una nuova fase: la prototipazione. Realizzare progetti in piccola scala è di grande aiuto per avere un'ulteriore verifica delle geometrie e a valutare limiti e problematiche legate, in questo caso, alla stampa 3D, soprattutto se si prevede di sviluppare ulteriormente la sperimentazione attraverso un processo di lavorazione additiva a scala maggiore. Per questa ragione è stato stampato un piccolo modello in PLA composto da otto "alberi". Per ottimizzare il processo è stato fabbricato capovolto, in modo da avere una più ampia superficie di aderenza alla lastra e ridurre o eliminare eventuali supporti.

Fig. 81. Il plastico dei moduli alberiformi stampato in 3D in piccola scala.
Foto di Francesco Ciriello.



5.4.3. La stampa 3D di grandi dimensioni

Dopo la fase di prototipazione in piccola scala, sono state formulate due ipotesi distinte per un eventuale processo di stampa 3D in grande scala. La prima ipotesi era incentrata sull'applicazione della tecnologia FDM¹¹¹ usando il PLA, mentre la seconda si basava sulla tecnologia LDM¹¹² usando il cemento. La stampa FDM è più flessibile di quella LDM, poiché consente l'uso di supporti, quindi geometrie complesse sono più facili da stampare; d'altro canto, la stampa FDM richiede più tempo. Inoltre la plastica non è un materiale da costruzione, quindi il suo utilizzo è attualmente collegabile solo alla realizzazione di installazioni temporanee.

Per quanto riguarda l'ipotesi basata sulla fabbricazione additiva FDM, questa scelta comporta che l'"albero" venga suddiviso in pezzi compatibili con una stampante Delta WASP 3 mt – disponibile presso il FabLab Poliba –, ma le dimensioni non sono l'unico problema da considerare: la geometria stessa va studiata con attenzione perché alcuni componenti hanno superfici a doppia curvatura che possono richiedere supporti in fase di fabbricazione; contestualmente è necessario analizzare la struttura per calcolare tensioni e deformazioni e ipotizzare il posizionamento di eventuali rinforzi. In questo caso la parte della "chioma" sarebbe soggetta a sforzi di trazione dovuti alla geometria a sbalzo e, per questo motivo, tale zona subirebbe una forte deformazione lungo l'asse verticale. Queste analisi preliminari hanno consentito di proporre di applicare armature metalliche lungo l'estradosso della struttura. Una volta completati tutti i componenti è possibile assemblarli e ciò può avvenire manualmente o attraverso un sistema robotizzato opportunamente sviluppato. Il montaggio può iniziare dal fusto, che poggia su un plinto di fondazione e nel quale sono già predisposte le armature metalliche per essere successivamente agganciate. Inoltre sarebbero necessarie centine appositamente studiate per l'assemblaggio

¹¹¹ FDM significa "Fused Deposition Modeling" e descrive una tecnologia che sfrutta soprattutto i materiali plastici, che vengono fusi e utilizzati per la stampa.

¹¹² LDM significa "Liquid Deposition Modeling" e implica l'utilizzo di materiali fluidi come argilla o cemento, che vengono depositati a freddo e devono asciugarsi dopo il processo di stampa.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

della “chioma”, in modo da sostenere la struttura a sbalzo. Infine si possono fissare i rinforzi metallici all'estradosso.

La seconda ipotesi si basa sulla tecnologia LDM, che è più adatta al campo delle costruzioni, ma che presenta alcune importanti limitazioni per quanto riguarda la geometria. Questo tipo di stampa 3D, infatti, utilizza materiali fluidi, che non solidificano rapidamente e, quindi, una sporgenza eccessiva può far collassare l'oggetto – con la tecnologia LDM i supporti non possono essere utilizzati poiché non potrebbero essere rimossi una volta completata l'asciugatura. La geometria precedentemente descritta non può essere stampata facilmente senza sostegni e pertanto è stata sviluppata una variante del modulo, consistente in una struttura ad albero in cui i fori sono distribuiti su tutta la superficie composta da rami tubolari. La stampante scelta è stata una Delta WASP 3 mt concrete, pertanto è stato necessario dividere il modello in pezzi compatibili con le dimensioni della macchina. Un blocco del nuovo “albero” è stato stampato in cemento da Angelo Vito Graziano in collaborazione con l'azienda WASP¹¹³.

¹¹³ WASP è una società italiana che progetta, produce e commercializza stampanti 3D Made in Italy in tutto il mondo, <https://www.3dwasp.com/>.

Fig. 82. La stampa 3D in cemento di una variante del modulo alberiforme realizzata presso WASP. Foto di Angelo Vito Graziano.



Fig. 83 (alla pagina seguente). Rendering della variante in cemento del modulo alberiforme.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.4.4. Progettare con le fibre

Il raggiungimento di una valida produzione architettonica non può prescindere da una progettazione consapevole, che tenga conto non solo della forma da realizzare, ma anche dei materiali e delle tecniche costruttive più innovative. In quest'ottica l'IA rappresenta un incentivo alla ricerca di nuove vie progettuali e costruttive originali come quella della tessitura con fibre di vetro e carbonio. È stata quindi studiata un'ulteriore variante del disegno iniziale, in modo da renderlo compatibile con questa tecnica e, nello specifico, si è deciso di dividere ogni elemento verticale in due parti, in modo da semplificare la fase di progettazione e agevolare le future operazioni di lavorazione e assemblaggio: il tronco e la corona. La parte inferiore della struttura è simile a un iperboloide di rivoluzione ed è costituita da due basi circolari collegate dall'intreccio delle fibre. Il modello e la distribuzione delle fibre di vetro e carbonio sono stati controllati attraverso uno specifico algoritmo scritto utilizzando Grasshopper, un plugin di Rhinoceros per la progettazione parametrica. Per la parte superiore si è deciso di dividere l'intera corona in quattro pezzi da intrecciare singolarmente e poi assemblare in sequenza. Una volta ottenuta la forma ad "ombrello", si può lavorare con la tessitura delle fibre di carbonio in modo da richiamare i fori presenti nel modello di ispirazione.

Dal 13 al 17 marzo del 2023, presso il FabLab Poliba di Bitonto si è tenuto il workshop *Nuovi Strumenti e metodi per l'Architettura e il Design*¹¹⁴ –, durante il quale trenta corsisti tra studenti e professionisti provenienti da tutta Italia si sono confrontati con tecnologie come l'IA, la VR, la stampa 3D, la scansione laser e la tessitura con fibre di vetro e carbonio. Durante questa esperienza è stato realizzato insieme ai discenti un padiglione ispirato all'esperienza progettuale precedentemente descritta, costituito da quattro sostegni verticali alberiformi in fibre di vetro e carbonio bagnate in un letto di resina epossidica¹¹⁵.

Fig. 84. Il padiglione realizzato in fibre di vetro e carbonio ispirato all'immagine ottenuta tramite intelligenza artificiale.

Foto di Ilaria Cavaliere.

¹¹⁴ Coordinamento scientifico: Prof. Arch. Giuseppe Fallacara, Prof. Arch. Nicola Parisi. Tutor: Arch. Alessandro Angione, Arch. I. Cavaliere, Arch. Dario Costantino, Arch. F. Ciriello, Arch. Angelo Vito Graziano, Arch. Mariangela Lops, Arch. Federica Fiorio, Arch. Francesco Fieni, Arch. Vincenza Savino.

¹¹⁵ Il prototipo è stato curato dall'arch. Alessandro Angione.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Seppur non perfettamente sovrapponibile all'ipotesi iniziale, questa piccola struttura rappresenta un dimostratore tangibile delle potenzialità dell'uso dell'IA all'interno dell'iter progettuale e dell'importanza di una consapevolezza critica: in questo caso, partendo da uno spunto visivo si sono dovute operare numerose ipotesi e varianti, modificando l'output finale in base a criteri di realizzabilità. Ciò dimostra come l'intelligenza artificiale generativa, se usata in modo appropriato, non rappresenta una sostituzione della mente umana, ma uno strumento per potenziarne i ragionamenti, fornendo spunti per sviluppare idee nuove.

5.4.5. Conclusioni e considerazioni

In conclusione si può asserire che il raggiungimento di un output architettonico valido non può prescindere da una progettazione critica e assolutamente consapevole, che tenga conto non solo della forma che si vuole raggiungere, ma anche dei materiali che si sceglie di utilizzare e delle tecniche costruttive da adoperare, da quelle tradizionali a quelle più innovative e sperimentali. L'uso dell'IA non è, quindi, vincolante ma è, viceversa, un incentivo allo sviluppo originale delle idee attraverso la pluralità di mezzi che l'epoca contemporanea fornisce all'architetto, permettendogli di ampliare notevolmente i propri orizzonti, ma ponendolo al contempo in una condizione di estrema responsabilità progettuale. Citando le parole di Paolo Portoghesi, infatti, «Non bisogna accontentarsi di ciò che abbiamo, meno che mai guardare al passato con nostalgia come se si potesse tornare indietro, indietro non si va, si può andare solo avanti. L'innovazione è un'esigenza fondamentale dello spirito. Oggi l'innovazione ci consente di progettare in tre dimensioni, cioè se noi facciamo un modello tridimensionale delle cose che stiamo progettando possiamo entrarci dentro, vederlo da lontano e da vicino. Oggi si fa un unico modello e lo si guarda dentro e fuori da qualunque distanza. Una conquista di importanza determinante, perché oggi un architetto non ha nessuna scusa se fa un edificio che non ha una sua profonda unità!¹¹⁶»

¹¹⁶ «Cosa è la geoarchitettura? Lo spiega l'Arch. Paolo Portoghesi», *Moondo. Mondo digitale*, 7 dicembre 2018, <https://digitale.moondo.info/cosa-e-la-geoarchitettura-i-principi-fondanti-architetto-paolo-portoghesi/>.

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Figg. 85-87. Alcuni scatti del workshop *Nuovi strumenti e metodi per l'architettura e il design* svolto presso il FabLab Poliba dal 13 al 17 marzo 2023.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.5. L'IA nella didattica della Progettazione Architettonica

Nel corso di questo dottorato di ricerca lo scrivente ha avuto modo di affiancare più volte il professor Giuseppe Fallacara in veste di tutor all'interno dei Laboratori di Progettazione Architettonica del quarto anno presso il Politecnico di Bari. Il 2023 è stato un anno particolarmente interessante perché, alla luce della recente esplosione mediatica delle IA generative e della possibilità di accedere al loro utilizzo sempre più facilmente, si è deciso di sfruttarle proprio nell'ambito della didattica, sviluppando un metodo di insegnamento *sui generis* che avesse come fulcro il confronto tra studenti e intelligenze artificiali all'interno di un iter progettuale simile a quello descritto nel paragrafo precedente. Questa scelta è stata dettata dalla necessità di effettuare un'indagine ulteriore sull'effettiva utilità dell'intelligenza artificiale per la progettazione architettonica, perciò si sono proposte agli studenti delle sfide di difficoltà crescente, durante le quali avrebbero dovuto “dialogare” con l'IA e lavorare con i suoi output in modo critico, studiandoli, sviluppandoli e cercando di comprendere, per esempio, cosa si potesse realmente costruire e cosa no, come far interagire i progetti con il paesaggio circostante scelto per le esercitazioni, quali materiali scegliere e quali tecniche costruttive utilizzare.

5.5.1. L'organizzazione del laboratorio

La classe era formata da venti studenti, i quali hanno lavorato prima in modo autonomo e poi in gruppi a seconda dei compiti assegnati. Il corso è stato diviso in tre diverse sezioni propedeutiche alla quarta e ultima parte, ovvero quella del progetto d'anno: un polo teatrale-culturale per la città di Andria, in Puglia. Per ogni esercitazione è stato scelto un obiettivo da raggiungere calibrato in modo da consentire agli studenti di sviluppare competenze specifiche: la prima esercitazione – individuale – è stata incentrata sull'osservazione e sull'interpretazione personale di un'immagine bidimensionale generata con l'IA dal prof. Fallacara o dai tutor; la seconda – anch'essa individuale – si è focalizzata sul dialogo uomo-; la terza – svoltasi a coppie – ha previsto un lavoro approfondito sulle capacità progettuali. L'insieme di competenze raccolte durante queste fasi avrebbe dovuto permettere ai corsisti di sviluppare, poi, il

progetto finale in modo rapido ed efficace. Per quest'ultimo gli studenti sono stati raggruppati in squadre di quattro persone, in modo che fosse possibile effettuare una progettazione più approfondita e dettagliata dell'edificio polifunzionale su cui avrebbero lavorato.

5.5.2. Fase 1: dall'IA alla stampa 3D

L'elaborazione di immagini architettoniche attraverso l'intelligenza artificiale generativa risulta realmente efficace nel momento in cui si tiene conto di due fattori fondamentali: il primo è la capacità di un progettista di elaborare criticamente i suggerimenti dell'IA per capire cosa può realmente essere utile da un punto di vista architettonico, senza lasciarsi dominare dalle potenzialità della tecnologia; il secondo fattore è il livello di padronanza di competenze tecniche – come la modellazione 3D – che permettono di progettare efficacemente gli spazi “visualizzati” tramite intelligenza artificiale, spesso molto suggestivi ma anche molto complessi.

Data questa premessa, la prima esercitazione del laboratorio è stata impostata per permettere agli studenti di focalizzarsi proprio su questi aspetti e affinare le proprie capacità di interpretazione spaziale e di modellazione. Sono stati realizzati, quindi, alcuni ambienti esterni e interni utilizzando l'IA Midjourney e poi ne sono stati selezionati venti – caratterizzati da un livello di complessità formale apparentemente simile – da assegnare in modo casuale ai corsisti. Dopodiché si è chiesto a ciascuno di loro di provare a elaborare tridimensionalmente ciò che vedeva e, infine, di stampare in 3D il modello ottenuto.

Secondo un detto di Michelangelo Buonarroti citato da Giorgio Vasari (1568) gli architetti devono avere «[...] le seste negli occhi e non in mano, poiché le mani operano e l'occhio giudica»¹¹⁷, cioè devono essere in grado di comprendere forme e proporzioni di uno spazio semplicemente osservandolo. Si è soliti assegnare questo tipo di esercizio utilizzando degli edifici noti; in questo caso, invece, le spazialità architettoniche

¹¹⁷ Vasari, G., *Vita di Michelangelo Buonarroti Fiorentino pittore, scultore ed architetto*, in Vasari, G., *Le opere di Giorgio Vasari pittore e architetto aretino*, vol. 5, Firenze, Presso S. Audin e c., 1832, pp. 53-173.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

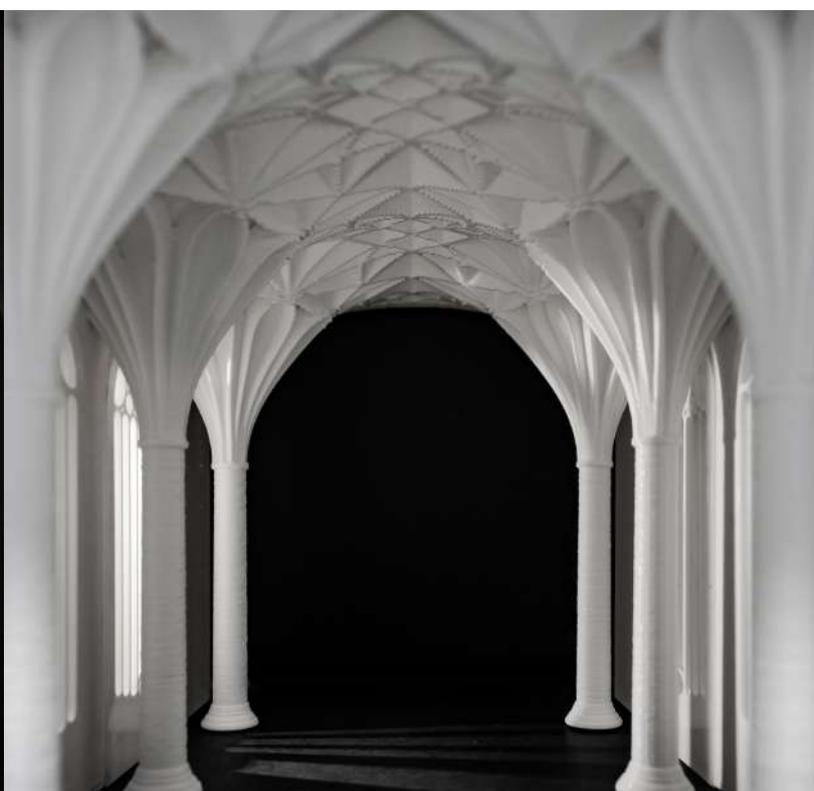
Cap. 5. L'esperienza diretta

erano immaginarie e legate esclusivamente a una rappresentazione bidimensionale interpretabile. L'interpretazione comporta un alto livello di difficoltà perché, a differenza di quanto accade con foto di architetture reali, non è sufficiente comprendere le geometrie ma è necessario far leva sia sulla propria capacità creativa che sul pensiero critico per trovare e modellare soluzioni formali che rendano i sistemi architettonici ispirati dall'IA allo stesso tempo credibili dal punto di vista costruttivo e coerenti con l'immagine di riferimento.

Inoltre è necessario padroneggiare il processo di modellazione per poter realizzare esattamente ciò che si vuole senza compromessi o semplificazioni eccessive; per questa ragione si è dovuto seguire regolarmente gli studenti, in modo da evitare che il divario tra ciò che *volevano* e ciò che *sapevano* fare costituisse un ostacolo per il completamento dell'esercitazione.

Il livello di difficoltà è salito nel momento in cui i futuri architetti hanno dovuto preparare i modelli per la stampa: la fabbricazione additiva, infatti, richiede particolari accorgimenti che costringono a prestare attenzione ad aspetti specifici spesso trascurati – come la creazione di solidi chiusi e superfici che non si intersecano. In conclusione, per raggiungere l'obiettivo richiesto gli studenti sono stati "costretti" a concentrarsi su questioni che altrimenti non avrebbero considerato, raffinando la loro capacità di comprendere e interpretare lo spazio architettonico.

Figg. 88-89. Confronto tra l'immagine elaborata dal prof. Giuseppe Fallacara tramite Midjourney e l'architettura a essa ispirata modellata e stampata in 3D dallo studente Francesco Savino Franco.



Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione

INTELLIGENZA ARTIFICIALE & PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

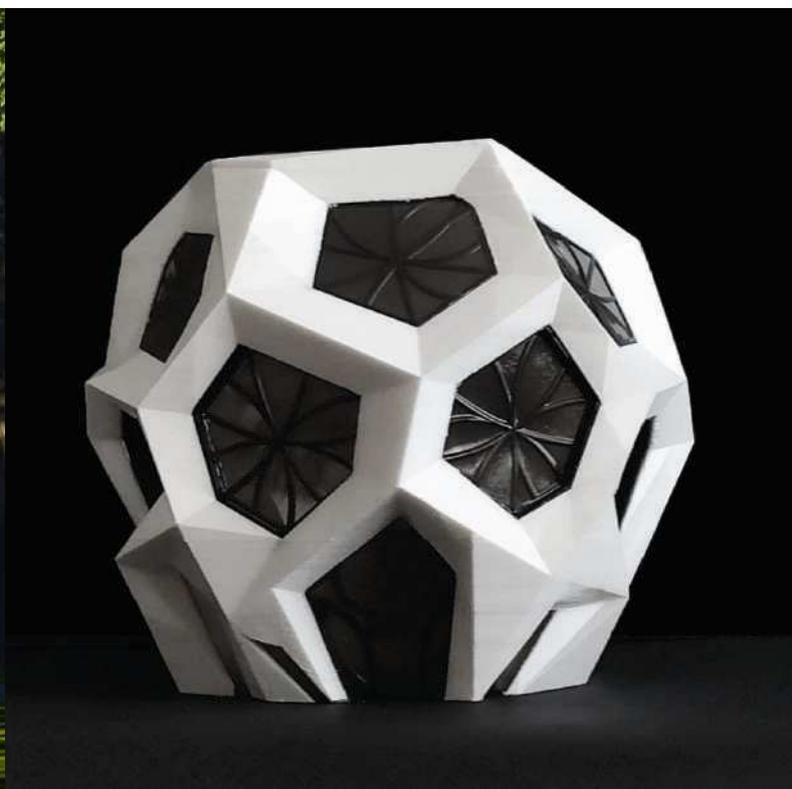
Dal Padiglione Urbano al nuovo polo teatrale
per la Città di Andria

Esito del Laboratorio di Progettazione Architettonica IV
ArCoD - Politecnico di Bari - A. A. 2022-2023

A cura di Giuseppe Fallacara
con
Alessandro Angione, Iliaria Cavaliere e Dario Costantino
Presentazione di Dustin White

Fig. 90 (in alto). La copertina disegnata dallo studente Emanuele Masnata per il libro contenente gli esiti del laboratorio di Progettazione Architettonica IV dell'anno accademico 2022-2023.

Figg. 91-92 (in basso). Confronto tra l'immagine elaborata dall'arch. Iliaria Cavaliere tramite Midjourney e l'architettura a essa ispirata modellata e stampata in 3D dalla studentessa Alessia Nanocchio.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.5.3. Fase 2: dall'LA al fotomontaggio

Per il secondo esercizio è stata proposta agli studenti un'interazione diretta con l'intelligenza artificiale. Pertanto, una volta fornite le conoscenze pratiche e le teorie per utilizzarla al meglio, si è chiesto loro di usare Midjourney per produrre autonomamente dei concept di padiglioni da collocare in alcune piazze pugliesi a loro scelta. Poiché Midjourney non è in grado di riprodurre un contesto specifico ma solo richiamarlo in modo vago – prevalentemente nei colori e nelle atmosfere –, è stato richiesto di ottenere risultati assimilabili a scenari della regione mescolando i termini del codice principale con parole riconducibili a elementi della tradizione locale – come i centrini o le luminarie –, in modo da indirizzare il programma verso un output che potesse rivelarsi identitario del luogo. In un secondo momento si è usata la postproduzione per inserire i risultati in reali piazze pugliesi fotografate dagli studenti.

La complessità di questo esercizio era legata a tre aspetti fondamentali:

1. la necessità di svolgere diversi test per avere dimestichezza con l'IA e comprendere come gestire il linguaggio per guidarla in modo corretto;
2. la padronanza nell'utilizzo di software di post-produzione;
3. l'allenamento di due capacità intangibili e soggettive: consapevolezza e controllo.

L'intelligenza artificiale generativa è uno strumento dalle potenzialità estetico-compositive incommensurabili ma allo stesso tempo non richiede particolari competenze o requisiti tecnici per poter essere utilizzata: spesso bastano poche frasi o anche poche parole per ottenere risultati estremamente suggestivi. Ciò, però, non appiattisce il valore di chi le utilizza e i modi in cui possono lavorare un architetto e un artista digitale differiscono notevolmente.

L'architettura è una disciplina collocata in una posizione intermedia tra arte e scienza. Come la prima, essa è spesso finalizzata al raggiungimento della bellezza (*venustas*) – intesa come proporzione e armonia delle sue parti –, ma, a differenza degli artisti visuali, gli architetti cercano anche funzionalità (*utilitas*) e stabilità (*firmitas*), ovvero gli

elementi della triade vitruviana che rendono il costruito architettura. Di conseguenza, quando ci si interfaccia con uno strumento come l'intelligenza artificiale con finalità architettoniche, si deve puntare a produrre suggestioni e riferimenti credibili e, quindi, portatori di qualità e caratteristiche costruttive che solo la mente allenata del tecnico può individuare e sviluppare. Difatti, le reti neurali dell'IA non sono vincolate alle leggi che della realtà tangibile e quindi non rispettano criteri fisici o statici. Conseguentemente non è scontato che un edificio o un padiglione sviluppato dall'intelligenza artificiale possa davvero essere costruito. L'architetto – letteralmente: capo (*archi*) costruttore (*tékton*) – deve guidare il processo creativo, capire di volta in volta cosa tenere e cosa scartare degli output generati e intervenire in modo critico per rendere il suggerimento un possibile progetto. Solo attraverso la piena consapevolezza del proprio ruolo rispetto alle potenzialità degli strumenti tecnologici è possibile evitare l'assoggettamento al *novum* e avere un ruolo di supervisione del processo progettuale.

Tutto ciò è strettamente connesso allo studio del vocabolario architettonico, senza il quale non è possibile sbloccare le reali potenzialità dell'intelligenza artificiale: la capacità creativa umana si esaurisce nel momento in cui non si è in grado di nominare o definire a parole ciò che si vuole visualizzare.

Il principio su cui si fonda questo meccanismo è l'idea filosofica secondo cui il controllo del lessico può essere considerato lo strumento chiave per la definizione della realtà stessa, all'interno di un processo culturale complesso in cui dare nomi alle cose significa anche generare un'immagine mentale di esse e alterare la realtà. Nominare le cose permette loro di esistere concettualmente prima ancora che assumano una consistenza fisica e, al contrario, ciò che non può essere comunicato, descritto e menzionato non può assumere alcuna forma e, quindi, non può esistere. «L'atto di nominare non è un fatto tecnico ma descrive un processo culturale e intellettuale di primaria importanza. È nel nome che il linguaggio manifesta il suo carattere ontologico: nel nome il mondo

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

viene alla presenza, nel nome l'uomo si apre alla verità del mondo»¹¹⁸.

Affrontare questa condizione è stata forse la sfida più difficile per gli studenti, che, almeno nelle fasi iniziali, sembravano incapaci di comunicare agilmente con la mente artificiale, continuando a generare risultati esteticamente molto simili tra loro. Solo con l'avanzare del confronto – e quindi imparando a usare il linguaggio in modo che l'IA “comprendesse” davvero cosa dovesse generare – la situazione si è evoluta e gli studenti hanno acquisito la capacità di spaziare tra forme e materiali in modo più preciso ed efficace. Una volta selezionati i padiglioni più adatti a occupare le piazze pugliesi si è proceduto con il fotomontaggio.

Chiedere di eseguire questo passaggio significa chiedere di confrontarsi con un nuovo software – integrando ulteriormente l'iter progettuale – e, conseguentemente, di svolgere un esercizio che richiede una profonda analisi critica. Collocare un padiglione generato dall'intelligenza artificiale in un contesto esistente, infatti, implica un confronto con fattori quali: le proporzioni dell'architettura – e quindi la scala rispetto a persone, oggetti ed edifici circostanti –; il modo in cui i materiali del progetto interagiscono con luci e atmosfere dell'ambiente; la funzione che la struttura deve ospitare, ecc. Ci si comincia a porre domande su come rendere l'immagine credibile e si è costretti a diventare più attenti nei confronti della realtà, senza tralasciare i dettagli e curandosi del modo in cui l'architettura si confronta con lo spazio che occupa. I risultati di questo esercizio, dunque, vanno osservati con la consapevolezza che si sta assistendo all'esito di un processo di maturazione di studenti che, dopo essersi scontrati con le inevitabili difficoltà tecniche dei software e con l'osservazione critica, sono riusciti ad annullare il divario tra la suggestione effimera e decontestualizzata dell'IA e la sua forma possibile – seppur ancora bidimensionale –, traducendo il tutto in opere credibili architettonicamente, seppur ancora interpretabili e non considerabili spazialità del tutto oggettive o progetti veri e propri.

Fig. 93-94 (in alto).
I fotomontaggi dei padiglioni nelle piazze pugliesi dei padiglioni ottenuti tramite IA a cura degli studenti Roberta Introna e Antonio Marasciulo.

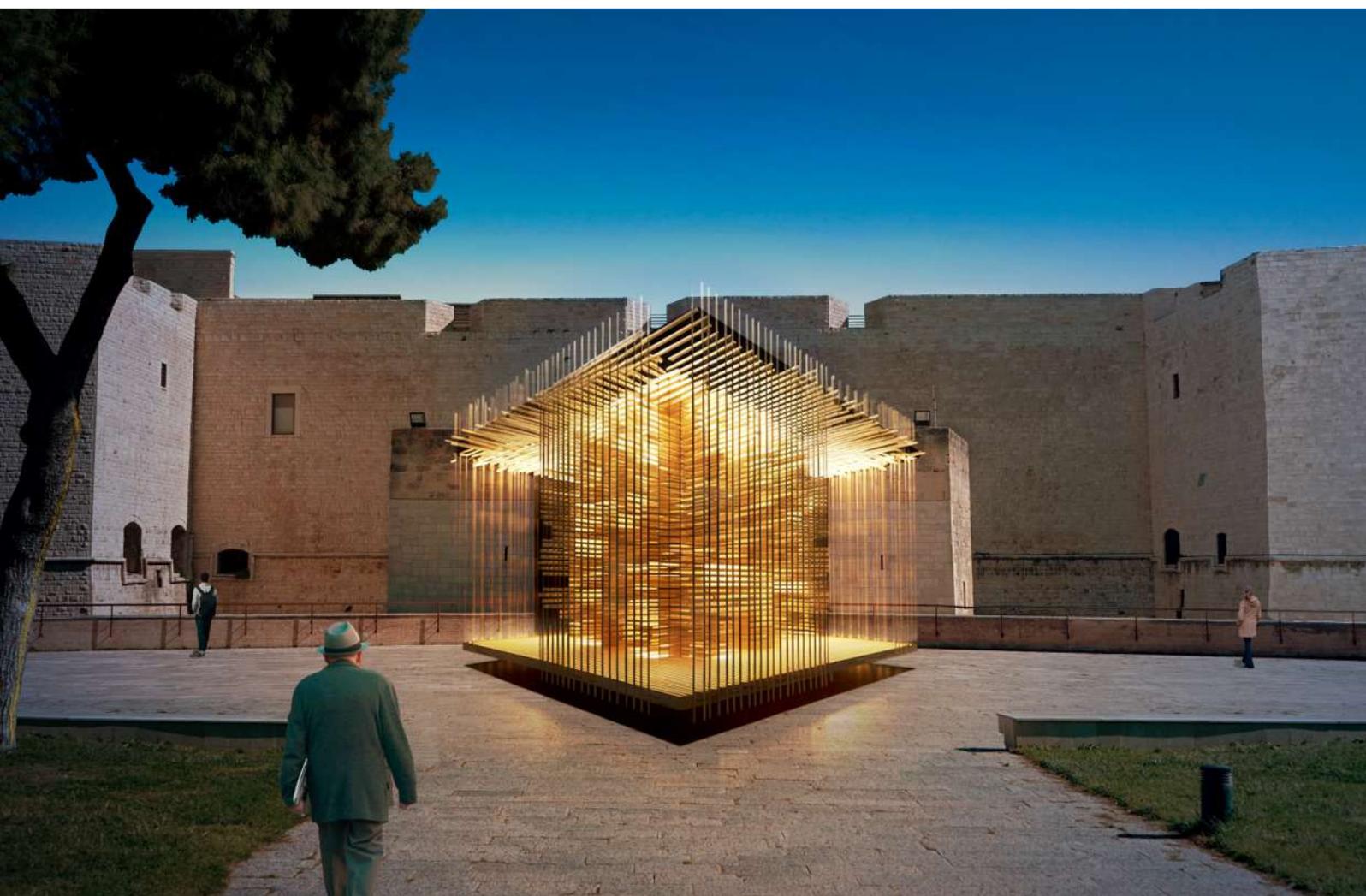
Fig. 95 (in basso).
Il fotomontaggio all'interno di una piazza pugliese del padiglione ottenuto tramite IA a cura dello studente Giuseppe Martino.

¹¹⁸ Bidussa, D., «Un anno senza Zygmunt Bauman», *Fondazione Feltrinelli*, 8 gennaio 2018. Originariamente disponibile al link: <https://fondazionefeltrinelli.it/un-anno-senza-zygmunt-bauman/>. Oggi riportato nel blog Diari e Altro, al link <https://diaricaltro.it/?p=7770>.

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.5.4. Fase 3: dall'LA al rendering

Per il terzo esercizio si è chiesto agli studenti di combinare le nozioni apprese durante le altre fasi e di sfruttarle per modellare tridimensionalmente una selezione dei padiglioni elaborati precedentemente. L'obiettivo è stato quello di farli confrontare – questa volta in gruppi di due o tre componenti – con la complessità costruttiva che avrebbe caratterizzato quei padiglioni in caso di realizzazione, spingendoli in una direzione più tecnica e concreta.

La modellazione 3D, infatti, quando non viene fatta per motivi di pura visualizzazione, non consiste soltanto nel riprodurre forme in modo acritico ma, al contrario, presenta una dimensione intrinseca fortemente didattica: la necessità di plasmare in modo corretto e realistico ciò che viene mostrato in una fotografia o in un'immagine di qualsiasi tipo costringe il modellatore – in questo caso specifico gli studenti di architettura – a svolgere ricerche, spesso in modo indipendente, per comprendere appieno tutti gli elementi e i materiali visibili. Sfruttando i principi della *gamification* e sfidando, quindi, i futuri architetti a raggiungere dei risultati verosimili li si è anche spinti a indagare e studiare materiali e sistemi costruttivi, imparando come gestire varie tipologie di vetro – con relativi colori e spessori –, cercando esempi e riferimenti sugli usi architettonici di materiali come le lamiere zincate, ragionando su come ottimizzare strutture di pietra e di legno. Sostanzialmente gli studenti si sono sentiti stimolati a confrontare il

Fig. 96 (a sinistra). Il padiglione modellato e fotoinserito in piazza Duomo ad Andria dagli studenti Adriano Marra e Blerta Qosja.

Fig. 97 (a destra). Il padiglione modellato e fotoinserito in piazza Toniolo ad Andria dagli studenti Natale Monopoli e Jhully Viana Costa.



Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

proprio lavoro con architetture esistenti per crescere criticamente, effettuando una progettazione totale e consapevole. L'entusiasmo per il confronto con l'IA – così come nelle fasi precedenti – si è tradotto in un forte senso di intraprendenza e autonomia nel cercare di raggiungere il proprio obiettivo, riducendo al minimo gli interventi dei tutor.

Per concludere al meglio l'esercizio, sono stati considerati anche aspetti come il collegamento al suolo, i sistemi di illuminazione, i sistemi di ombreggiamento, le possibili destinazioni d'uso e, successivamente, si è proceduto con dei rendering fotorealistici in quattro piazze di Andria scelte dal docente, ovvero: Piazza Catuma, Piazza Duomo, Largo Grotte e Piazza Toniolo.

Fig. 98. Il padiglione modellato e fotoinserto in piazza Toniolo ad Andria dagli studenti Francesco Savino Franco e Antonio Marasciulo.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.5.5. Fase 4: Il progetto finale

Dopo i tre esercizi descritti nelle sezioni precedenti si è chiesto agli studenti di progettare un centro teatrale-culturale per la città di Andria. All'inizio è stata necessaria una fase di studio e confronto che portasse la classe ad avere piena consapevolezza del luogo in cui avrebbero lavorato, valutando lo stato di fatto, i progetti in atto ed eventuali strategie urbanistiche da applicare. In seguito si sono prodotte delle suggestioni tramite Midjourney, chiedendo al software un edificio o un'aggregazione di edifici a pianta centrale – scelta ispirata all'impianto di Castel del Monte, monumento di riferimento per questo centro urbano. Da queste suggestioni si è passati alla fase progettuale vera e propria: si è diviso il progetto in parti da distribuire ai gruppi, ai quali è stato chiesto di agire come un vero e proprio studio, lavorando tutti su un unico progetto da sviluppare in modo approfondito. Ciò ha generato alcune difficoltà organizzative iniziali che hanno comportato un'apparente dilatazione dei tempi. A seguito, però, del primo periodo di assestamento, gli studenti sono riusciti a raggiungere gli obiettivi prefissati, sviluppando disegni, modelli 3D e rendering in modo estremamente rapido, poiché le fasi precedenti avevano consentito loro di arrivare a questo momento padroneggiando tutti gli aspetti – tecniche e tecnologie – dell'iter progettuale innovativo proposto durante il corso. Infatti il flusso di lavoro ha ricalcato quanto fatto in precedenza, partendo dall'uso dell'intelligenza artificiale per ottenere delle suggestioni iniziali e procedendo con l'utilizzo maturo e sicuro degli strumenti tecnologici. Il progetto è stato elaborato interamente nell'arco di otto incontri distribuiti in due mesi, dimostrando l'efficacia della sperimentazione didattica.

5.5.6. Conclusioni e considerazioni

Questa esperienza è stata di fondamentale importanza sia per il docente e i tutor che per gli studenti, a cui è stato proposto un nuovo metodo per la progettazione architettonica che mescolasse i principi compositivi della storia e gli strumenti della contemporaneità. Il processo non è sempre stato semplice, infatti, soprattutto durante la prima parte del corso, gli studenti si sono mostrati disorientati e hanno incontrato difficoltà nell'uso

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Figg. 99-100. Alcuni rendering esterni del progetto finale, elaborati dagli studenti.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

dell'IA generativa e dei software proposti per la modellazione 3D, il rendering e la postproduzione. Il metodo applicato, però, ha consentito loro di approcciarsi alle difficoltà in modo nuovo. L'impostazione per fasi e sfide – ispirata dalla consapevolezza di come funzionino la *gamification* – e il fascino dell'intelligenza artificiale hanno spinto gli studenti ad adottare un approccio entusiastico e una metodologia attenta e stratificata, sviluppando una consapevolezza critica. Si può asserire, quindi, che la possibilità offerta dall'IA di visualizzare immediatamente un'idea in modo esteticamente d'impatto, se adeguatamente sostenuta e contestualizzata nella didattica dell'architettura, può portare a notevoli riduzioni nei tempi di apprendimento e progettazione.

Riassumendo, i vantaggi di questo metodo sono:

1. la costruzione di un iter progettuale e didattico su un approccio innovativo genera senso di curiosità e spinta propositiva;
2. i tempi di apprendimento si riducono notevolmente senza intaccare la qualità dell'insegnamento;
3. l'utilizzo di sfide o di obiettivi da raggiungere in modo graduale basati sulle immagini prodotte dagli studenti stessi incentiva una crescita critica autonoma.

I contro, invece, sono i seguenti:

1. nelle fasi iniziali è necessaria una guida esterna che indirizzi gli studenti che potrebbero sentirsi sopraffatti dalla novità;
2. il dialogo con l'IA può risultare a volte ostico a discapito della qualità degli output: a volte gli studenti fanno fatica a ottenere esattamente ciò che immaginano;
3. è complesso individuare il confine tra ciò che si vuole progettare e ciò che si riesce a progettare:
 - 3.1. il ripetuto fallimento nell'ottenere un preciso risultato può spingere gli studenti ad accontentarsi;
 - 3.2. l'incapacità di controllare totalmente i software di modellazione può portare a variazioni progettuali di convenienza.

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Figg. 101-102. Alcuni rendering interni del progetto finale, elaborati dagli studenti.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.6. Il feedback degli studenti

Nell'anno accademico 2023-2024 si è deciso di ripetere l'esperienza descritta, combinando nuovamente intelligenza artificiale e progettazione, ma questa volta si è deciso di concludere il laboratorio di Progettazione Architettonica IV con un questionario elaborato sulla base delle informazioni raccolte durante l'anno precedente, in modo da dare la parola direttamente agli studenti e verificare le ipotesi elaborate. Nello specifico si è chiesto ai partecipanti al corso di valutare in modo anonimo il proprio percorso di crescita attraverso il metodo didattico proposto, evidentemente *sui generis* e fortemente legato a dinamiche, tecniche e tecnologie contemporanee – non solo l'IA, ma anche il fotoritocco, la modellazione 3D e tutto ciò che concerne la visualizzazione architettonica. Di seguito se ne riportano i risultati commentati.

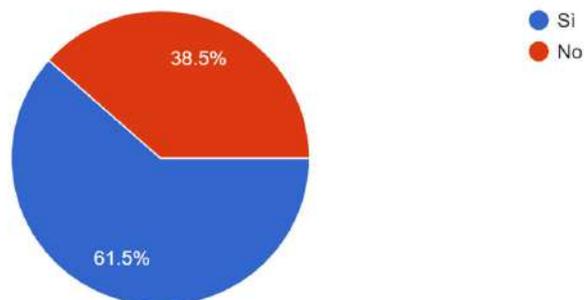
5.6.1. Il livello di partenza

Per comprendere quanto efficace sia stato il metodo adoperato è fondamentale effettuare una panoramica generale e comprendere quale sia il livello di conoscenze di partenza dei discenti.

Dunque, la prima indagine ha riguardato l'utilizzo dell'IA e si è svolta attraverso due quesiti:

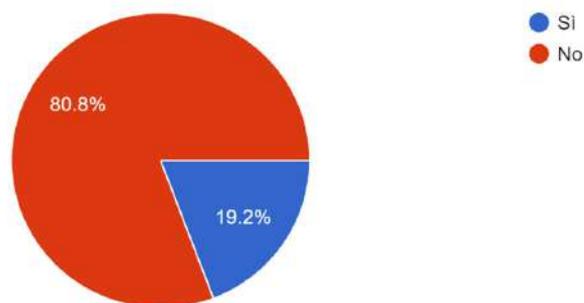
Conoscevi software di intelligenza artificiale generativa prima di questo corso?

26 responses



Hai mai usato software di intelligenza artificiale per l'architettura prima di questo corso?

26 responses



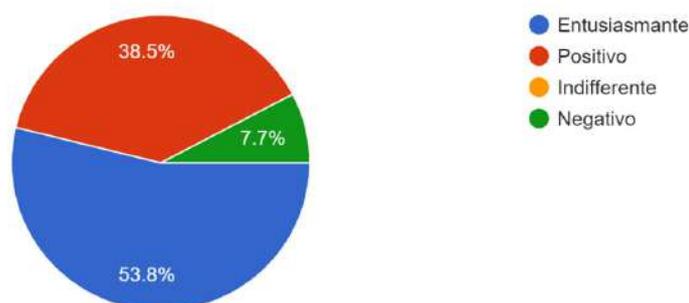
Il 61,5 % di studenti aveva solo sentito parlare di IA e l'80,8 % non ne aveva mai testato le potenzialità, quindi si può dire che il percorso didattico sia partito da uno scarso livello di esperienza e, soprattutto, da un livello di preparazione pressoché omogeneo.

5.6.2. L'entusiasmo per la novità

Poiché, come si è visto, la componente ludica e l'entusiasmo per la novità tecnologica hanno un ruolo chiave all'interno dei processi creativo-progettuali, il secondo elemento che era necessario appurare era il feedback emotivo nei confronti della tecnologia sia all'inizio del percorso – quando si presume che il senso di novità amplifichi l'impatto col *novum* – sia alla fine, quando ormai si è raggiunto un certo grado di confidenza con lo strumento e si è più obiettivi.

Come è stato il primo approccio all'intelligenza artificiale?

26 responses



Dario Costantino

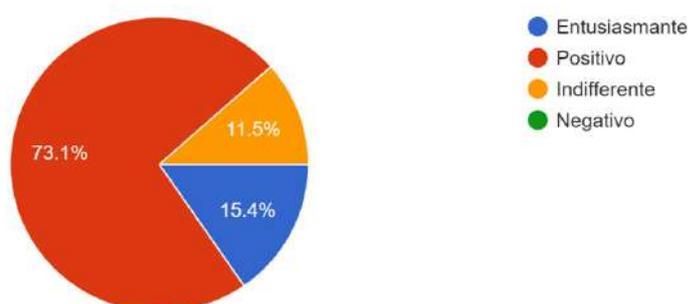
Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Dopo averla usata assiduamente, come valuti il tuo attuale approccio all'IA?

26 responses



Come è possibile desumere dai grafici, nel corso dei mesi il livello di entusiasmo nell'approccio all'IA è calato drasticamente, passando dal 53,8 % al 15,4 %. Un dato prevedibile che, però, va interpolato con altre due informazioni interessanti: l'approccio positivo è cresciuto dal 38,8 % al 73,1 % e, allo stesso tempo, è totalmente scomparso l'approccio negativo, che inizialmente era stato percepito dal 7,7 % degli studenti.

È stato chiesto agli studenti di fornire in forma estesa le motivazioni delle proprie risposte, tre delle quali vengono riportate di seguito:

- A. l'euforia iniziale nel vedere le proprie idee concretizzate dall'IA lascia successivamente spazio alla presa di coscienza dei limiti del software – per quanto riguarda le imprecisioni strutturali dei progetti architettonici realizzati – e, spesso, alla frustrazione nel vedere i propri input non essere compresi e quindi venire mal trasposti;
- B. inizialmente sembrava tutto molto interessante. Ora ne apprezzo le potenzialità e, soprattutto, ne noto le lacune che si possono comunque aggirare;
- C. è avvenuto un cambiamento in quanto abbiamo imparato a guidare con maggior consapevolezza i software di IA, indirizzandoli affinché possano darci i risultati che più si avvicinano a quelli desiderati.

Quanto scritto testimonia la maturazione di un senso di consapevolezza e una crescita critica: durante il periodo trascorso insieme, i futuri architetti hanno imparato a non farsi trascinare dal del mezzo, ma vi si sono scontrati e hanno imparato a controllarlo, apprezzandone le

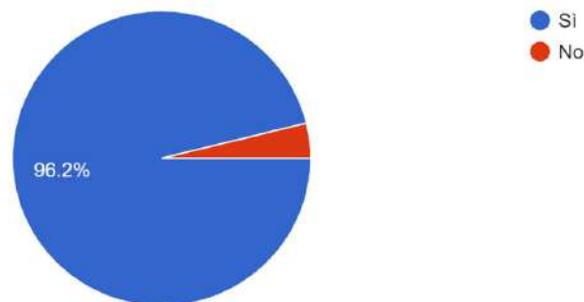
potenzialità, accettandone i limiti e ridimensionandone l'entità al punto che il 12 % ha dichiarato di provare una sensazione di indifferenza nell'uso dell'intelligenza artificiale.

5.6.3. L'IA come strumento

Successivamente si è chiesto un parere sull'utilizzo dell'IA. Una volta svanito l'entusiasmo e una volta che si è imparato a controllarla, può effettivamente essere considerata utili ai fini progettuali?

Ritieni che l'IA sia utile ai fini progettuali?

26 responses



Il 96,2 % degli studenti reputa l'IA un mezzo utile, confermando attraverso delle risposte estese quanto scritto in precedenza in questa tesi, ovvero che la generazione di contenuti tramite mente artificiale può rivelarsi utile soprattutto nel momento in cui ci si avvicina al progetto, generando delle visioni su cui, poi, lavorare in modo sempre più accurato, all'interno di un ragionamento architettonico-critico necessariamente più complesso. Di seguito alcuni dei commenti raccolti:

A. L'intelligenza artificiale aiuta a sviluppare delle idee che inizialmente possono sembrare non praticabili. Scrivendo un prompt per generare le immagini, si riesce a tener conto di alcune questioni più nello specifico e questo rende il progettista più consapevole di quello che vuole ottenere. Generando immagini volta per volta si ha sempre più consapevolezza delle modifiche da apportare. Quindi, secondo me, aiuta molto ad avere delle idee più chiare sul risultato finale che si vuole ottenere;

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

B. grazie a un sapiente uso dell'intelligenza artificiale si può riuscire ad avere molto rapidamente una dimostrazione visiva e impattante di quelle che sono le idee di progetto. Per di più diventa molto utile nel fornire nuovi spunti, arricchendo e dettagliando l'idea progettuale sin dalla nascita della stessa;

C. ritengo possa essere uno strumento utile per superare la paura del foglio bianco quando si inizia un progetto. Inoltre, credo che, se ben gestito, possa essere un ottimo strumento di sintesi delle idee preliminari.

Nonostante le risposte fossero per lo più allineate alle tre selezionate, ce ne sono state due in netta controtendenza, ovvero:

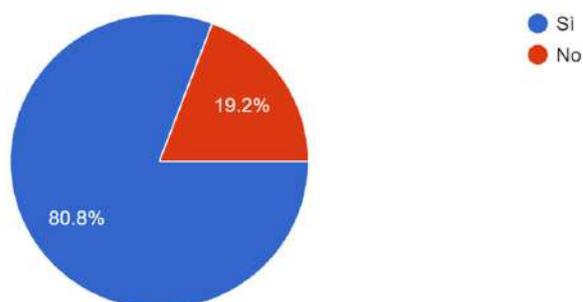
A. ritengo che decontestualizzi molto le idee;

B. sicuramente l'intelligenza artificiale è in grado di fornire spunti o idee alternative durante il processo creativo, ma mi è ancora difficile riuscire a governarla.

Questo porta alla luce il tema della frustrazione che a volte può sorgere nel momento in cui si è incapaci o impossibilitati a controllare a pieno uno strumento nuovo. Ciononostante, queste asserzioni non trovano un corrispettivo nella valutazione finale dell'approccio, che è stato considerato negativo nello 0 % dei casi, nonostante il 19,2 % degli studenti abbia poi dichiarato di non avere intenzione di continuare a utilizzare l'IA.

Pensi che in futuro continuerai a utilizzare l'IA?

26 responses



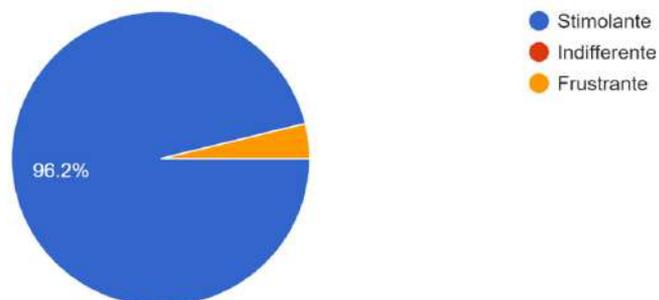
Questi dati possono essere una ulteriore testimonianza dello sviluppo di una consapevolezza critica negli studenti, che pur non apprezzando tutti gli aspetti della tecnologia sono in grado di valutarne l'utilizzo a prescindere dalle proprie preferenze soggettive.

5.6.4. Il metodo didattico

A seguire ci si è spostati da un'analisi specifica sull'uso di un singolo strumento all'approccio generale proposto dal corso, nel tentativo di comprendere se e quanto effettivamente la sua vocazione dichiaratamente innovativa possa essere vantaggiosa da un punto di vista didattico. Come è possibile desumere dai grafici riportati di seguito, il 96,2 % dei discenti si è sentito stimolato e il 100 % pensa di continuare a sfruttare quanto appreso.

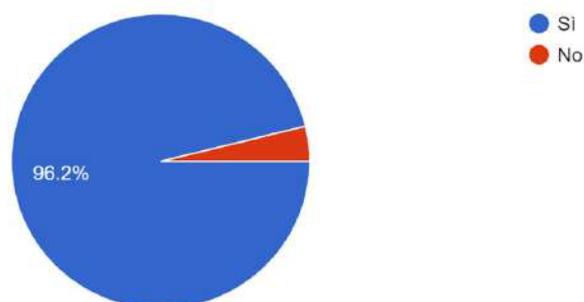
L'utilizzo di nuove tecniche e strumenti rende il lavoro più stimolante o frustrante?

26 responses



Ritieni che l'approccio adottato all'interno del corso abbia facilitato l'apprendimento di nuove skill?

26 responses



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Pensi che in futuro continuerai a utilizzare le tecniche e gli strumenti di visualizzazione appresi durante il corso?

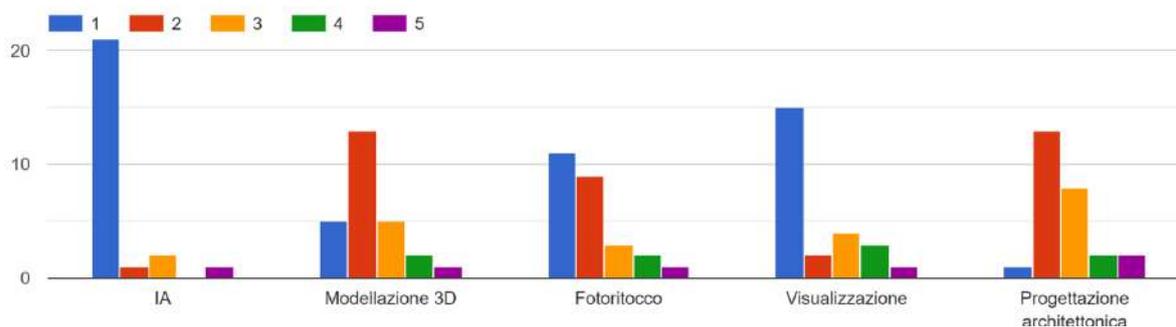
26 responses



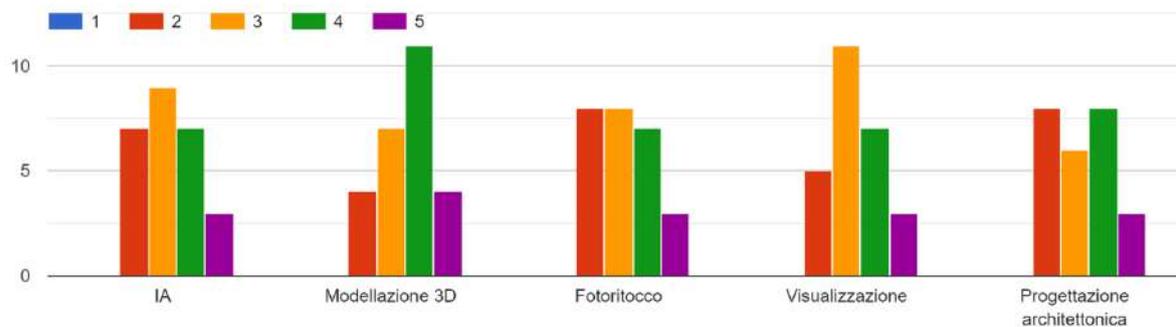
5.6.5. Valutazioni finali

A prescindere dalla qualità dei risultati raggiunti a livello progettuale, era interessante comprendere come gli studenti avessero avvertito gli effetti metodo didattico sulla loro crescita personale e quanto sentissero di essere migliorati o peggiorati grazie a esso. Per questa ragione è stato chiesto loro di valutare il proprio livello a inizio e fine laboratorio in cinque ambiti distinti: uso dell'IA, modellazione 3D, fotoritocco, visualizzazione e, in generale, progettazione architettonica.

Valuta il livello delle tue competenze prima del corso in una scala da 1 a 5.



Valuta il livello delle tue competenze dopo il corso in una scala da 1 a 5.



Sembra che l'applicazione dell'IA all'interno del corso, così come di altri strumenti tecnologici, abbia favorito nel 100% dei casi la creazione di un circolo virtuoso che, sfruttando la spinta propositiva generata dall'entusiasmo del *novum*, ha portato gli studenti a crescere in tutte le competenze prese in analisi. Infatti, a distanza di sei mesi, non solo il 100% degli studenti ha dichiarato che continuerà a utilizzare gli strumenti e metodi appresi, ma il livello di competenza pari a 1 è stato totalmente eliminato da tutti i cinque ambiti analizzati; al contempo il livello di tutte le altre *skill* appare notevolmente più alto nel secondo grafico, a conferma sia della bontà del metodo didattico sia delle ipotesi avanzate nel corso delle esperienze precedenti.

È opportuno ribadire che la sezione appena conclusa si basa su delle considerazioni assolutamente soggettive, che non sono sempre sovrapponibili a condizioni reali e potrebbero non essere sempre valutabili oggettivamente. Nonostante ciò queste rappresentano l'importante testimonianza di una percezione di crescita da parte dei discenti a conferma della spinta propositiva che si può ottenere attraverso l'unione di innovazione e tradizione e l'applicazione consapevole dei principi della *gamification*.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

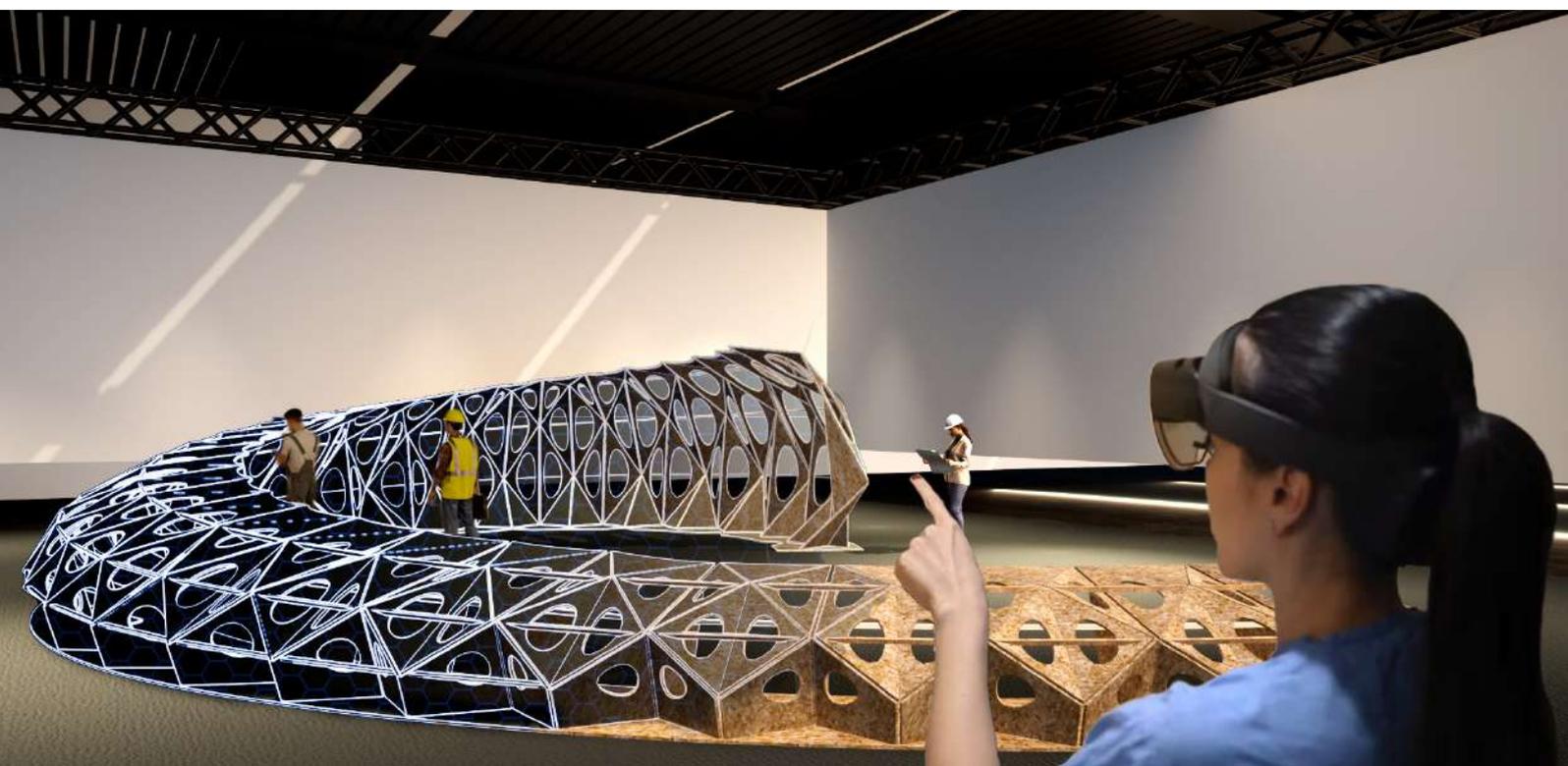
Cap. 5. L'esperienza diretta

5.7. *Ceci n'est pas un fossile: realizzare strutture complesse con la realtà aumentata*¹¹⁹

Per l'edizione del 2024 del Marmomac Meets Academies si è scelto di concretizzare il tema dell'incontro tra virtuale e reale – e quindi anche tra tecnologia e manualità, nuovo e antico – attraverso un allestimento *sui generis* che rappresentasse il bisogno degli architetti – ma, più in generale, di qualunque creativo contemporaneo – di padroneggiare l'innovazione a allo stesso tempo valorizzare la storia. Ciò è stato fatto attraverso il progetto del professor Giuseppe Fallacara intitolato *Ceci n'est pas un Fossile*: si tratta di una installazione di design in grande scala che funge non solo da scenografia ma anche da vera e propria bottega futuristica attiva per tutta la durata della mostra – di cui lo stesso professore è stato il curatore – al cui interno è riassunto in modo simbolico tutto il processo creativo dell'architetto e del designer, dal progetto al prototipo concreto. La struttura è composta da pannelli di legno disposti in modo da formare un grande origami allungato, diviso in ventinove moduli in grado di ospitare attrezzature come computer e stampanti 3D. I primi moduli sono alti circa 260 cm mentre gli ultimi si abbassano al punto da trasformarsi in basi di appoggio alte 80 cm,

Fig. 103. Simulazione renderizzata del processo di assemblaggio con l'ausilio di HoloLens.

¹¹⁹ Costantino, D., *The central installation. Between tradition and innovation*, in Fallacara, G. (a cura di), *Ceci n'est pas un fossile. Marmomac Meets Academies 2024*, Dossier di MD Journal, 2024, pp. 50-53.



che costituiscono delle vere e proprie aree di lavoro con scrivania. Poiché la disposizione dei moduli segue la geometria della spirale, il padiglione sembra attorcigliarsi su sé stesso fino a formare una sorta di fossile: ecco, quindi, che subentra il tema della storia, che si manifesta attraverso l'immagine dell'ammonite, ossia un mollusco cefalopode estinto sessanta milioni di anni fa e i cui resti sono tuttora rinvenibili proprio nelle pietre sedimentarie al momento del taglio. Più livelli di lettura si intersecano, dunque, in questo progetto, che unisce non solo passato e futuro, ma anche culture e tradizioni diverse. Associare l'origami e il fossile, infatti, non è un atto casuale, ma si rifà anche a una suggestiva tradizione giapponese: si dice, infatti, che nell'epoca Muromachi (1573-1603) gli origami fossero gli astucci di carta in cui venivano custoditi dei particolari molluschi – *noshi-awabi* –, da donare ai samurai come augurio di immortalità¹²⁰. Inoltre, quale altro materiale, se non la pietra, protagonista assoluta del Marmomac, può essere considerato immortale?

Da un punto di vista pratico, invece, questa installazione rispecchia a pieno lo spirito della disciplina architettonica contemporanea, ovvero il luogo di incontro fisico e teorico tra professionisti e discipline diverse, che entrano in sinergia per arrivare a un solo risultato. Infatti il professor Fallacara ha fornito l'idea, basata su un suo precedente progetto intitolato *Stone Origami*, presentato al Salone Rocalia (Lione, Francia) nel dicembre 2023; il team di tesisti che nell'anno accademico 2023-2024 ha approfondito il tema di ricerca della casa del futuro (Vincenzo Di Bari, Nicola Lacalamita, Stefania Laterza, Maria Giovanna Pansini, Luca Ranieri) si è occupato di sviluppare il modello tridimensionale, alcuni prototipi in piccola scala e l'esecutivo finale da fornire al falegname per preparare tutti i pezzi; infine, il sottoscritto ha revisionato il modello, dedicandosi all'ottimizzazione della versione con gli spessori definitivi dei pannelli, e ha lavorato alla sua "virtualizzazione". Nello specifico, quest'ultima operazione riguarda la preparazione di un file con le caratteristiche necessarie per permetterne, in fase di montaggio, una fruizione tramite il visore di realtà aumentata

¹²⁰ Milani, M., Nastasi, P., *Origami didattico*, Milano, Ediemme, 1986.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

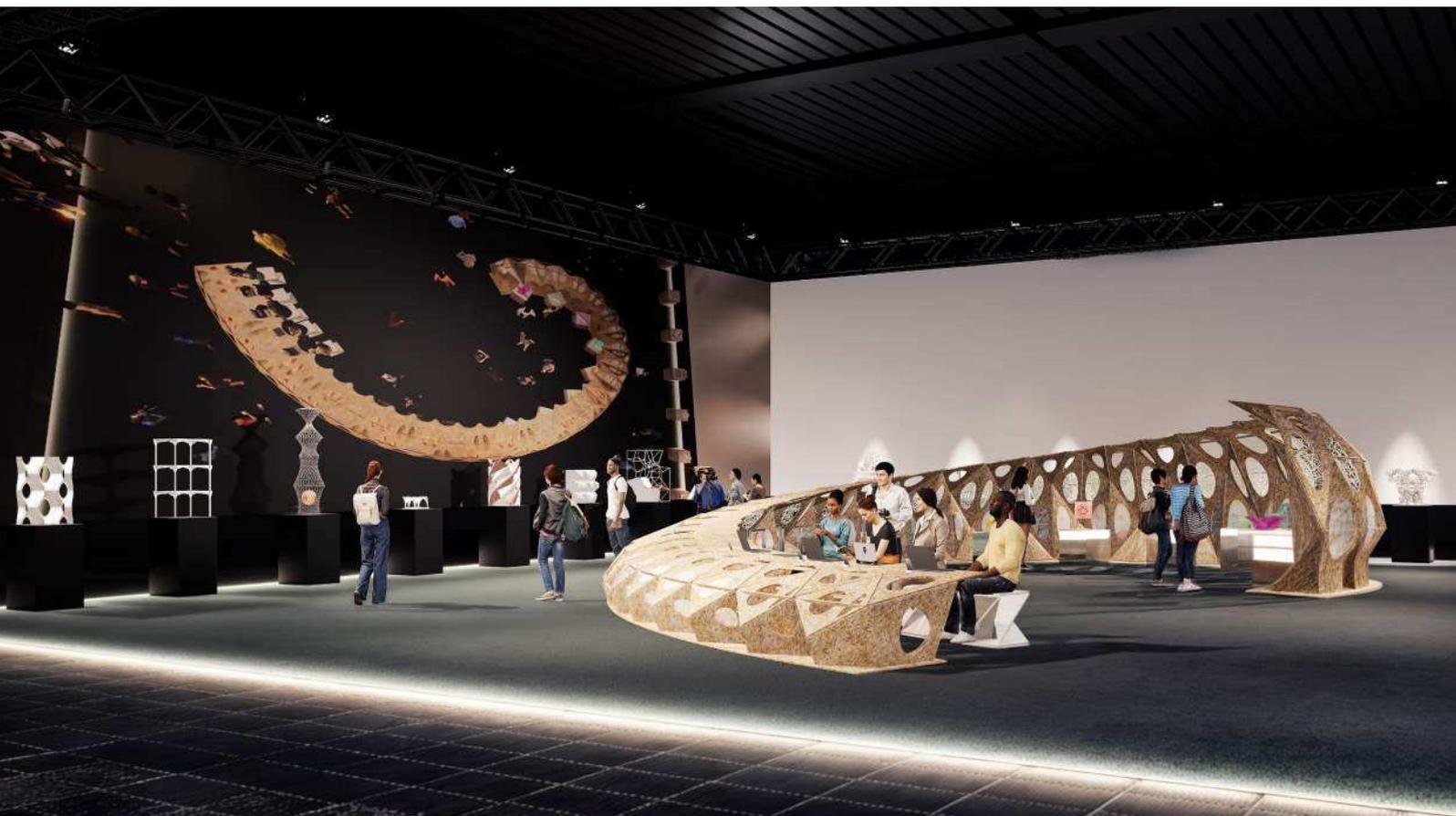
Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

HoloLens 2. Ciò è stato fatto in collaborazione con il professor Antonio Uva, il ricercatore Michele Gattullo e l'ingegnere Enricoandrea Laviola – facenti parte del VR3Lab del Politecnico di Bari –, i quali hanno lavorato attivamente alla programmazione dell'applicazione, hanno fornito il know-how necessario per utilizzarla al meglio e gli strumenti per effettuare la sperimentazione.



Figg. 104-105.
Rendering per la
simulazione preliminare
della mostra a cura di
Maria Giovanna Pansini
e Stefania Laterza.



La tecnologia di HoloLens rappresenta un ausilio significativo per un caso come quello del “fossile”. Infatti il progetto presenta notevoli difficoltà di assemblaggio dovute alla concomitanza di più fattori problematici, primo tra tutti il posizionamento nello spazio, reso complesso dall’ingombro complessivo dell’opera, il cui volume rientra in un parallelepipedo limite di circa $14\text{ m} \times 11\text{ m} \times 3\text{ m}$. Bisogna considerare, inoltre, la complessità intrinseca del padiglione, costituito approssimativamente da ottanta triangoli lignei da disporre nello spazio, ciascuno con una giacitura differente e senza alcun supporto o riferimento. Inoltre i pannelli di legno presentano uno spessore di 2 cm, che può interferire con il corretto posizionamento sia dei pezzi stessi che delle cerniere che li collegano; nel modello 3D alcune giaciture generano delle intersezioni minime, probabilmente trascurabili e sistemabili direttamente in fase di montaggio, ma che costringono comunque a porre particolare attenzione. Sono anche presenti piccole deformazioni legate all’imbarcamento del legno e smussature e difetti dovute alla qualità del materiale, la cui sommatoria può favorire un graduale accumularsi di errori durante la costruzione, che sfocerebbe a sua volta in ulteriori problematiche. Una di queste è la possibile estensione imprevista del padiglione rispetto alle dimensioni della base, mentre un’altra eventuale criticità sarebbe legata allo spazio tra i triangoli, che, se non rispettato adeguatamente, rende difficile o impossibile posizionare tutti gli elementi del “fossile”.

Fig. 106. Fotografia della prova di montaggio di un modulo, svoltasi presso Woodtec di Antonio Colasanto (Ruvo di Puglia, BA).



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

5.7.1. L'eseguibile di realtà aumentata

L'elaborazione di un'applicazione che permettesse di costruire il "fossile" ha richiesto una lunga fase di preparazione. Infatti, nonostante l'effettivo montaggio del prototipo sia avvenuto durante la terza settimana di settembre 2024, la collaborazione con VR3Lab è iniziata già a febbraio dello stesso anno, quando si sono svolti una serie di incontri per comprendere l'entità del lavoro, raccogliere le idee e definire un modus operandi adatto, tenendo conto che si trattava di un *unicum*. Nonostante, infatti, la consapevolezza derivante dallo studio dalle esperienze dell'Angelus Novus Vault, di innixAR e del prototipo di SNBR, precedentemente descritte, il caso in analisi presentava delle caratteristiche formali particolari, di cui non si sono trovati antecedenti realizzati e per le quali è stato necessario fin subito di organizzare il lavoro in modo rigoroso. Quindi si è deciso di limitare la discussione a tre elementi cardine, che sono stati: l'obiettivo effettivo da raggiungere attraverso HoloLens, il tipo di resa grafica e il livello di complessità del modello 3D da utilizzare e, infine, i possibili approcci alla costruzione – tenendo conto del quantitativo di dispositivi a disposizione e della durata della loro batteria.

Fig. 107. Test preliminare per l'uso di HoloLens. In foto: l'ingegnere Enrico Andrea Laviola e la studentessa Stefania Laterza.



Lo scopo è stato definito immediatamente: serviva un supporto alla costruzione di un prototipo estremamente grande e complesso, che fosse contemporaneamente facile da utilizzare e, soprattutto, rapido. Il contesto fieristico in fase di allestimento rischia di essere ostico sia per via del grande quantitativo di persone e prototipi in movimento continuo all'interno dell'area di lavoro sia a causa di tempistiche ristrette che costringono a organizzare puntualmente il lavoro secondo un principio di semplificazione, in modo da prevenire qualunque ostacolo. Per questa ragione si è optato per un'applicazione di pura visualizzazione in cui fossero presenti unicamente il prototipo nella sua interezza e un menu da cui poter accendere o spegnere i layer progettuali o cambiarne colori e trasparenza. Il "fossile" è stato diviso, infatti, in cinque fasce orizzontali modificabili singolarmente, in modo da avere più controllo sul modello e non rischiare che le sovrapposizioni tra reale e virtuale creassero confusione in fase di montaggio. Inoltre si è deciso di utilizzare come metodo di rappresentazione la visualizzazione dei triangoli come solidi più o meno trasparenti: si temeva, infatti, che utilizzare un effetto a fil di ferro, come avvenuto con innixAR, potesse rendere il file un intreccio di linee troppo caotico, soprattutto se si fosse deciso di accendere contemporaneamente tutti gli "strati" del padiglione. Si è discussa a lungo anche la possibilità di inserire come *feature* ulteriore la possibilità di muovere il progetto nello spazio liberamente o di modificarne la posizione lungo l'asse z in caso di errori di collocamento dell'elemento virtuale sul piano di calpestio. Entrambe le opzioni sono state scartate sempre in favore dei criteri di semplicità e rapidità di utilizzo: HoloLens non sarebbe stato utilizzato da esperti, ma da fruitori occasionali, privi di un *training* approfondito, e quindi bisognava evitare modifiche involontarie alla disposizione della spirale lignea che avrebbero complicato il lavoro. Si è preferito, piuttosto, inserire nella scena virtuale un oggetto di dimensioni note – una scatola di $19.5 \times 26.1 \times 76$ cm – che avrebbe funto da riferimento. Per quanto riguarda la complessità del modello, si è scelto anche in questo caso di ricorrere alla soluzione più semplice, eliminando dal file 3D cerniere, viti o altri dettagli costruttivi e decorazioni che avrebbero potuto produrre due effetti collaterali: avrebbero reso la visualizzazione più intricata e si sarebbe rischiato un appesantimento eccessivo del file con conseguenti rallentamenti e cali in termini di *performance* dell'eseguibile.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

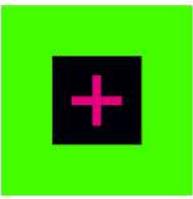
Cap. 5. L'esperienza diretta

Infine, sono stati discussi gli approcci alla costruzione. In caso di disponibilità di un solo visore, il fruitore avrebbe potuto seguire i lavori a distanza – sfruttando la sua visione di insieme per fornire indicazioni e verificare il corretto posizionamento dei pezzi e il rispetto delle giaciture – oppure avrebbe potuto lavorare egli stesso a distanza ravvicinata, disponendo i pezzi da far fissare immediatamente dai suoi collaboratori. In caso di disponibilità di due visori, invece, si sarebbe potuto creare un metodo di lavoro dinamico in cui le possibilità avanzate per il primo caso sarebbero state alternate e gestite in modo più libero. Durante una serie di test svolti presso il Politecnico di Bari è emerso un dettaglio di importanza fondamentale: durante gli spostamenti il modello di realtà aumentata risultava instabile; non manteneva, cioè, in modo continuativo la sua posizione nello spazio e aveva bisogno di frequenti ricalibramenti per cui era necessario inquadrare spesso un target di riferimento – nel caso specifico una tavola illustrativa in formato A1 elaborata ad hoc¹²¹ – che permettesse all'applicazione di riposizionare correttamente il modello 3D. Questa condizione, unita alla breve durata della batteria dei visori – approssimativamente di un'ora – ha portato alla scelta di adoperare due dispositivi, ma uno per volta, alternandoli allo scadere della carica e preferibilmente mantenendo una posizione fissa da cui fornire indicazioni a distanza.

Tutti i test sono stati eseguiti avendo a disposizione solo due degli ottanta triangoli del padiglione, ragion per cui, nonostante tutte le precauzioni, si sarebbe potuta constatare l'eventuale validità del lavoro svolto tra febbraio e settembre 2024 solo al momento del montaggio effettivo a Verona, avvenuto tra il 16 e il 22 settembre dello stesso anno.

Fig. 108 (alla pagina seguente). Tavola utilizzata come marker per il posizionamento del “fossile” nello spazio.

¹²¹ L'applicazione di HoloLens, elaborata col software Unity, necessita di un target, ossia di un riferimento che consenta al sistema di orientarsi nello spazio. Questo target deve essere ricco di contrasti, dato che HoloLens rileva le scale di grigio, e non deve presentare simmetrie che potrebbero creare confusione. Per questa ragione è stata preparata una tavola dall'estetica estrema, ricca di figure geometriche, colori con differenti gradi di trasparenza, foto, loghi e scritte.



MARMO+MAC

MEETS ACADEMIES 2024

CECI N'EST PAS UN FOSSILE

Curated by
prof. arch. Giuseppe Fallacara



THE HOLOLENS EXPERIENCE

DESIGNER

prof. arch. Giuseppe Fallacara

COLLABORATORS

arch. Dario Costantino,
Vincenzo Di Bari, Nicola Lacalamita,
Stefania Laterza, Maria Giovana Pansini,
Luca Ranieri

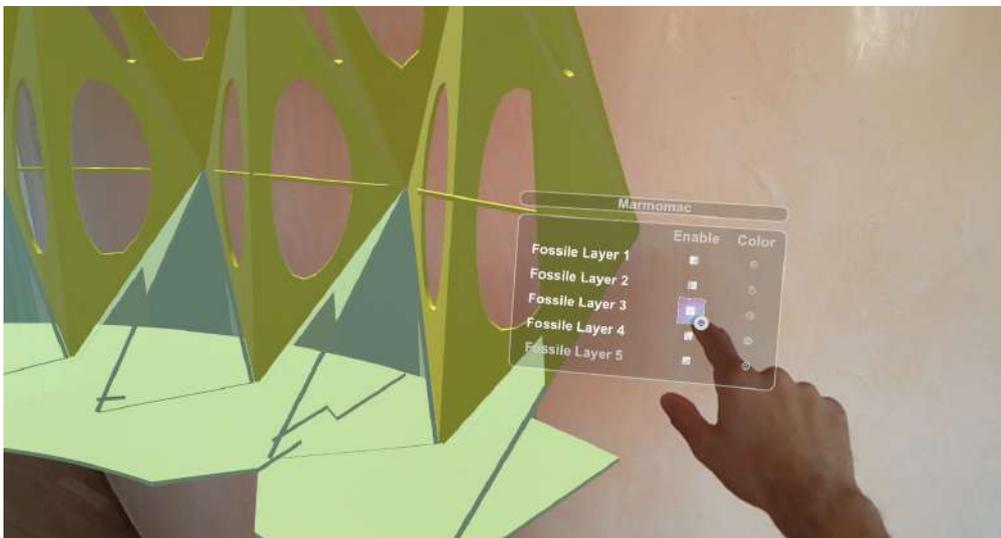
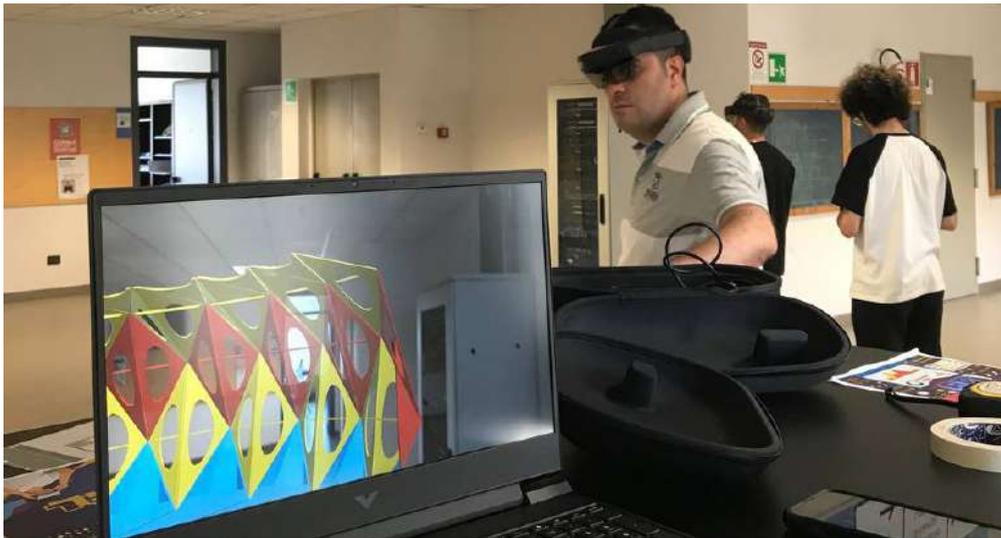
ACADEMIC INSTITUTIONS

Polytechnic of Bari, VR3Lab

AUGMENTED REALITY APPLICATION

prof. ing. Antonio Uva
ing. Michele Gattullo
ing. Enricoandrea Laviola





5.7.2. *La verifica sul campo*

Assemblare il “fossile” ha richiesto due giorni di lavoro, durante i quali HoloLens è stato utilizzato a turno da quattro dei partecipanti all’allestimento, tutti giovani di età compresa tra i 24 e i 30 anni, laureati in architettura e con diversi livelli di familiarità con l’uso di tecnologie di estensione della realtà. Questa scelta è stata fatta per mettere alla prova l’applicazione e verificarne l’effettiva utilità.

Si può asserire che l’utilizzo della realtà aumentata è stato estremamente utile soprattutto nella fase iniziale, ossia quella di collocamento nello spazio del padiglione. Senza questa tecnologia, infatti, comprendere come posizionare la spirale avrebbe richiesto un ingente quantitativo di tempo, in cui si sarebbe dovuto ricorrere a metodi di misurazione, strumenti tradizionali e continui confronti con le istruzioni e col modello 3D – a disposizione su un computer presente in loco. Una procedura farraginoso, diuturna e non esente da eventuali errori. Tutto ciò è stato evitato facendo ricorso a due collaboratori: mentre uno indossava il visore e osservava l’area di lavoro, l’altro spostava il target – e quindi il modello virtuale nello spazio – seguendo le indicazioni forniteli. Una volta scelta la disposizione, si è seguita la stessa procedura per posizionare alcuni pezzi della base in corrispondenza della loro versione virtuale, fissando così i punti di riferimento per le operazioni successive. Anche il target, completata questa fase, è stato fissato al suolo con dello scotch per evitare che potesse essere spostato inavvertitamente nel corso del lavoro. Tutto è stato svolto nell’arco di pochi minuti.

Da questo momento in poi HoloLens è stato usato in modo discontinuo per verificare che tutto stesse procedendo in modo corretto, seguendo, come scritto precedentemente, le indicazioni di colui che adoperava lo strumento di volta in volta e che tendeva a mantenersi fermo e a distanza dall’oggetto. Nel corso dell’esperienza, però, non sempre la comunicazione a distanza è risultata efficace per chi doveva assemblare concretamente il prototipo e quindi è spesso stato necessario muoversi indossando HoloLens, aiutando manualmente a disporre i pezzi. Questa operazione, nonostante i rischi legati a problemi di visualizzazione – il campo visivo, per esempio, si è rivelato estremamente limitato – e instabilità, è andata a buon fine senza particolari problematiche da rilevare.

Figg. 109-112 (alla pagina precedente).
Test preliminari dell’applicazione di realtà aumentata realizzata dal VR3Lab.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 5. L'esperienza diretta

Nonostante il target non fosse stato mai spostato, nel mezzo delle operazioni il modello virtuale ha subito uno spostamento imprevisto, che ha minato l'efficacia della strumentazione nelle fasi a seguire e che ha costretto il sottoscritto a ricollocare il target e a tentare di posizionarlo procedendo per tentativi. Ciò ha portato a un dispendio di tempo imprevisto che ha reso impossibile seguire adeguatamente le fasi di montaggio e durante il quale si è verificata una divergenza tra modello virtuale e modello reale. Questo problema ha condizionato tutto il successivo svolgersi del lavoro, perché anche dopo essere riusciti a riposizionare correttamente il modello virtuale, si erano sommate una serie di imprecisioni nella versione reale che hanno reso impossibile una totale sovrapposizione. Questo cambiamento nelle condizioni al contorno ha costretto a un ripensamento nelle modalità di utilizzo di HoloLens, che è stato sfruttato non più con l'idea di avere un'aderenza perfetta con l'opera concreta ma un riferimento per le giaciture, che, seppur leggermente traslate, erano comunque riconducibili al modello in realtà aumentata.

Figg. 113-117.
assemblaggio di
alcune porzioni del
"fossile" con l'ausilio
di HoloLens presso
il Padiglione 10 della
Fiera di Verona.





Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

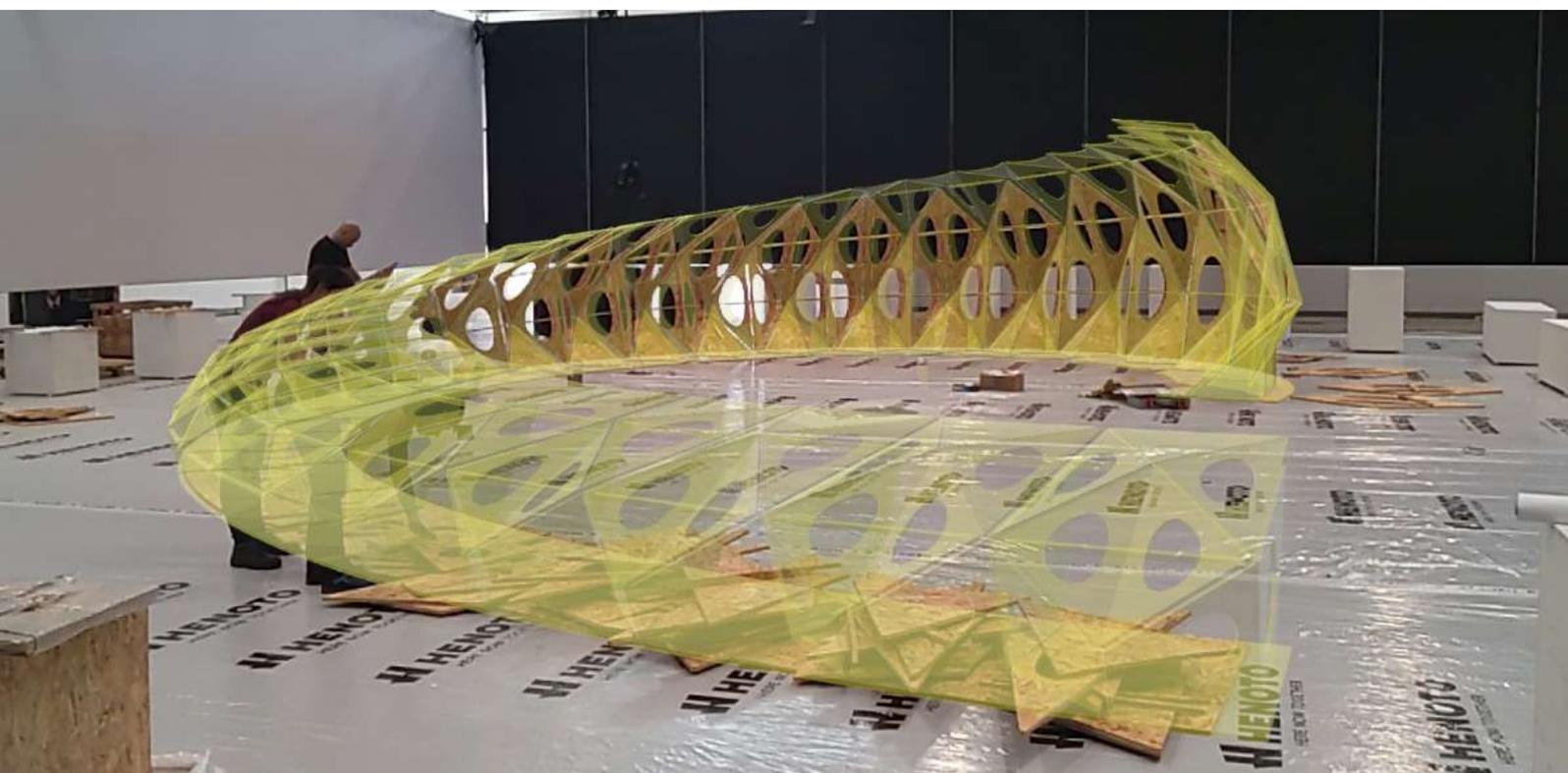
Cap. 5. L'esperienza diretta

5.7.3. Conclusioni e considerazioni

La sperimentazione ha messo in evidenza una serie di vantaggi e potenzialità che non possono essere minimizzate e che possono essere considerate un interessante punto di partenza per l'evoluzione futura del modo in cui viene concepita la pratica della costruzione architettonica. Infatti, il supporto tecnologico è stato di grande utilità durante l'intera fase iniziale, velocizzando notevolmente tutte le operazioni di posizionamento e assemblaggio della base della spirale, poiché colui che indossava il visore poteva indicare immediatamente ai collaboratori dove collocare i pezzi; inoltre ha fornito un riferimento costante che ha permesso di avere più consapevolezza del lavoro anche nelle fasi seguenti, tenendo costantemente sotto controllo ingombri e giaciture dei pannelli. La possibilità di avere a disposizione l'intera opera ha, inoltre, consentito un cambiamento in itinere dell'organizzazione del lavoro, che non è stato vincolato a un andamento consequenziale, ma estremamente dinamico e flessibile, inserendo i componenti del padiglione talvolta in ordine sparso rispettando la traccia data da HoloLens.

Inoltre, l'utilizzo di questa tecnologia è stato accolto con grande entusiasmo da tutti i partecipanti, che si sono costantemente alternati nei test, fornendo feedback e controllando l'andamento della costruzione, a conferma di quanto emerso dallo studio dei principi della *gamification*. Ciò è emerso non solo dall'osservazione diretta, ma anche da un questionario elaborato in collaborazione con il gruppo VR3Lab, in

Figg. 118-119. Il padiglione in fase di assemblaggio visto con e senza l'ausilio di HoloLens.



Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

cui tutti i partecipanti hanno valutato positivamente l'applicazione utilizzata – sia per quanto riguarda la facilità di utilizzo, sia in merito all'interfaccia in generale – e hanno dichiarato che avrebbero usato ancora l'applicazione di realtà aumentata.

Certo, come scritto precedentemente, la sperimentazione non è stata esente da difetti e carenze, soprattutto in termini di affidabilità della tecnologia, che sembra gestire con difficoltà modelli molto grandi, che non possono essere totalmente inquadrati dal visore e che risultano poco stabili. L'utilità dell'AR viene di conseguenza ridimensionata a vantaggio di un approccio misto, in cui ancora una volta, come sostenuto durante tutta questa tesi di dottorato, la tecnologia diventa a tutti gli effetti un supporto all'architetto e non un suo sostituto. A prescindere dalla natura degli errori – legati o a uno scorretto utilizzo del mezzo oppure agli attuali limiti tecnologici – le difficoltà affrontate nel corso del montaggio sono andate parzialmente contro uno dei principi cardine per il quale era stato impiegato HoloLens, cioè la velocizzazione delle operazioni di costruzione, rischiando di condizionare negativamente l'intero lavoro.

Nonostante ciò, in conclusione, l'esito della sperimentazione può essere considerato positivo e promettente e pone le basi per un ragionamento architettonico “aumentato” sul tema della costruzione di strutture grandi e complesse, ridefinendo il rapporto uomo-macchina, reale-virtuale, progettazione-costruzione.



Capitolo 6

Altre esperienze

Le esperienze di seguito descritte consistono in sperimentazioni più brevi, considerate “secondarie” perché sono servite allo scrivente ad affinare il proprio livello di padronanza delle differenti tecnologie o effettuare specifiche riflessioni piuttosto che portare a un vero e proprio avanzamento nella ricerca.

6.1. Stereotomic Design Holograms: l'AR per la divulgazione scientifica¹²²

La seguente esperienza è stata il primo approccio pratico alla tecnologia olografica effettuato dallo scrivente e ha rappresentato un importante momento di confronto critico con lo strumento più che un tentativo di avanzamento scientifico. L'obiettivo era comprenderne funzionamento, potenzialità e limiti, ed è consistita nel progettare e costruire una piramide olografica a partire da zero, per arrivare a verificarne l'efficacia soprattutto in termini divulgativi. Come si è visto, infatti, la portata in termini didattici delle tecnologie di estensione della realtà è estremamente promettente ed era interessante cominciare a verificare questo aspetto attraverso dei primi test con utenti estranei al settore dell'architettura e delle tecnologie immersive. Nel 2022 il Marmomac di Verona – Mostra dei Marmi e delle Macchine – ha fornito l'occasione per una prova sul campo.

6.1.1. Il contesto

Nel corso degli anni l'esigenza di diffondere i risultati raggiunti all'interno dei propri filoni di ricerca ha portato la facoltà di Architettura del Politecnico di Bari – oggi Dipartimento di Architettura, Costruzione e Design – a individuare nel Marmomac uno dei suoi più importanti punti di riferimento. Il Marmomac è, infatti, non solo la fiera più importante a livello internazionale per quanto riguarda

¹²² Fallacara, G., Barberio, M., Costantino, D., Cavaliere, I., Graziano, A. V., *Stereotomic Design Holograms*, in Fallacara, G., Potenza, D., *Marmomac Meets Academies. Italia da scoprire*, dossier allegato alla rivista scientifica MD Journal, 2022, pp. 76-85.

i materiali lapidei, ma anche un luogo di forte valenza culturale: se inizialmente l'evento era rivolto prettamente al commercio, a partire dal 1985, grazie all'impegno e alle idee di Vincenzo Pavan, suo instancabile curatore, la fiera si è trasformata in un vero e proprio evento divulgativo accompagnato da conferenze, premi e mostre. Il sodalizio tra scuola barese e Marmomac, pur sussistendo già a partire dagli anni '90, si è particolarmente vivacizzato nel 2000, anno che segna, contemporaneamente all'istituzione del dottorato di ricerca a Bari, l'inizio della presentazione sistematica dei frutti delle ricerche dei dottorandi, i cui percorsi si focalizzavano su tre macro-tematiche: il rapporto con la storia; la stereotomia e la "smaterializzazione" della pietra^{123, 124}. Nel 2022, proprio in occasione del Marmomac e, in particolare, nell'ambito del Marmomac Meets Academies – porzione della fiera interamente dedicata alla ricerca e all'esposizione di prototipi sviluppati da università nazionali e internazionali – è stato possibile presentare Stereotomic Design Holograms come testimonianza tangibile dell'influenza che le esperienze di realtà estesa stanno generando nel campo creativo dell'architettura e del design.

6.1.2. Il progetto

Stereotomic Design Holograms è uno strumento che, avvalendosi della tecnologia olografica, permette di fruire di una simulazione dinamica e tridimensionale di alcuni progetti architettonici. Questo tipo di visualizzazione non necessita di ausili esterni come visori o smartphone, perché si tratta di una piramide rovesciata di materiale trasparente dotata di una struttura di supporto lignea e appoggiata su uno schermo. Su quest'ultimo vengono trasmessi quattro video identici disposti in modo radiale, in maniera che ognuno sia posizionato in corrispondenza di una

¹²³ Cavaliere, I., Costantino, D., *Verso un nuovo lessico dell'architettura litica. Il sodalizio ventennale tra Marmomac e Politecnico di Bari*, in Fallacara, G., Girasante, G., *Marmomac Meets Academies*, dossier allegato a MD Journal, 2021, pp. 24-33.

¹²⁴ Pavan, V., *La scuola di Bari e il Marmomac*, in Fallacara, G., Restucci, A., *Claudio D'Amato Guerrieri e la "scuola barese" di architettura. A trent'anni dell'istituzione del Politecnico di Bari e della Facoltà di Architettura*, Roma, Gangemi Editore, 2020, pp. 105-110.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

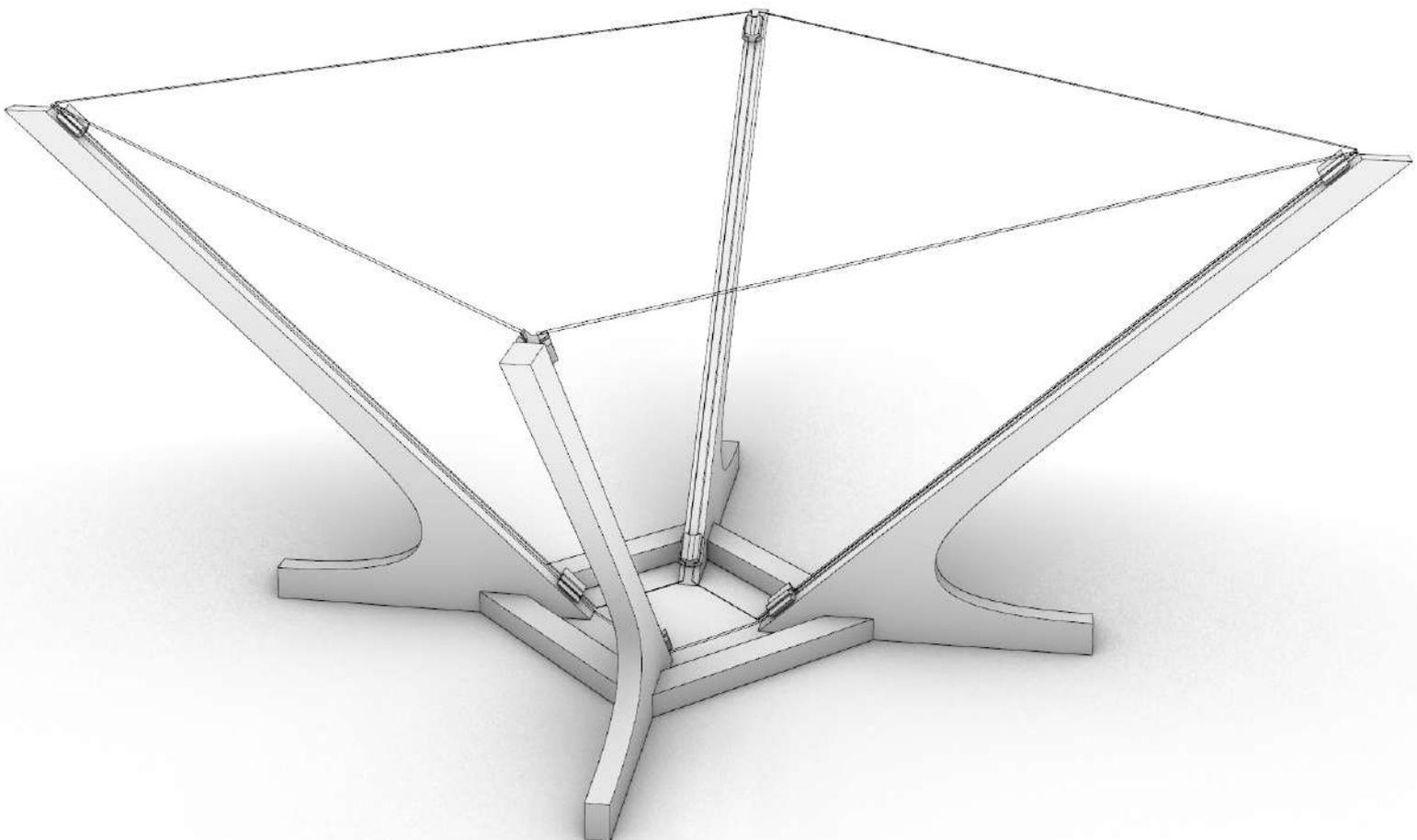
Cap. 6. Altre esperienze

delle facce trasparenti, che, riflettendo i raggi luminosi, permettono la generazione dell'ologramma al centro della piramide.

Questa tecnologia apparentemente innovativa ha, in realtà, origini antiche, come si è visto nella sezione di questa tesi dedicata alla storia della realtà estesa – le prime applicazioni risalgono agli inizi del 1700 in ambito teatrale¹²⁵ col fantasma di Pepper – e sempre più spesso viene utilizzata in contesti pubblici come musei e parchi tematici per effettuare operazioni di comunicazione e intrattenimento sfruttando il senso di stupore che riesce a generare nei fruitori.

Fig. 120. Il modello 3D della piramide olografica.

¹²⁵ Conner, T., *Pepper's Ghost and the augmented reality of modernity*, in *Journal of Science & Popular Culture*, vol. 3, issue 1, 2020, pp. 57-79.



6.1.3. Il metodo

Il processo di progettazione e costruzione del proiettore olografico si è diviso in tre parti: la prima di progettazione, la seconda di costruzione e la terza di elaborazione del materiale video.

La fase di progettazione e dimensionamento del proiettore è stata sviluppata tenendo conto delle dimensioni della base di appoggio che sarebbe stata fornita durante il Marmomac, ovvero uno schermo da 86 pollici e formato 16:9 delle dimensioni di 107 cm x 190 cm. Per sfruttare al massimo queste misure, si è scelto di progettare la piramide trasparente con la base maggiore esattamente di 105 cm – 2 cm in meno rispetto allo schermo per avere un margine di sicurezza –, mentre tutte le altre misure sono state la conseguenza della disposizione delle facce trasparenti su piani inclinati a 45°, che ha portato i lati obliqui a raggiungere un'altezza di circa 64 cm.

Per sorreggere la piramide si è pensato di progettare quattro bracci radiali alti 46 cm, piatti sul lato dove si sarebbero poggiate le facce e curvilinei sull'altro lato, per collegare in modo esteticamente gradevole la parte inclinata con quella orizzontale, che avrebbe funto da base di appoggio a contatto con lo schermo. Il telaio ligneo è stato pensato con un sistema di incastri: per facilitare il montaggio dello scheletro senza il necessario ausilio di altri strumenti o accorgimenti, si è pensato di dotare ogni elemento orizzontale di una rientranza che avrebbe permesso l'incastro con gli angoli di una piccola cornice quadrata centrale. Infine sono stati modellati dodici elementi di supporto angolare, dotati di binari laterali che avrebbero permesso lo scorrimento dei fogli di plexiglass e la loro corretta disposizione senza che fosse necessaria alcuna operazione di incollaggio. Una volta elaborato il progetto esecutivo si è proceduto con la costruzione del prototipo presso il FabLab Poliba, in collaborazione con gli architetti Ilaria Cavaliere e Angelo Vito Graziano.

Ci si è avvalsi di tre tecnologie: la fresatura, il taglio laser e la stampa 3D.

La prima è stata utilizzata per tagliare dei pannelli di compensato di pioppo di 200 cm × 100 cm × 3 cm, dai quali sono stati ricavati tutti gli elementi dello scheletro che poi sono stati dipinti di nero; la seconda tecnologia è stata utilizzata per tagliare i fogli di plexiglass di 100 cm

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

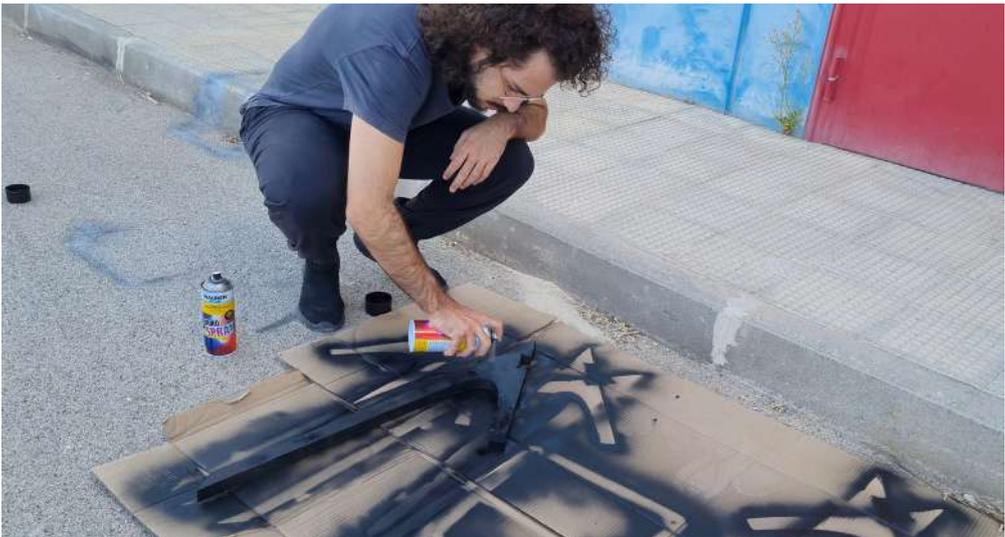
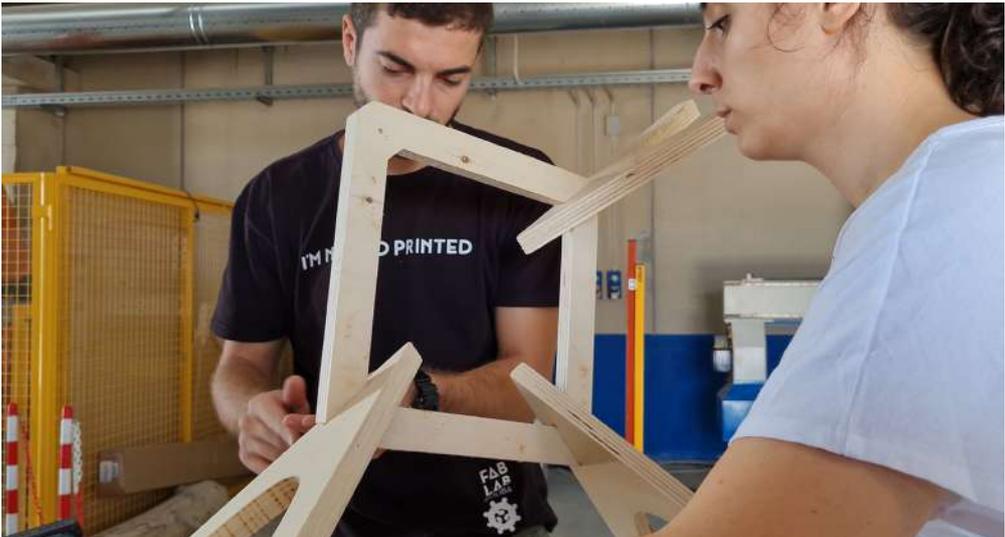
Cap. 6. Altre esperienze

× 70 cm × 0,3 cm – era necessario che il plexiglass non fosse né così sottile da non restare rigido, né così spesso da generare fenomeni di rifrazione che avrebbero minato la qualità dell'ologramma – e ricavare le facce della piramide; la stampa 3D di PLA è stata usata per i supporti plastici al cui interno far scorrere le facce della piramide. Questi ultimi sono stati gli unici pezzi avvitati ai bracci lignei, mentre tutto il resto è stato gestito attraverso un sistema di incastri che avrebbe facilitato le operazioni di montaggio e smontaggio in vista del trasporto alla fiera di Verona.

Per quanto riguarda la componente video, questa è stata sviluppata in collaborazione con l'architetto Maurizio Barberio e la programmatrice Roberta Patella. Maurizio Barberio ha fornito i progetti elaborati dai suoi studenti del corso di Progettazione Stereotomica del Politecnico di Bari dell'anno accademico 2021-2022, durante il quale sono state sviluppate una serie di coperture ombreggianti, pensate per essere inserite in contesti urbani e paesaggistici di pregio come piazze, parchi urbani e waterfront. Agli studenti era stata posta la sfida di tradurre le strategie di progettazione esplorativa parametrico-computazionale apprese a lezione – come il *form-finding* o le tecniche di tassellazione avanzata – in architetture urbane vere e proprie, che potessero essere utilizzate dai cittadini sia durante l'inverno che durante la stagione estiva. I modelli sono stati renderizzati con un materiale bianco, affinché spiccassero sullo sfondo nero e sono stati dotati di un semplice movimento rotatorio che permettesse di averne una visione complessiva.

Roberta Patella ha lavorato nell'ambito della comunicazione del progetto, sfruttando le sue competenze per animare il modello 3D di una sorta di robot-mascotte che sarebbe comparso all'interno della piramide per presentare il lavoro e guidare criticamente gli osservatori all'interno delle opere mostrate. Il personaggio in questione, a cui il sottoscritto ha prestato la voce, è stato scelto allo scopo di potenziare l'effetto sorpresa sugli spettatori e rendere l'esperienza apparentemente più ludica e leggera. Tutto questo materiale, come anticipato nell'introduzione, è stato montato all'interno di un unico video moltiplicato radialmente quattro volte.

Figg. 121-124 (alla pagina seguente).
Alcune fasi di montaggio di
Stereotomic Design Holograms presso il FabLab Poliba.



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 6. Altre esperienze



Figg. 125-126. Alcuni scatti di *Stereotomic Design Holograms* dal Marmomac di Verona del 2022.



6.1.4. Conclusioni e considerazioni

L'uso degli ologrammi, nonostante l'età della tecnologia, si conferma un metodo divulgativo di forte impatto, in grado di catalizzare l'attenzione dei fruitori attraverso un'estetica apparentemente futuristica e il loro essere fuori dall'ordinario. Anche in questo caso, come per la realtà virtuale, il senso di stupore tende a potenziare gli effetti dello strumento, che, però, si rivela di fatto datato e complesso nella realizzazione. Nonostante, infatti, l'esito sostanzialmente positivo dell'esperienza, la necessità di molto spazio, di schermi per i video e tende per ottenere le giuste condizioni di luce, rende estremamente farraginoso il processo di spostamento e montaggio del materiale, disincentivando il ricorso alla piramide olografica, oggi sostituibile con gli HoloLens, che, come si è visto, portano gli ologrammi a un nuovo livello di fruizione.

Ricapitolando, quindi: si può asserire che la piramide olografica è un mezzo efficace per le operazioni di divulgazione grazie alla sua capacità di generare sensazioni di stupore, e che cattura pienamente l'attenzione degli uditori – in linea con i principi della gamification e della teoria dei pungoli. Inoltre il suo potenziale è amplificato sia dal fatto che non sono necessari dispositivi esterni sia dalla possibilità che dà ai fruitori di sfruttarla in modo rapido e senza vincoli particolari legati, per esempio, alla presenza di cavi o a un limite numerico di utenti in contemporanea. Di contro, però, non si deve sottovalutare la necessità di lunghe tempistiche di preparazione e costruzione, un trasporto impegnativo, il bisogno di ottenere specifiche condizioni illuminazione per permettere agli ologrammi di risaltare. Inoltre il plexiglass deve essere cristallino e non deve subire deformazioni che potrebbero alterare la qualità degli ologrammi e sono necessari uno o più schermi – a seconda delle dimensioni della piramide e dell'effetto che si vuole ottenere – che potrebbero incidere notevolmente sui costi e sulle tempistiche di montaggio.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 6. Altre esperienze

6.2. La ricerca dello spazio

Il giorno 9 maggio 2023 il professor Franco Purini ha inaugurato presso l'università di Matera la mostra *La ricerca dello spazio*. Per questa occasione, durante la quale sono stati esposti una serie di suoi disegni inediti – raccolti nell'omonimo catalogo –, è stato chiesto allo scrivente di utilizzare la realtà virtuale per “realizzare” uno dei disegni esposti. Da questa richiesta è scaturita una riflessione scritta – realizzata insieme all'architetta Ilaria Cavaliere – raccolta nel catalogo ufficiale della mostra. Il contributo in questione è riportato di seguito.

6.2.1. Un'esperienza di virtualizzazione degli spazi disegnati da Franco Purini

Il presente contributo è stato scritto allo scopo di riassumere brevemente un'esperienza di trasposizione di due dei disegni del professor Franco Purini in ambienti tridimensionali fruibili in maniera immersiva tramite un visore di realtà virtuale. Nello specifico, si tratta del disegno 05 della sezione del catalogo dedicata allo *Spazio Assoluto* e del disegno 01 della sezione dedicata allo *Spazio Fenomenico*. La possibilità di esplorare uno spazio non (ancora) esistente rappresenta la via che la contemporaneità ha fornito ad architetti e creativi di interagire con una sfera percettiva che va ben oltre la vista e l'eventuale appagamento estetico, consentendo un coinvolgimento globale dell'individuo, che può affrontare il progetto come un'esperienza percettiva. Come specificato dallo stesso Purini, «lo spazio assoluto si identifica nel vuoto circondato da un involucro», mentre «lo spazio fenomenico si identifica in un certo numero di spazi contenuti in uno spazio più grande». Dunque, si tratta di due realtà diametralmente opposte, che producono anche sensazioni e percezioni del tutto differenti se concretamente esplorate, ed è proprio sul concetto di *percezione* che questo lavoro si è focalizzato: osservare un ambiente attraverso un disegno significa costringere l'individuo a sforzare la propria capacità astrattiva e non sempre si può essere certi che questa sia sufficientemente allenata da garantire una reale comprensione dell'architettura; attraversare un luogo, invece, è molto diverso. Ovviamente il valore artistico ed esplicativo del disegno è indiscutibile, così come è innegabile che esso sia caratterizzato da una forza espressiva ineguagliabile – data dalla mano dell'architetto che

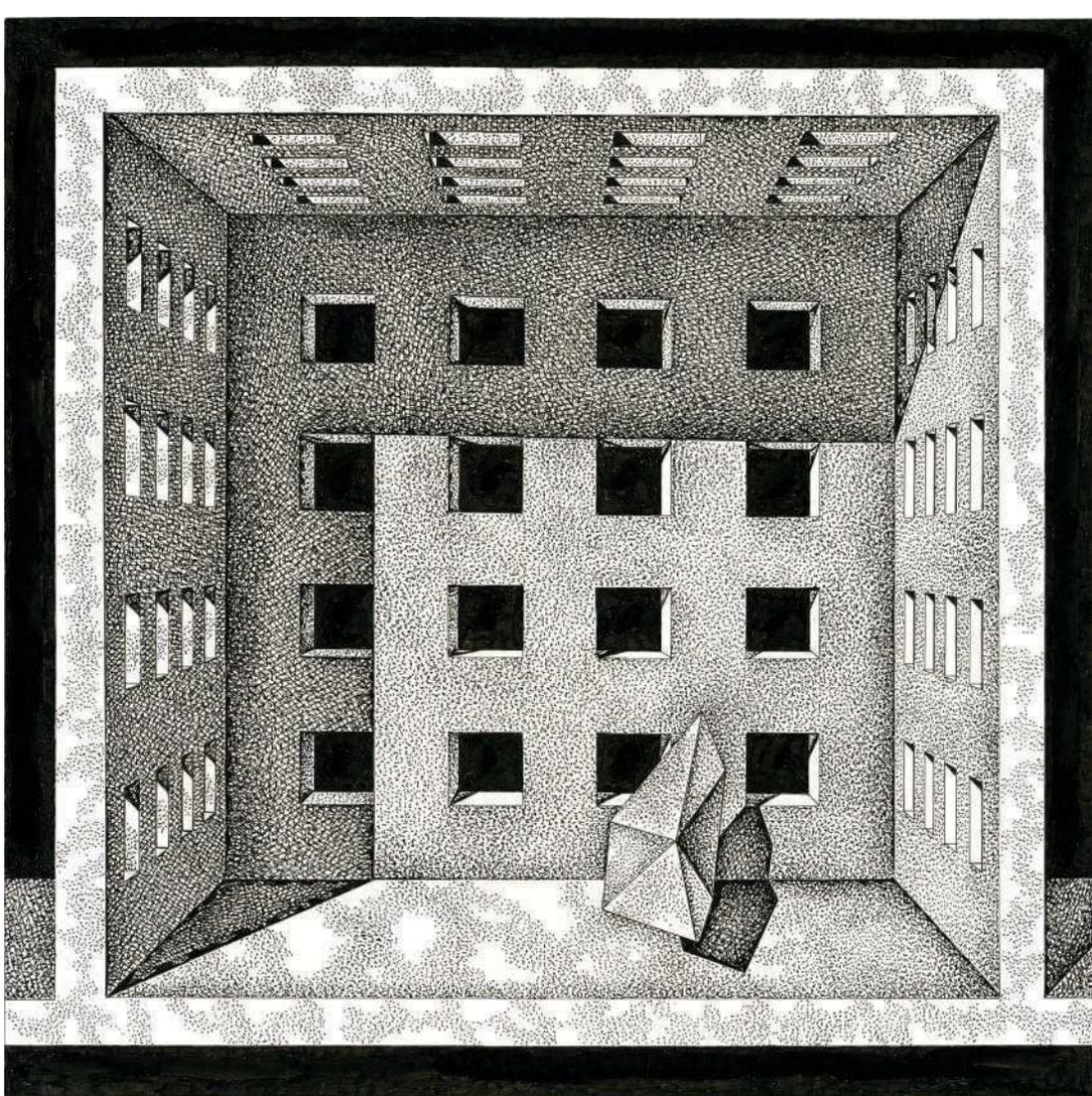
traccia i segni in modo del tutto personale –, ma queste considerazioni non sono in contraddizione col voler valorizzare anche i mezzi che la contemporaneità continua a fornirci e, in particolar modo, la modellazione 3D, la quale non solo aiuta a comprendere la spazialità in modo più immediato, ma anche prendendo in considerazione aspetti che non sempre possono emergere da rappresentazioni bidimensionali: le alterazioni spaziali ed estetiche che l'architettura subisce in funzione dei cambiamenti del suo rapporto con la luce ne sono un limpido esempio. Come ha affermato lo stesso Professore durante una *lectio* organizzata online dal Politecnico di Bari il 10 marzo 2021, «la luce è straordinaria perché accende un'architettura, un edificio, sia dall'esterno che dall'interno di vibrazioni straordinarie, altera le dimensioni dello spazio con i suoi effetti, genera ombre, chiaroscuri [...]».

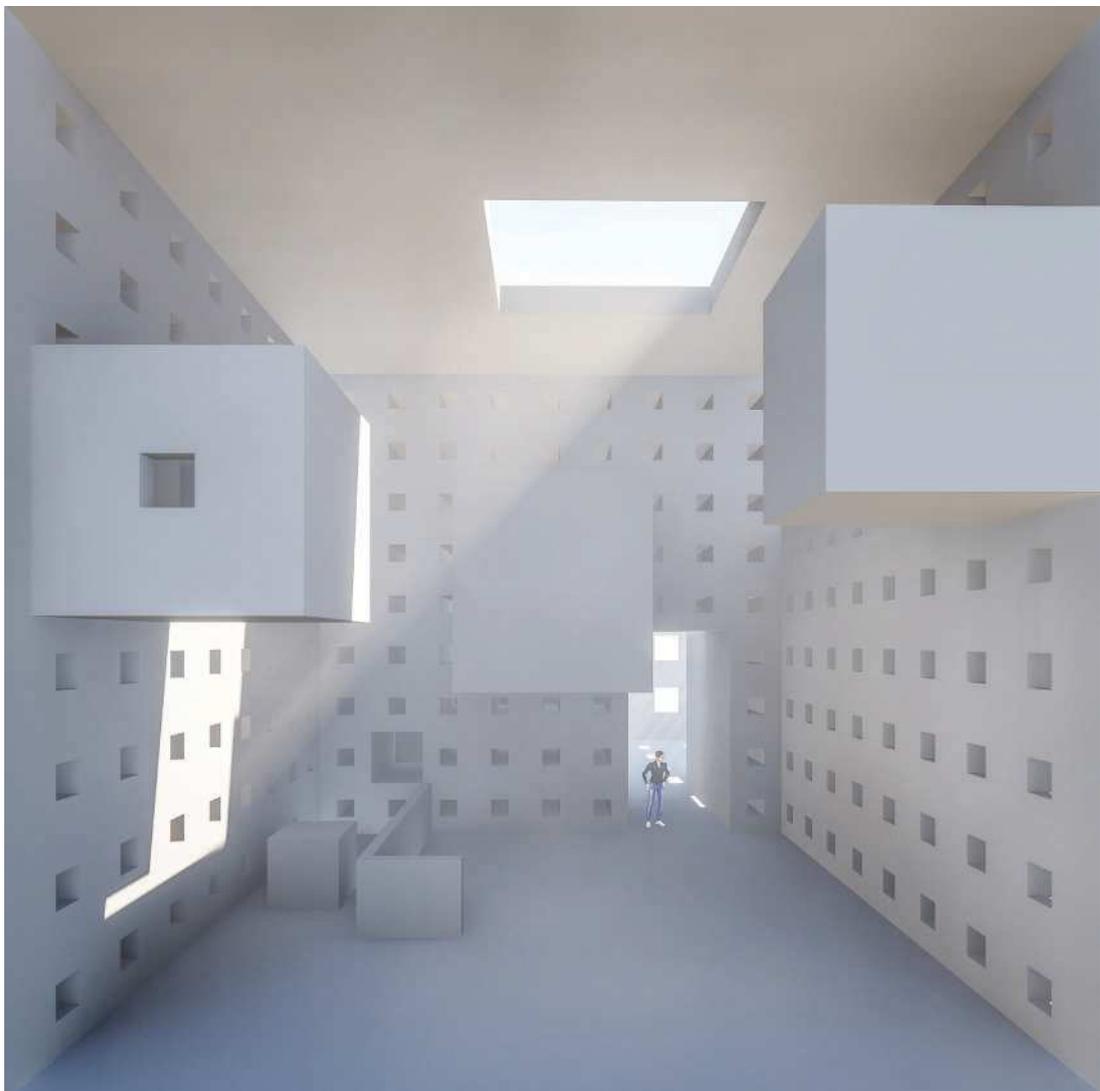
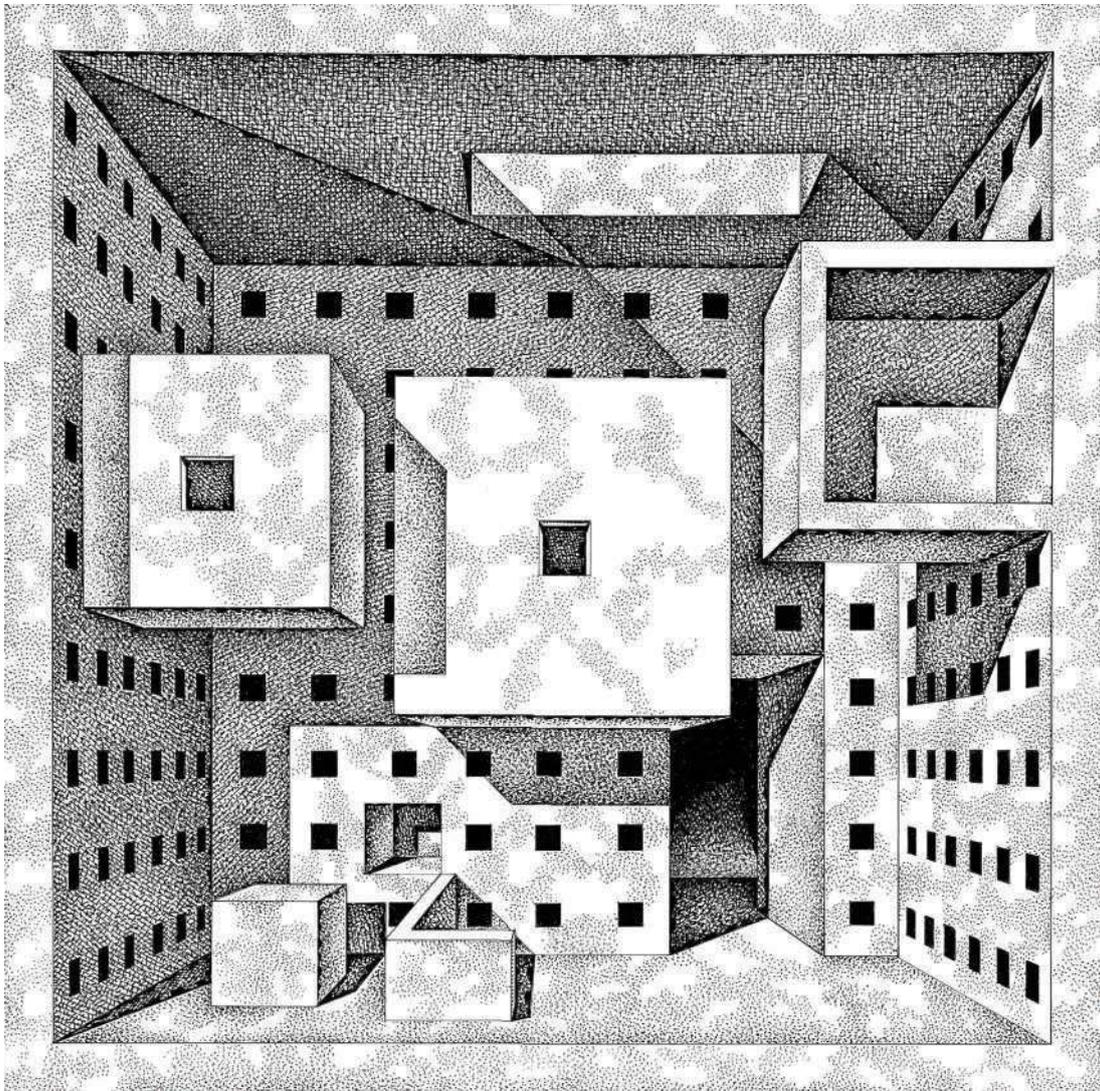
Per questa ragione, oltre a voler offrire una modalità nuova di fruizione degli spazi, si è cercato proprio di giocare con la luce, sfruttando strategicamente le bucatore quadrate disposte a griglia lungo tutte le pareti e che accomunano entrambi i disegni scelti. Dopo aver modellato i due ambienti, è stato programmato un eseguibile VR e si è scelto di assegnare loro un materiale monocromatico bianco che non distraesse l'osservatore dalla conformazione severa delle spazialità e dalla luce che filtra all'interno. Si è scelto di sfruttare il portale visibile nell'illustrazione 01 dello *Spazio Fenomenico* per mettere in collegamento le due “stanze”, in modo da ottenere un'unica esperienza immersiva in cui l'osservatore può passare dalla fruizione dello spazio fenomenico a quella dello spazio assoluto. Per quanto riguarda quest'ultimo, il sasso, sospeso al centro dell'ambiente del disegno 05, è stato l'unico oggetto a cui è stato attribuito un materiale lapideo, che si distacca nettamente dal bianco dell'architettura. Inoltre, è stato dotato di un lieve movimento rotatorio, volto a spezzare almeno in parte la staticità e la rigidità delle forme pure del contesto. Questo dettaglio è stato ispirato dal celebre quadro di René Magritte intitolato *Il Castello dei Pirenei*, in cui è raffigurata un'enorme roccia granitica sospesa nel vuoto, che rievoca una “matericità” litica che diventa eterea e galleggiante¹²⁶.

¹²⁶ Cavaliere, I., Costantino, D., *Un'esperienza di virtualizzazione degli spazi disegnati da Franco Purini*, in Fallacara, G., Occhinegro, U. (a cura di), *Franco Purini. La ricerca dello spazio*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 76-81.

Figg. 127-130 (alle pagine seguenti).

Confronto tra i disegni di riferimento di Franco Purini e gli eseguibili di realtà virtuale ottenuti a partire da essi.





Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 6. Altre esperienze

6.2.2. Conclusioni e considerazioni

Il connubio tra realtà virtuale e architettura descritto in questo contributo è molto particolare, perché l'architettura da virtualizzare è totalmente astratta, in quanto legata a una visione artistica piuttosto che concreta. Ciò comporta uno sforzo creativo diverso, privo del supporto di informazioni, ad esempio, sui materiali, che potrebbero a loro volta influenzare dimensioni e geometrie; tutto è lasciato in sospeso e l'architettura diventa lo strumento tramite cui generare una sensazione, creare un'atmosfera o mandare un messaggio non verbale. La realtà virtuale, quindi, si fa tramite di un processo complesso che si inserisce nell'ambito della psicologia architettonica, impossibile da ottenere mediante qualunque altro mezzo non immersivo, a conferma del fatto che gli architetti contemporanei possono trovare nella realtà estesa una via per anticipare il reale, ragionare sulle forme in totale libertà e concentrarsi sull'aspetto percettivo della geometria e sul rapporto che quest'ultima ha con l'essere umano.



Figg. 131-134. Franco Purini prova gli eseguibili di realtà virtuale ispirati ai suoi disegni durante la mostra *La ricerca dello spazio*.

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)

Curriculum: Costruzione



Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 6. Altre esperienze

6.3. Stereotomy 4.0: sperimentazioni litiche sostenibili per il futuro delle costruzioni

Nell'ambito del percorso di tesi dal titolo *Stereotomy 4.0: sperimentazioni litiche sostenibili per il futuro delle costruzioni*, supervisionato dal professor Giuseppe Fallacara nell'anno accademico 2023-2024, i laureandi Andrea Sgherza, Giuseppe Tota, Sara D'Adamo, Clara Rosa Romano e Clelia Santovito si sono cimentati nella progettazione di una cupola stereotomica di grandi dimensioni ispirata alla Cupola Di Buckminster Fuller. La tesi in questione è stata sviluppata sfruttando diverse tecnologie tra cui proprio l'intelligenza artificiale e la realtà aumentata. Questo ha permesso il coinvolgimento dello scrivente, che ha avuto modo di acquisire ulteriore esperienza nell'uso degli strumenti applicati all'architettura di cui si è scritto in questa tesi. Mentre, però, l'uso dell'IA ha ricalcato i pattern già analizzati all'interno della sezione dedicata alla didattica, impedendo un effettivo avanzamento della ricerca, l'implementazione della tecnologia di realtà aumentata ha permesso di cimentarsi con un modo nuovo di verificare lo spazio e di prototipare un elemento architettonico – nel caso specifico uno dei conci modulari da cui era composto lo spazio progettato dai tesisti.



Fig. 135. Simulazione in realtà aumentata del posizionamento di un singolo concio. Grazie alla figura umana, nel caso specifico il tesista Andrea Sgherza, è possibile intuirne la dimensione.

L'esperienza è stata di breve durata, ma ha comunque permesso di acquisire dimestichezza con la realtà aumentata, su cui ancora non si erano svolte esperienze considerevoli, e sul tema della prototipazione virtuale. Ciò che è stato fatto, infatti, è stato sviluppare due eseguibili di realtà aumentata per smartphone attraverso il software Meta Spark Studio. Il primo era incentrato su un singolo concio dell'architettura e permetteva di sfruttare la fotocamera del telefono per inquadrare un'area, rilevare un piano di appoggio e posizionarvi l'oggetto osservabile nelle sue reali dimensioni, texture e componenti. Il secondo eseguibile ricalcava il primo ma permetteva di osservare l'intera cupola, consentendo di osservarla sia dall'esterno che dall'interno, semplicemente muovendosi.



Fig. 136. Simulazione in realtà aumentata del posizionamento dell'intera cupola all'interno dell'atrio coperto del Politecnico di Bari.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 6. Altre esperienze

Il test ha consentito di arrivare a un punto della sperimentazione architettonica diversamente impossibile. Gli elementi della cupola sarebbero stati troppo grandi, complessi e pesanti perché fosse possibile costruirli concretamente tenendo conto dei tempi e delle risorse economiche disponibili nel contesto della tesi di laurea e, dunque, non c'era altro modo di acquisire piena consapevolezza dell'entità del progetto, soprattutto in termini dimensionali. Il modello virtuale ha rivelato corrette le aspettative e non sono state necessarie ulteriori modifiche se non di lieve portata – come il colore della texture –, ma ha comunque aperto una nuova strada verso la spiegazione più accurata del progetto, visibile non solo nel complesso, ma anche nel dettaglio. Infatti il concio non presentava solo l'involucro esterno, ma anche tutti i dettagli costruttivi legati al sistema di ancoraggio metallico, facilitando la comprensione del sistema di montaggio.

Per quanto riguarda l'impatto estetico, è stato sfruttato l'eseguibile del Giardino delle Vergini di cui si è parlato precedentemente ed è stata inserita la cupola al suo interno. La procedura, estremamente rapida e dal forte impatto estetico, ha ulteriormente confermato un vantaggio di cui si era già discusso nel capitolo dedicato alla cupola di Alberobello, ovvero l'estrema versatilità della tecnologia virtuale: uno stesso file può essere utilizzato più volte, con finalità diverse e in modo rapido.

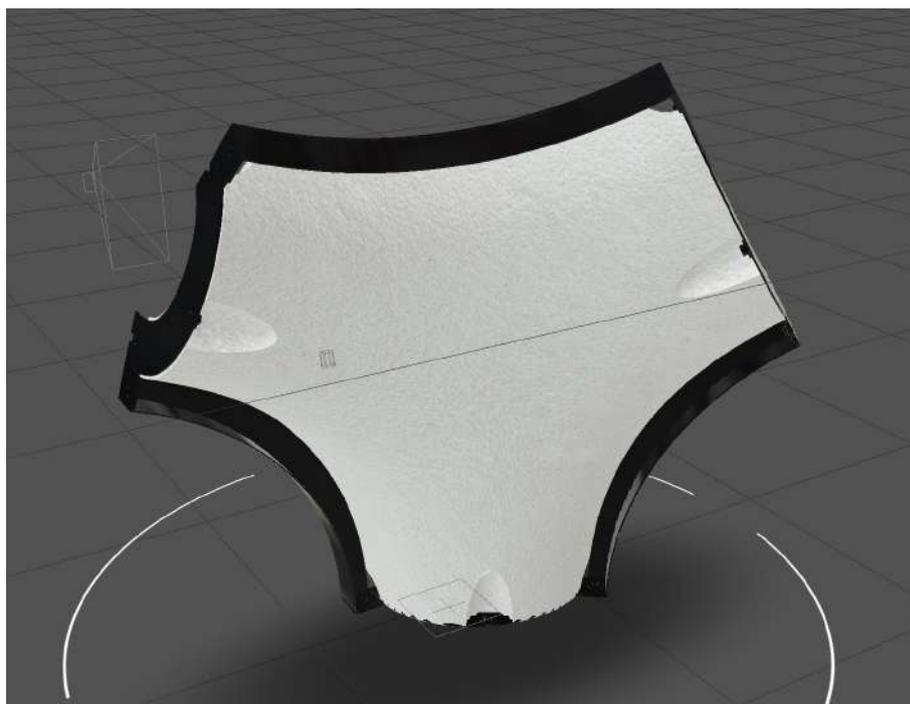


Fig. 137. Il modello 3D del concio all'interno dello spazio di lavoro di Meta Spark Studio.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design (ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

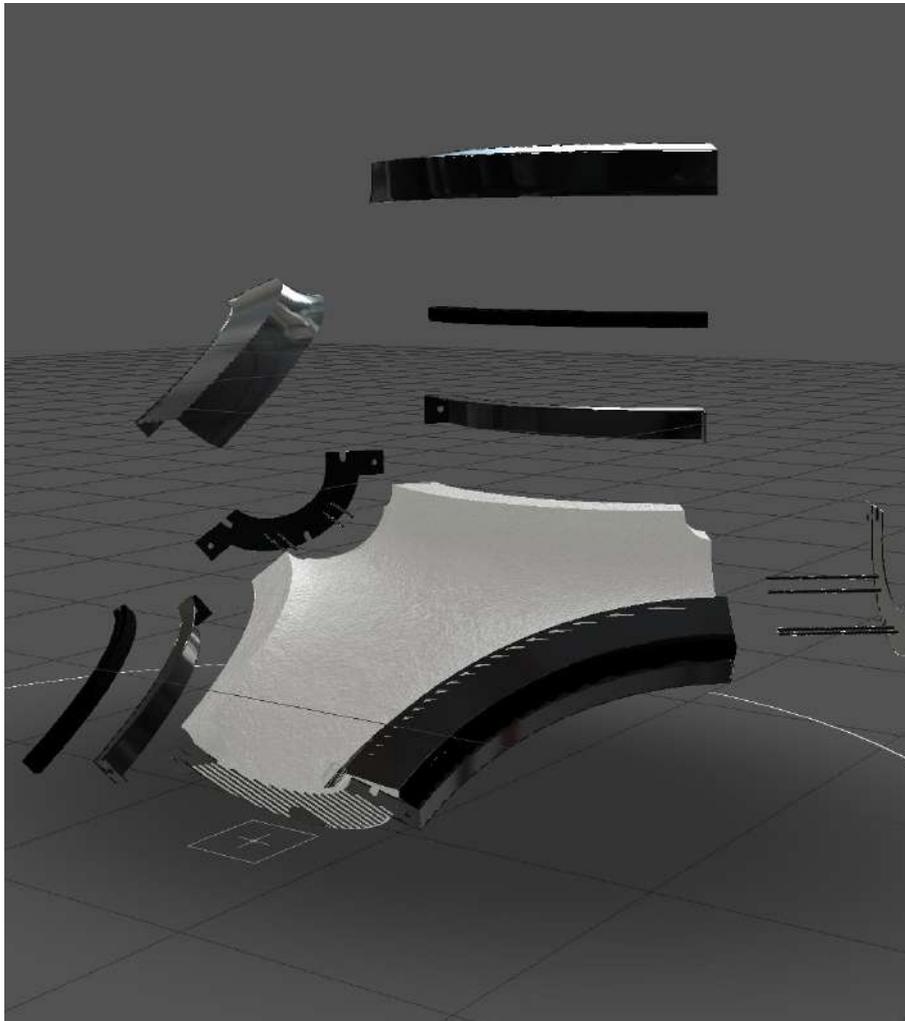
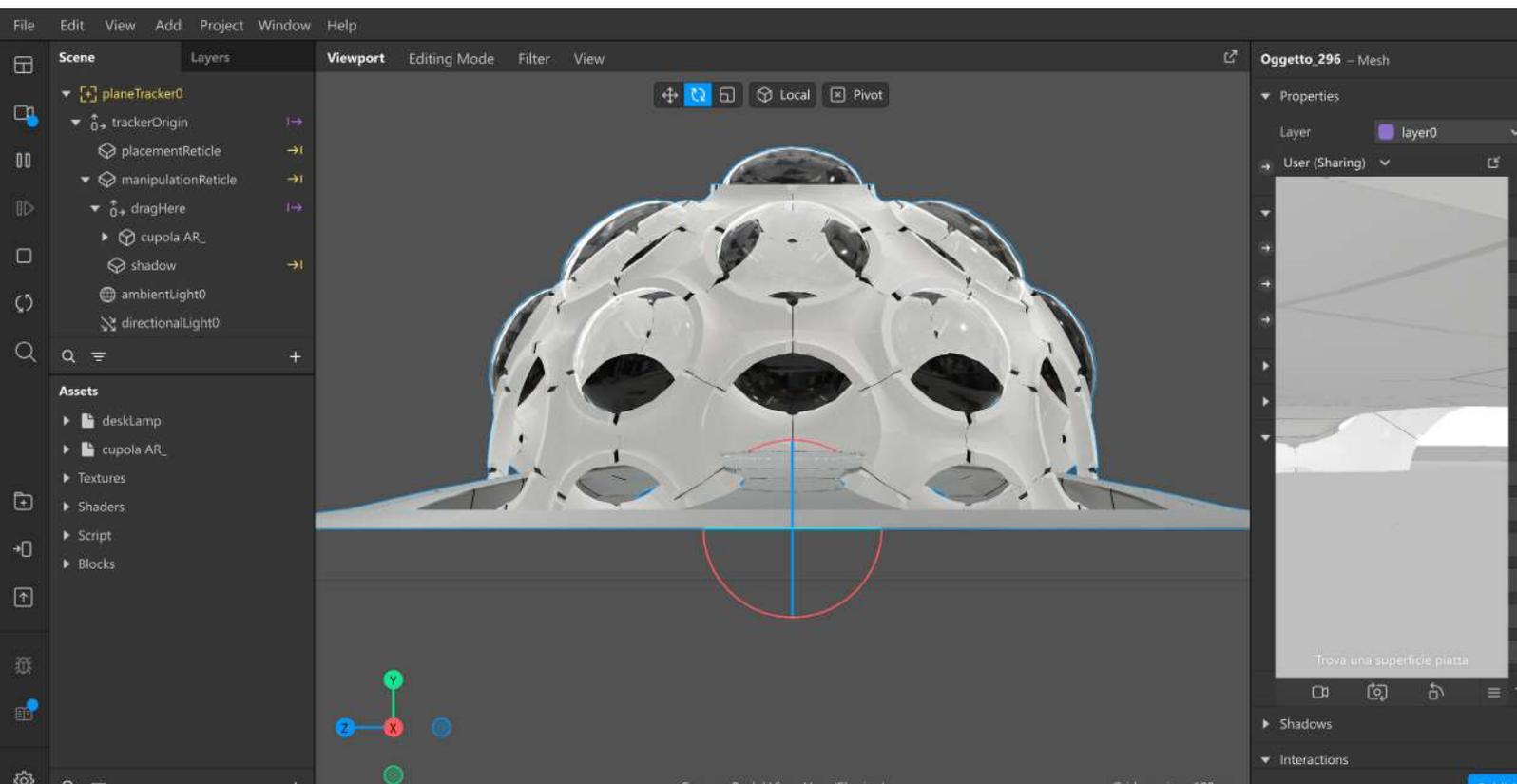


Fig. 138 (in alto). Il modello 3D dell'esploso del conico all'interno dello spazio di lavoro di Meta Spark Studio.

Fig. 139 (in basso). Il modello 3D della cupola all'interno dello spazio di lavoro di Meta Spark Studio.



6.4. Considerazioni su metaverso e progettazione immersiva

Come è emerso in queste pagine, il rapporto tra architettura e tecnologia è indubbiamente complesso e ciò è dovuto al suo essere contemporaneamente snodo pratico e teorico in cui si incontrano diversi campi del sapere, a volte molto distanti. Questa caratteristica intrinseca alla tematica affrontata costringe a un approccio dinamico, basato su un costante oscillare tra sperimentazioni pratiche e ricerche teoriche, tentando molteplici combinazioni di mezzi (realtà virtuale, realtà aumentata, intelligenza artificiale, ecc.) e argomenti (progettazione architettonica, restauro e valorizzazione, didattica, ecc.), col rischio di intraprendere strade che non portano a risultati interessanti – dove con “interessanti” si intendono “ancore” a cui aggrapparsi per affrontare e sviluppare argomenti sempre nuovi. Questo rischio si è concretizzato diverse volte in questi anni, perché spesso quello stesso entusiasmo che è la chiave per il successo degli strumenti contemporanei può rendere complesso prevedere a priori l’evolversi di alcuni aspetti. In altre parole, è capitato di impiegare il tempo della ricerca per svolgere delle esperienze che non hanno condotto a veri e propri successi, ma che sono state comunque importanti per lo sviluppo di ragionamenti sempre più consapevoli. Due tematiche che, ad esempio, pur essendo state affrontate, non hanno trovato spazio all’interno di questa tesi sono il metaverso¹²⁷ e la modellazione 3D in realtà virtuale.

Il 2022 è stato l’anno in cui è avvenuta l’esplosione mediatica del metaverso, situazione a cui ha notevolmente contribuito Mark Zuckerberg, amministratore delegato di Facebook, quando nel mese di ottobre dello stesso anno ha annunciato che la sua società avrebbe cambiato nome in Meta e che sarebbe diventata una «società

¹²⁷ Il termine metaverso è stato coniato dallo scrittore Neal Stephenson per descrivere un mondo virtuale 3D popolato da repliche umane digitali in cui viveva l’avatar del protagonista del romanzo *Snow Crash*, uscito nel 1992. Superando, quindi, il concetto di realtà estesa, il metaverso è una zona di convergenza di spazi virtuali interattivi a cui accedere mediante rappresentazioni digitali e in cui svolgere attività legate ad ambiti di varia natura (gaming, arte, marketing, didattica, ecc...). (Treccani: <https://www.treccani.it/enciclopedia/metaverso/>)

del metaverso»¹²⁸. Questo annuncio, accompagnato da un'intensa campagna pubblicitaria, ha portato alla diffusione pubblica non solo del concetto di metaverso inteso come mondo virtuale parallelo a quello reale, ma ha contribuito alla costruzione collettiva della visione di un futuro utopico in cui miliardi di persone avrebbero vissuto sfruttando le tecnologie immersive. Sulla scia della suggestione si è generato un dibattito parallelo al giornalismo sensazionalistico e sono partiti numerosi progetti che hanno visto gli architetti sempre più coinvolti. Un noto esempio è quello di Liberland Metaverse, un'estensione virtuale dell'omonimo micro-stato tra Croazia e Serbia, interamente progettato da Zaha Hadid Architects con lo scopo di creare un ambiente virtuale fatto di quartieri, istituzioni e architetture dotate di un senso globale di unità, identità e soprattutto di continuità col reale¹²⁹. In quest'ottica cambia il ruolo dell'architetto, che non è più colui che progetta la materia, ma colui che lavora con la fenomenologia e che sfrutta le proprie competenze a favore di temi come l'organizzazione, la connessione e la cognizione umana. Questo cambio di prospettiva può generare perplessità e spaesamento, soprattutto alla luce del fatto che, riprendendo le parole Eric de Broche des Combes, architetto e designer fondatore di Luxigon: «Viviamo in un mondo fisico dove ogni cosa ha una storia e una spiegazione mitologica. [...] In un mondo virtuale tutto questo, semplicemente, non l'abbiamo. [...] Tutto è così recente che non abbiamo ancora avuto il tempo di costruirlo, di nominarlo e di fissare i nostri riferimenti [...]». A un'assenza di riferimenti, però, si contrappone la consapevolezza che il valore dei luoghi non dipende solo dal loro aspetto formale, ma dall'impatto che possono avere sulle persone da un punto di vista psicologico e sentimentale.

«Personalmente ho giocato a *World of Warcraft* [videogioco molto

¹²⁸ Mac, R., Frenkel, S., Roose, K., «Skepticism, Confusion, Frustration: Inside Mark Zuckerberg's Metaverse Struggles», *The New York Times*, 9 ottobre 2022, <https://www.nytimes.com/2022/10/09/technology/meta-zuckerberg-metaverse.html>.

¹²⁹ Basili, G., «Liberland Metaverse. La realtà virtuale "cyber-urbana" progettata da Zaha Hadid Architects», *Artribune*, 23 luglio 2022, <https://www.artribune.com/progettazione/new-media/2022/07/liberland-metaverse-zaha-hadid-architects/>.

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte terza

Cap. 6. Altre esperienze

famoso a livello mondiale, N.d.A.] per dieci anni e per me i luoghi del gioco esistono veramente. Li ricordo; ne scopro di nuovi, proprio come andare in visita a Roma o Milano. Decisamente esistono. La parte interessante è però che, parlando in termini psicologici, esiste anche un coinvolgimento emotivo nei confronti di questi luoghi che è molto simile a ciò che è possibile provare nella realtà. Dal punto di vista cognitivo e psicologico, sono reali»¹³⁰.

Questi temi sono stati a lungo analizzati e contemplati all'interno della ricerca, ma l'evoluzione della stessa ha portato a una loro graduale esclusione. Infatti da un punto di vista teorico la visione del lavoro virtuale come un lavoro che per via indiretta – ovvero tramite le sensazioni – può condizionare fortemente la realtà è rimasto un punto saldo, ma, a prescindere dall'interesse filosofico che può generare questo argomento in merito alla visione dell'architettura e della sua controparte virtuale, sembra che alla dinamica sensazionalistica non sia seguita una evoluzione concreta in termini di espansione della disciplina. Dopo notizie legate a investimenti miliardari, a speculazioni teoriche sull'avvento del metaverso e a interi bandi di concorso dedicati ad architetti virtuali, pare che il fenomeno si sia cristallizzato all'interno della sfera commerciale, senza fornire quelle “ancore”, di cui si è scritto poc'anzi, per l'espansione di questo dottorato.

Una situazione di stallo si è osservata anche con ciò che concerne la modellazione tridimensionale con la realtà virtuale. Nel corso della ricerca si è avuta la possibilità di svolgere un workshop organizzato dalla piattaforma online Parametric Architecture, durante il quale sono stati forniti ai partecipanti tutti gli strumenti pratici e teorici per elaborare elementi architettonici e di design “plasmandoli” direttamente in ambiente virtuale indossando un visore Oculus. Nel caso specifico è stata usata l'applicazione Gravity Sketch per progettare un padiglione alberiforme dotato di seduta integrata, disegnando nello spazio un elemento curvilineo a sezione variabile che è stato, poi, ripetuto secondo una serie circolare. Fare ciò ha richiesto un training specifico e l'iter progettuale è risultato spesso ostico e frustrante nelle prime fasi,

¹³⁰ Ezechieli, C., «Spazi fantasma», *IoArch* 93, 17 maggio 2021, https://issuu.com/redazioneioarch/docs/ioarch_93_maggio_2021.

rivelandosi più fluido solo con l'accumularsi dell'esperienza. A questo va sommato un approccio di tipo scultoreo e privo della possibilità di controllare scientificamente il processo architettonico, con la naturale conseguenza di non fornire all'utente il feedback proprio di una progettazione consapevole. Anche qui, quindi, a un impatto suggestivo ed eclatante – nonostante le evidenti potenzialità di un approccio assolutamente innovativo – non sono seguiti sviluppi validi per proseguire con la ricerca.



Fig. 140 (in alto). Lo scrittore durante una sessione di Gravity Sketch.

Fig. 141 (in basso). Il padiglione alberiforme modellato in Gravity Sketch.

PARTE QUARTA

Capitolo 7

Conclusioni

Alla fine di questo percorso di ricerca è opportuno riassumere quanto è stato fatto e trarne le dovute conclusioni.

Nella prima parte si è cercato di costruire una base teorica che fungesse da riferimento costante durante le operazioni successive. Affrontare un argomento come il rapporto tra architettura e tecnologia, infatti, rischia di complicarsi per via della sua natura estremamente multidisciplinare, che può allontanare, a volte, dal fulcro della ricerca vero e proprio, ossia l'architettura. Difatti quest'ultima può prendere in prestito tecnologie, metodi e strumenti da settori come quello del gaming o quello militare, che poco hanno a che vedere con la progettazione e la costruzione e che, quindi, possono condurre a un divagamento. Era necessario un faro intellettuale, che riportasse il lavoro sempre sulla retta via, e questo faro è stato trovato nelle parole di alcuni dei più grandi esponenti italiani dell'architettura, della storia e, in generale, della didattica. Il convegno *Didattica dell'Architettura e Professione* organizzato dall'Accademia di San Luca nel 2019 è stato una fonte preziosissima da questo punto di vista ed è proprio da qui, dall'analisi degli interventi di docenti come Franco Purini e Ivano Dionigi, che è sorta la profonda consapevolezza del valore intrinseco al rapporto tra *novum* e *notum*, ossia nuovo e antico, tecnologia e tradizione, mantenuti in equilibrio da un architetto dotato di un «pensiero lungo», un «pensiero che unisce» e che gli permette di coordinare e ordinare la complessa situazione in cui si trova.

Successivamente si è passati a un approfondimento teorico e a una classificazione delle innovazioni tecnologiche e dei loro possibili utilizzi. Per fare ciò si è proceduto in parallelo: da una parte la realtà estesa e dall'altra l'intelligenza artificiale generativa. Entrambe sono state inquadrare storicamente e, per quanto possibile, si è cercato di comprendere se e come fossero utilizzate in campo architettonico, prendendo in considerazione ambiti come quello della costruzione, della progettazione, della valorizzazione culturale e della didattica contemporanea. Questa fase è stata particolarmente complessa perché ci si è scontrati con una materia estremamente recente e, dunque, priva di un background ricco di esperimenti ed esperienze, specialmente di natura architettonica. Questo ha portato a doversi confrontare con una questione spinosa, ovvero che gli architetti assumono generalmente un ruolo passivo nei confronti della novità. Questi, infatti, non hanno

una preparazione tale da intervenire attivamente sulla tecnologia, ma devono attendere che essa arrivi nelle loro mani per poterla sfruttare adeguatamente e piegarla, se necessario, alle proprie esigenze pratiche e teoriche. Da questa consapevolezza è derivato un modo nuovo di vedere la ricerca e di indagare il connubio architettura-tecnologia, un modo basato su una costante analisi critica di tutte le possibilità offerte dalla contemporaneità. Come si può fare un avanzamento in un campo in cui non si può rivestire un ruolo attivo? Probabilmente reimmettendo tecnologie e conoscenze in un processo che non abbia come suo fulcro l'hardware ma il software e chiedendosi: «come cambia la disciplina quando viene “contaminata” da fattori esterni che provengono da mondi distanti come quello dei videogiochi?».

La terza parte è stata quella del *learning by doing*, ossia dell'esperienza diretta. Tutto il processo di ricerca contenuto in questa tesi si basa sulla profonda convinzione che quella consapevolezza critica di cui tanto si è scritto non sia solo il frutto di uno studio “passivo”, ma l'esito di un incontro proficuo tra sapere e saper fare. Per questa ragione si è tentato di applicare in prima persona tutte le tecnologie individuate, cercando di volta in volta l'argomento o il campo di applicazione più adatto al loro utilizzo. Così si è sfruttata, per esempio, la realtà virtuale per restituire la basilica di Alberobello alla sua comunità nella sua forma completa; si è usata l'intelligenza artificiale per sviluppare, insieme al gruppo di ricerca di cui lo scrivente fa parte, un nuovo metodo didattico che stimoli gli studenti e li spinga a raggiungere risultati con più rapidità; si è sfruttata la realtà aumentata per costruire un padiglione ligneo di grandi dimensioni. Insomma, sono state collezionate numerose esperienze, tutte diverse, in modo da ottenere una visione a 360 gradi della situazione attuale, analizzando ciascuna di esse in modo da comprenderne vantaggi, svantaggi e, soprattutto, potenzialità su cui, eventualmente, lavorare in futuro.

Nello specifico, dalle tre tecnologie principali prese in esame – ossia realtà virtuale, realtà aumentata e intelligenza artificiale generativa – si possono estrapolare i seguenti svantaggi e vantaggi:

Realtà virtuale – consente di pre-visualizzare i luoghi immaginati in modo totalmente immersivo, percependone tutte le caratteristiche in totale libertà e con una resa grafica realistica. Inoltre sfrutta i meccanismi

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte quarta

Cap. 7. Conclusioni

del *gaming* per coinvolgere emotivamente e consentire un aumento di consapevolezza del progetto sia da parte del progettista che da parte dei fruitori occasionali, che possono avviare un dialogo costruttivo anche con altri esperti e autorità nell'ottica di avviare operazioni architettoniche concrete di varia natura. Purtroppo non esiste un iter standard e codificato per la realizzazione di un eseguibile e ogni progetto può richiedere capacità e metodi diversi, che costringono l'architetto a padroneggiare conoscenze molto distanti dal proprio campo e che possono comportare dilatazioni in termini di tempistiche o errori.

Realtà aumentata – permette di espandere la realtà con informazioni di vario tipo (immagini, testi, modelli 3D), arricchendo le esperienze architettoniche tradizionali. I processi costruttivi vengono stratificati ma, paradossalmente, semplificati grazie alla possibilità di avere un riferimento tridimensionale con tutte le caratteristiche formali e dimensionali dell'opera da realizzare. Inoltre la possibilità di far funzionare applicazioni di realtà aumentata su qualunque smartphone rende la tecnologia estremamente accessibile e versatile. Anche in questo caso, però, è richiesta la padronanza di molteplici *skill* e gli attuali limiti tecnologici possono interferire con le operazioni di costruzione per via di errori e imprecisioni imprevedibili. Inoltre, nel caso di strumenti come HoloLens, bisogna tenere conto della durata della batteria limitata, del campo visivo ristretto, dei costi significativi della tecnologia e delle condizioni di illuminazioni del luogo di lavoro.

Intelligenza artificiale generativa – consente una espansione dei limiti dell'immaginazione, fornendo spunti e suggestioni su cui ragionare e lavorare. L'entusiasmo generato dalla possibilità di visualizzare immediatamente e con un alto impatto visivo un'architettura immaginata mette in atto una serie di processi virtuosi, legati ai principi della *gamification*, che favoriscono e velocizzano le successive operazioni didattiche o di approfondimento progettuale. Di contro, a volte l'IA può risultare complessa da governare e può portare frustrazione; inoltre non è davvero in grado di produrre architetture verosimili, bensì spazialità soggettive e, dunque, necessità di un forte approfondimento critico per adoperarla adeguatamente.

Ciò che è emerso, in sostanza, è un quadro complesso, stratificato, multidisciplinare nei mezzi, nei linguaggi e nei metodi. Un quadro in

cui si incontrano passato e futuro, fenomenologia e razionalità, che costringono gli architetti a rivestire un ruolo di grande responsabilità. Questi sono chiamati, infatti, a comprendere le potenzialità insite nei mezzi contemporanei e a eseguire un processo di astrazione critica: non è importante lo strumento in sé, ma la comprensione di come esso possa espandere gli orizzonti creativi. Sapere cosa sia possibile fare e con quale metodo, conoscendo a priori vantaggi e svantaggi, consente, infatti, di inventare nuovi modi di fare e pensare l'architettura, con importanti ricadute concrete. Quindi il "virtuale" non è più solo sinonimo di "digitale" e pensarlo in termini puramente oppositivi al "concreto" rischia di condurre a una rischiosa banalizzazione del tema, nonché all'incapacità di riconoscere il potenziale insito nelle tecnologie attuali in termini di arricchimento del modo in cui si pensa l'architettura. "Virtuale" viene da "virtus", che in latino significa "valore", e quindi va inteso come ciò che contiene in sé le qualità di quello che sarà realizzato e non, convenzionalmente, come "non reale". Difatti la percezione dello spazio non è vincolata esclusivamente alla corporeità o alla materialità dei luoghi, ma si lega anche alla sfera mentale ed emotiva, che può portare ad avvertire come "vere" anche architetture esclusivamente digitali.

Il nuovo architetto "aumentato", che ha compreso quanto scritto e domina il *novum*, piega quest'ultimo al suo volere progettuale e trova nelle rivoluzioni digitale non paure e ostacoli ma sempre nuove opportunità per sperimentare.

Per concludere è opportuno aggiungere una ulteriore considerazione: lo studio condotto in questi anni è stato calibrato e necessariamente condizionato dalle risorse tecnologiche ed economiche a disposizione, con la consapevolezza che queste fossero limitate rispetto a quelle di cui dispongono molti centri di ricerca e gli istituti universitari internazionali focalizzati sullo stesso tempo. Nonostante ciò, è possibile asserire che il materiale utilizzato sia stato sufficiente all'elaborazione di una serie di riflessioni e spunti che potranno fungere da riferimento pratico e teorico per lo sviluppo di nuovi approfondimenti e avanzamenti futuri.

Bibliografia e sitografia

Capitolo 1

Dal Dosso, S., «Zaha Hadid era già pronta per il Metaverso. Una chiacchierata con Shajay Bhooshan, cofondatore di Code, il gruppo di ricerca di design computazionale di Zaha Hadid Architects (Zha), alla base di progetti come Liberland.», *Domus*, 2 maggio 2023, <https://www.domusweb.it/it/architettura/2023/05/02/zaha-hadid-era-gi-pronta-per-progettare-nel-metaverso.html>.

Dionigi, I., *L'architetto: un muratore che sa il latino*, in *The Plan*, vol. 116, pp.15-20, 2019. <https://www.theplan.it/magazine/2019/the-plan-116-09-2019/l-architetto-un-muratore-che-sa-il-latino>

Han, DI. D., Bergs, Y., Moorhouse, N., *Virtual reality consumer experience escapes: preparing for the metaverse*, in *Virtual reality*, vol. 26, 2022, pp. 1443-1458.

Hollein, H., *Tutto è architettura*, in Biraghi M, Damiani G. (a cura di), *Le parole dell'architettura. Un'antologia di testi teorici e critici: 1945-2000*, Torino, Giulio Einaudi Editore, 2009.

Sito web di Structural Learning: <https://www.structural-learning.com/post/john-deweys-theory#:~:text=Dewey's%20philosophy%20of%20%22Learning%20by,interaction%20in%20the%20learning%20process>

Capitolo 2

Cascione, V., *La ricerca e la didattica fra tradizione e innovazione: lo scalpellino del XXI secolo*, in Fallacara, G., Restucci, A. (a cura di), *Claudio D'Amato Guerrieri e la "scuola barese di Architettura. A trent'anni dall'istituzione del Politecnico di Bari e della facoltà di Architettura*, Roma, Gangemi Editore, 2020, pp. 351-359.

Gardoni, F., Mojetta, F., Sorrentino, C., Etzi, R., Gallace, A., Bordegoni, M., Carulli, M., *Raising awareness about the consequences of human activities on natural environments through multisensory augmented reality: Amazon rainforest and coral reef interactive experiences*, in *Computer-aided Design and Applications*, vol. 18, issue 4, 2021, pp. 815-830.

Gily, C., *In-Lusio. Il gioco come formazione estetica*, Napoli, Graus editore, 2002, p. 22.

Huizinga, J., *Homo Ludens: Proeve Ener Bepaling Van Het Spelelement der Cultuur*, Groningen, Wolters-Noordhoff, 1938 (trad. it. *Homo Ludens*, Torino, Einaudi, 2002).

Mazur-Stommen, S., Farley, K., *Games for grownups: The role of gamification in climate change and sustainability*, in *Indicia Consulting LLC*, vol. 405, 2016.

Petruzzi, V., Angeli, F., *Il potere della gamification. Usare il gioco per creare cambiamenti nei comportamenti e nelle performance individuali*, Milano, Franco Angeli, 2015.

Thaler, R. H., Sunstein, C. R., *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*, New Haven, Yale University Press, 2008 (trad. it. *Nudge. La spinta gentile. La nuova strategia per migliorare le nostre decisioni su denaro, salute, felicità*, Roma, Feltrinelli, 2024).

Link YouTube della seconda giornata del convegno Didattica dell'Architettura e Professione, organizzato dall'Accademia di San Luca nel 2019: <https://www.youtube.com/watch?v=7G959cicdFY&t=5358s>.

Capitolo 3

Abdelhameed, W. A., *Virtual Reality Use in Architectural Design Studios: A case of studying structure and construction*, in *Procedia Computer Science*, vol. 25, 2013, pp. 220-230.

Atwa, S. M. H., Ibrahim, M. G., Saleh, A. M., Murata, R., *Development of sustainable landscape design guidelines for a green business park using virtual reality*, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 48, 2019.

Banfi, F., Brumana, R., Stanga, C., *Extended reality and informative models for the architectural heritage – From scan-to-bim process to virtual and augmented reality*, in *Virtual Archaeology Review*, vol. 10, issue 21, 2019, pp. 14-30.

Brooks, F. P., *Walkthrough – A Dynamic System for Simulating Virtual Buildings*, in *I3D '86: Proceedings of the 1986 workshop on Interactive*

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte quarta

Cap. 7. Conclusioni

3D graphics, 1987, pp. 9-21.

Chaillou, S., *The advent of Architectural AI. A Historical Perspective*, in Chaillou, S., *Artificial Intelligence and Architecture. From Research to Practice*, Berlino, Boston, Birkhäuser, 2022, pp. 32-61.

Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R.V., Hart, J. C., *The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment*, in *Communications of the ACM*, vol. 35, n. 6, 1992, pp. 64-72.

Gong, L., Fast-Berglund, Å., Johansson, B., *A Framework for Extended Reality System Development in Manufacturing*, in *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 24796-24813.

Gun, A. L., Dünser, A., Kim, S., Billingham, M., *CityViewAR: A Mobile Outdoor AR Application for City Visualization*, in atti dello *11th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2012) - Arts, Media, and Humanities* (Atlanta, USA, 5-8 novembre 2012), 2012, pp. 57-64.

Heydarian, A., Carneiro, J. P., Gerber, D., Becerik-Gerber, B., Hayes T., Wood W., *Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations*, in *Automation in Construction*, vol. 54, 2015, pp. 116-126.

Hajirasouli, A., Banihashemi, S., *Augmented reality in architecture and construction education: state of the field and opportunities*, in *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 19, issue 39, 2022.

Jacobson, J., Vadnal, J., *The virtual Pompeii project*, in Richards, G. (a cura di), *Proceedings of E-Learn 2005--World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education* Vancouver, Canada, 24-28 ottobre 2005), Vancouver, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2005, pp. 1644-1649.

Lin, L., Huang, S., Ho, Y., *Could virtual reality effectively market slow travel in a heritage destination?*, in *Tourism Management*, vol. 78, 2020.

Lowood, H. E., «Virtual reality (VR)», *Britannica*, 13 maggio 2024.
<https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>.

Luna, R., «Il Sensorama, la macchina per realtà virtuale che non venne capita», *La Repubblica*, 28 agosto 2021,

https://www.repubblica.it/tecnologia/2021/08/28/news/il_sensorama_la_macchina_per_realta_virtuale_che_non_venne_capita-315540396/.

Mazuryk, T., Gervautz, M., *Virtual reality: History, Applications, Technology and Future*, Vienna, Vienna University of Technology, 1999.

Milgram, P., Kishino, F., *A Taxonomy of Mixed reality Visual Display*, in *IEICE Transactions on Information and Systems*, vol. E77-D, n. 12, issue 12, 1994, pp. 1321-1329.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F., *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*, in Das, H. (a cura di), *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, atti del convegno SPIE – Photonics for Industrial Applications (Boston, USA, 31 ottobre – 4 novembre 1994), vol. 2351, 1994.

Morgan, N., Pritchard, A., *Advertising in Tourism and Leisure*, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.

Niu, S., Pan, W., Zhao, Y., *A virtual reality supported approach to occupancy engagement in building energy design for closing the energy performance gap*, in *Procedia Engineering*, vol. 118, 2015, pp. 573-580.

Papagiannakis G., Schertenleib S., O’Kennedy B., Arevalo-Poizat M., Magnenat-Thalmann N., Stoddart A., Thalmann D., *Mixing virtual and real scenes in the site of ancient Pompeii*, in *Computer Animation And Virtual Worlds*, vol. 16, 2005, pp. 11-24.

Paranandi, M., Sarawgi, T., *Virtual Reality in Architecture: enabling possibilities*, in *CAADRIA 2002 Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia*, 2002, pp. 309-316.

Rua, H., Alvito, P., *Living the past: 3D models, virtual reality and game*

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte quarta

Cap. 7. Conclusioni

engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage – the case-study of the Roman villa of Casal de Freiria, in: *Journal of Archaeological Science*, vol.38, 2011, pp. 3296-3308.

Vorländera, M., Schrödera, D., Pelzera, S., Wefersa, F., *Virtual reality for architectural acoustics*, in *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 8, n. 1, 2014, pp. 15-25.

Sito web SNBR, *Nouveaux outils pour la construction de formes complexes. Cas d'étude: maçonnerie d'une voute par réalité mixte à Rocalia 2023*, https://www.snbr-stone.com/images/paper_realit%C3%A9_mixte_SNBR.pdf.

Sito web della IE School of Architecture and Design, <https://www.ie.edu/school-architecture-design/news/cutting-edge-technology-and-traditional-vaulting-from-segovia-to-venice/>

«Angelus Novus Vault: Demonstrating New Possibilities for Self-Balancing Construction through a Mixed-Reality Approach», Skidmore, Owings & Merrill, 23 maggio 2023, <https://www.som.com/news/angelus-novus-vault/>.

«Parametricism and Patrik Schumacher», *Parametric Architecture*, 10 dicembre 2021, <https://parametric-architecture.com/parametricism-and-patrik-schumacher/>.

Marr, B., «The Fascinating History and Evolution of Extended Reality (XR) – Covering AR, VR and MR», *Forbes*, 17 maggio 2021, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/05/17/the-fascinating-history-and-evolution-of-extended-reality-xr--covering-ar-vr-and-mr/>.

Weber, M., «Going Places: A History of Surrogate Travel and Google Maps With Street View», *Computer History Museum*, 22 giugno 2012, <https://computerhistory.org/blog/going-places-a-history-of-google-maps-with-street-view/?key=going-places-a-history-of-google-maps-with-street-view>.

Turi, J., «Time Machines: NASA goes virtual at CES», *engadget*, 15 dicembre 2013, <https://www.engadget.com/2013-12-15-time-machines.html/>.

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

Fakharany, N., «Foster + Partners Designs VARID: A VR/AR Toolkit for Inclusive Design», *ArchDaily*, 27 dicembre 2023, <https://www.archdaily.com/1011613/foster-plus-partners-designs-varid-a-toolkit-for-inclusive-design/>.

Bari prima città al mondo mappata in 3D con la realtà aumentata: <https://www.lagazzettadelmezzogiorno.it/news/bari/1252646/bari-e-la-prima-citta-al-mondo-ad-essere-mappata-in-3d-con-la-realta-aumentata.html>.

Capitolo 4

Brunetti, G. L., *L'intelligenza artificiale nella progettazione*, in Zevi, B. (a cura di), *L'Architettura – Cronache e storia*, Roma, Mancosu, 2024, pp. 48-49.

Castro, L., Carballal, A., Rodriguez-Fernandez, N., Santos, I., Romero, J., *Artificial Intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture*, in *Automation in Construction*, vol. 124, 2021.

Crawford, K., *Atlas of AI. Power, Politics and the Planetary Costs of Artificial Intelligence*, New Haven Yale University Press, 2021 (ed. it. *Né Intelligente né Artificiale. Il lato oscuro dell'IA*, Bologna, Il Mulino, 2021).

Dreyfus, H. L., *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*, New York, Harper Collins, 1972.

Fallacara, G., Cavaliere, I., Costantino, D., *Un'architettura tra utopia e innovazione*, in Perbellini, M., Pongratz, C., *Heliopolis 21: architettura tra natura e artificio*, Milano, Skira, 2021, pp. 43-49.

Goertzel, B., Wang, P., *Advances in Artificial Intelligence: Concepts, Architectures and Algorithms*, Amsterdam, IOS Press, 2007.

Jo, H., Lee, J., Lee, Y., Choo, S., *Generative artificial intelligence and building design: early photorealistic render visualization of façades using local identity-trained models*, in *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 11, issue 2, 2024, pp. 85-105.

Leach, N., *Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architects*, Londra, Bloomsbury Visual Arts,

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte quarta

Cap. 7. Conclusioni

2022.

Lorenzo-Eiroa P., *Digital Signifiers in an Architecture of Information. From Big Data and Simulation to Artificial Intelligence*, Routledge, 2023.

Rigillo, M., Neil Leach. *Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architects*, in *TECHNE*, vol. 25, pp. 272-273, 2023.

Salkowitz, R., «Midjourney Founder David Holz On The Impact Of AI On Art, Imagination And The Creative Economy», *Forbes*, 17 settembre 2022, <https://www.forbes.com/sites/robsalkowitz/2022/09/16/midjourney-founder-david-holz-on-the-impact-of-ai-on-art-imagination-and-the-creative-economy/>.

Capitolo 5

Alessandrini, F., De Biaggio, N., Pedrocco, L., Reggiani, A., «Geopolimeri a media ed alta resistenza: il futuro sicuro e durevole delle costruzioni», *Ingenio*, 1 luglio 2020, <https://www.ingenio-web.it/articoli/geopolimeri-a-media-ed-alta-resistenza-il-futuro-sicuro-e-durevole-delle-costruzioni/>.

Angione, A., *Realtà virtuale e visualizzazione dei dissesti statici*, in Fallacara, G. (a cura di), *La Basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della Cupola*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 151-169.

Bidussa, D., «Un anno senza Zygmunt Bauman», *Fondazione Feltrinelli*, 8 gennaio 2018. Originariamente disponibile al link <https://fondazionefeltrinelli.it/un-anno-senza-zygmunt-bauman/>. Oggi riportato nel blog Diari e Altro, al link <https://diariealtro.it/?p=7770>.

Cavaliere, I., *Realtà aumentata*, in Fallacara, G. (a cura di), *La Basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il completamento della Cupola*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 145-149.

Cavaliere, I., *Augmented reality for the heritage. Basilica SS. Medici in Alberobello, a case study*, in Scalisi, F., Sposito, C., De Giovanni, G.,

Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

On Sustainable Built Environment. Between Connections and Greenery,
vol. 07, pp. 214-227, 2022.

Cavaliere, I., Costantino, D., *Verso un nuovo lessico dell'architettura
litica. Il sodalizio ventennale tra Marmomac e Politecnico di Bari*,
in Fallacara, G., Girasante, G., *Marmomac Meets Academies*, dossier
allegato a MD Journal, 2021, pp. 24-33.

Cavaliere, I., Costantino, D., *Un'esperienza di virtualizzazione degli
spazi disegnati da Franco Purini*, in Fallacara, G., Occhinegro, U.
(a cura di), *Franco Purini. La ricerca dello spazio*, Roma, Gangemi
Editore, 2023, pp. 76-81.

Conner, T., *Pepper's Ghost and the augmented reality of modernity*, in
Journal of Science & Popular Culture, vol. 3, issue 1, 2020, pp. 57-79.

Corsini, P., «In aumento, e non di poco, le vendite di visori per la realtà
virtuale», *Hardware Upgrade*, 7 luglio 2021, [https://www.hwupgrade.
it/news/wearables/in-aumento-e-non-di-poco-le-vendite-di-visori-per-
la-realta-virtuale_99016.html](https://www.hwupgrade.it/news/wearables/in-aumento-e-non-di-poco-le-vendite-di-visori-per-la-realta-virtuale_99016.html)

Costantino, D., *The central installation. Between tradition and
innovation*, in Fallacara, G. (a cura di), *Ceci n'est pas un fossile.
Marmomac Meets Academies 2024*, Dossier di MD Journal, 2024, pp.
50-53.

Fallacara, G., *Porzione d'infinito*, in Melis, A. (a cura di), *Catalogo
della mostra. Catalogo del Padiglione Italia. Comunità Resilienti alla
Biennale Architettura 2021*, vol. 01b Roma, D Editore, 2021, pp. 298-
321.

Fallacara, G. (a cura di), *La basilica dei Santi Medici di Alberobello. Il
completamento della cupola*, Roma, Gangemi Editore, 2023.

Fallacara, G., Barberio, M., Costantino, D., Cavaliere, I., Graziano,
A. V., *Stereotomic Design Holograms*, in Fallacara, G., Potenza, D.,
Marmomac Meets Academies. Italia da scoprire, dossier allegato alla
rivista scientifica MD Journal, 2022, pp. 76-85.

Milani, M., Nastasi, P., *Origami didattico*, Milano, Ediemme, 1986.

Pavan, V., *La scuola di Bari e il Marmomac*, in Fallacara, G., Restucci,

Dario Costantino

Architettura e digitale. Realtà estesa e intelligenza artificiale per progettazione, visualizzazione e costruzione architettonica

Parte quarta

Cap. 7. Conclusioni

A., *Claudio D'Amato Guerrieri e la "scuola barese" di architettura. A trent'anni dell'istituzione del Politecnico di Bari e della Facoltà di Architettura*, Roma, Gangemi Editore, 2020, pp. 105-110.

Vasari, G., *Vita di Michelangelo Buonarroti Fiorentino pittore, scultore ed architetto*, in Vasari, G., *Le opere di Giorgio Vasari pittore e architetto aretino*, vol. 5, Firenze, Presso S. Audin e c., 1832, pp. 53-173.

«Cosa è la geoarchitettura? Lo spiega l'Arch. Paolo Portoghesi», *Moondo. Mondo digitale*, 7 dicembre 2018, <https://digitale.moondo.info/cosa-e-la-geoarchitettura-i-principi-fondanti-architetto-paolo-portoghesi/>.

Capitolo 6

Basili, G., «Liberland Metaverse. La realtà virtuale "cyber-urbana" progettata da Zaha Hadid Architects», *Artribune*, 23 luglio 2022, <https://www.artribune.com/progettazione/new-media/2022/07/liberland-metaverse-zaha-hadid-architects/>.

Cavaliere, I., Costantino, D., *Un'esperienza di virtualizzazione degli spazi disegnati da Franco Purini*, in Fallacara, G., Occhinegro, U. (a cura di), *Franco Purini. La ricerca dello spazio*, Roma, Gangemi Editore, 2023, pp. 76-81.

Cavaliere, I., Costantino, D., *Verso un nuovo lessico dell'architettura litica. Il sodalizio ventennale tra Marmomac e Politecnico di Bari*, in Fallacara, G., Girasante, G., *Marmomac Meets Academies*, dossier allegato a MD Journal, 2021, pp. 24-33.

Conner, T., *Pepper's Ghost and the augmented reality of modernity*, in *Journal of Science & Popular Culture*, vol. 3, issue 1, 2020, pp. 57-79.

Ezechieli, C., «Spazi fantasma», *IoArch 93*, 17 maggio 2021, https://issuu.com/redazioneioarch/docs/ioarch_93_maggio_2021.

Fallacara, G., Barberio, M., Costantino, D., Cavaliere, I., Graziano, A. V., *Stereotomic Design Holograms*, in Fallacara, G., Potenza, D., *Marmomac Meets Academies. Italia da scoprire*, dossier allegato alla rivista scientifica MD Journal, 2022, pp. 76-85.

**Politecnico di Bari, dipartimento di Architettura, Costruzione e Design
(ArCoD)**

Dottorato di ricerca in Conoscenza e Innovazione nel Progetto per il Patrimonio
XXXVII ciclo (Novembre 2021 - Ottobre 2024)
Curriculum: Costruzione

Mac, R., Frenkel, S., Roose, K., «Skepticism, Confusion, Frustration: Inside Mark Zuckerberg’s Metaverse Struggles», *The New York Times*, 9 ottobre 2022, <https://www.nytimes.com/2022/10/09/technology/meta-zuckerberg-metaverse.html>.

Pavan, V., *La scuola di Bari e il Marmomac*, in Fallacara, G., Restucci, A., *Claudio D’Amato Guerrieri e la “scuola barese” di architettura. A trent’anni dell’istituzione del Politecnico di Bari e della Facoltà di Architettura*, Roma, Gangemi Editore, 2020, pp. 105-110.