XR - eXtended Reality Technologies in Architectural Design

An Interactive-Platform Framework for Collaborative Design

Dottorato in Ingegneria dell'Architettura e dell'Urbanistica – XXXIII Cycle

Curriculum Architettura - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Siamak Ahmadzadeh Bazzaz
Supervisor: prof. Antonio Fioravanti

Sapienza Università di Roma
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Dottorato in Ingegneria dell'Architettura e dell'Urbanistica

Thesis Title:

XR - eXtended Reality Technologies in Architectural Design

An Interactive-Platform Framework for Collaborative Design

A thesis submitted
in partial fulfillment of the requirement for the degree of
PhD in Engineering-Based Architecture and Urban Planning

PhD Candidate
Siamak Ahmadzadeh Bazzaz

Supervisor
prof. Antonio Fioravanti

2021

ABSTRACT

It is not so far away when the theory of disruptive innovation and the emergence of new breakthrough technologies which have simpler, cheaper, and higher performance like Artificial Intelligence, Internet of Things, Big Data, Cloud Computing, Additive Manufacturing, Blockchain, etc., radically change all sectors included Architecture, Engineering and Construction (AEC). Exponential changes are happening at a dramatic speed around us. Previous industrial revolutions liberated humankind from animal power, made mass production possible and brought digital capabilities to billions of people. The last Industrial revolution is characterized by a range of new technologies that are fusing the physical, digital, and biological worlds, impacting all disciplines, especially economics and industries. The main goal of this research is to design and develop an "*Interactive Platform"* between BIM and eXtended Reality – XR. Latter Technologies comprehended: Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) and Mixed Reality (MR). This research argues that these technologies can be considered as means to bridge the gap between the construction process and design process as well as creativity and design. It states that the XR applications are not limited to the projection of the models' exterior surfaces as it was in the first-generation technologies, but the second generation of eXtended Reality (XR 2.0) can simulate in real-time concurrently physical phenomena and behaviors inside the models as well. One of the main results of eXtended Reality technologies on design is that it can be considered as a medium that allows people with different skills and expertise to deal with a common problem. Thus, it enables a real integration of disciplines and facilitates "*Idea Exchanging"*. On the other hand, this technology is very well intertwined and related to the new design process paradigms: Collaborative Design, and Pro-Active Design. In this sense, every actor involved may have its own role and responsibility to aim the project's final goal. XR technologies affect the pro-active design process in terms of suggestions offered by the experts involved in the projects in advance.

Virtual reality, augmented reality and mixed reality technologies continue to gain more and more attraction in consumer gadgets and software as well. Although, many leading-edge AEC firms and also tech start-ups are investing heavily in VR and AR, the construction industry as a whole has remained laggard behind the curve when it comes to actual tech adoption. Much of this failure can likely be attributed to a general lack of awareness and understanding. VR is proving to be an effective planning and rendering tool in architectural design. By providing an immersive, virtual environment, architects can get a better sense of a space before it physically exists together with real-time simulated stress in loadbearing structure and CFD air movement in HVAC ducts, so enabling them to make more informed and aware design decisions. Moreover, it allows firms to make a more convincing case when making a bid for a new project. The point is, as the overall level of demand and complexity in modern building design continues to increase,

embracing XR, will be the key if the construction sector wants to get advance. AR like VR also has an ascending impact on the architecture engineering sector as the technology is integrated with the other emerging technologies. *Real-Time training education*, *worker safety* and *controlling* could guide inexperienced users through complex construction operations. The continued evolution and integration of these and other technologies will yield systems that improve both the *efficiency* and the *quality* of building construction, maintenance, and renovation.

This thesis is composed of 3 parts and 11 chapters which each part encompasses 1 to 3 chapters related to the main focus of that part.

In *Part One*, as an initiating part, the *structure* and the *logic* behind this research is explained. It clarifies the problems caused by the *emergence of advanced technologies* in the field of architecture, and the necessity of grounding this research stated: to step forward in order to *"Improve the Architectural Design"*. It puts on the table the research motivation, objectives, methodologies, and the conceptual framework. The *State-of-the-art* and *in-depth* literature review on *Architectural Technology* and *Collaborative Design* carried on. This part sheds light on the *New Design Paradigms* compared to the traditional principles of design and influenced by the *technology advancements*. It underlines the BIM chapter as it is considered as a means for further development of an interface linked to XR in this research. *Disruptive Technology Trends* in 2020, and the digital transformation leading to *"Status quo"* in Industry highlighted in this part. Finally, the gaps identified in the domain of literature review distinguished in order to set the research problems and structure the methodology of research.

In *Part Two*, the eXtended Reality (XR) Technology as a *disruptor* in architecture field – as well as other industry sectors – opened up to be investigated in various sections. XR technology types, XR User Interface (UI) and XR User Experience (UX) are explained separately and the samples of XR *labs* in Universities and Industry as well as the wide span of XR *technical specifications* questioned. XR 2.0 versus XR 1.0 (previous generation) is defined with its new futures and characteristics too. This part also, points out to the impact of XR technology on *Education* and *Market* in architecture sector. The experiment of practicing the XR-BIM Interface based on the collaboration of *Autodesk© Revit Software* and *IrisVR Prospect as an XR Platforms* have been studied with a corresponding case study to set up the proposed interactive-platform framework for collaborative design.

In *Part Three,* as the closing part, the framework of XR-BIM interactive-platform offered, and the final considerations discussed. The suggestions for future works on the application of XR technology alongside with other disruptive technologies underlined. In the appendix chapter, beside the list of publications, XR events attended and glossary, the *three papers* published during the Ph.D. life period have been enclosed.

Keywords: Architectural Design, Extended Reality Technologies, Interactive Platforms, Collaborative Design, BIM

ESTRATTO

Non è così lontano il tempo da quando l'emergere di nuove e rivoluzionarie tecnologie che hanno prestazioni più elevate, più facili da usare e più economiche – le cosiddette "*Disruptive Innovation*", come l'Artificial Intelligence, l'Internet of Things, i Big Data, il Cloud Computing, l' Additive Manufacturing, il Blockchain, sta radicalmente cambiando tutti i settori, inclusi quello dell'Architettura, dell'Ingegneria e delle Costruzioni (AEC). Cambiamenti esponenziali avvengono ad una velocità drammatica intorno a noi. Le precedenti rivoluzioni industriali hanno liberato l'umanità dalla energia data da animali, reso possibile la produzione di massa e portato le capacità digitali a miliardi di persone. L'ultima rivoluzione industriale è caratterizzata da una serie di nuove tecnologie che stanno fondendo i mondi fisico, digitale e biologico; incidendo su tutte le discipline, in particolare l'economia e l'industria. L'obiettivo principale di questa ricerca è quello di progettare e sviluppare una "*Interactive Platform*" tra il BIM e l'eXtended Reality - *XR*. Le Tecnologie XR comprendono: la Virtual Reality (VR), l'Augmented Reality (AR) e la Mixed Reality (MR). Codesta ricerca sostiene che queste tecnologie possono essere considerate come mezzi per colmare il divario tra processo di costruzione e processo di progettazione, nonché tra creatività e design.

Afferma che le applicazioni XR non si limitano alla proiezione delle superfici esterne dei modelli come è accaduto con la prima generazione, ma che con la seconda generazione di eXtended Reality (XR 2.0) possono simulare fenomeni e comportamenti fisici in tempo reale contemporaneamente all'interno dei modelli. Uno dei risultati principali delle tecnologie di realtà *eXtended* sulla progettazione è che può essere considerato come un mezzo che consente a persone con diverse capacità e competenze di affrontare un problema che esse hanno comune. Così, si consente una vera integrazione di discipline e si facilita la *Exchanging Idea*. D'altra parte, questa tecnologia è molto intrecciata e collegata ai nuovi paradigmi del processo di progettazione: *Collaborative Design* e *Pro-Active Design*. In questo senso, ogni attore coinvolto può avere il proprio ruolo e la propria responsabilità nel perseguire l'obiettivo complessivo del progetto. Le tecnologie *XR* influenzano il processo di progettazione pro-attiva in termini di suggerimenti offerti in anticipo dagli esperti coinvolti nei progetti.

La realtà virtuale, la realtà aumentata e le tecnologie di realtà mista continuano a guadagnare sempre più attrazione anche nei gadget e nei software di consumo. Sebbene molte aziende AEC all'avanguardia e anche start-up tecnologiche stiano investendo molto in VR e AR, l'intero settore delle costruzioni è rimasto indietro rispetto alla curva quando si tratta di adozione tecnologica. Gran parte di questo fallimento può probabilmente essere attribuito a una generale mancanza di consapevolezza e comprensione. La realtà virtuale si sta dimostrando uno strumento di pianificazione e rendering efficace nella progettazione architettonica. Fornendo un ambiente immersivo e virtuale, gli architetti possono capire meglio uno spazio prima che esista fisicamente, consentendo loro di prendere decisioni di progettazione più informate e accurate. Inoltre, consente alle aziende di presentare un caso più convincente quando fanno un'offerta per un nuovo progetto. Il punto

è che, poiché il livello generale di domanda e complessità nella progettazione di edifici moderni continua ad aumentare, abbracciando XR, sarà la chiave se il settore delle costruzioni vuole avanzare. L'AR come la VR ha anche un impatto crescente sul settore dell'ingegneria dell'architettura poiché la tecnologia collabora con le altre tecnologie emergenti. "*Real-Time training education, worker safty and controlling*" potrebbero guidare gli utenti inesperti attraverso complesse operazioni di costruzione. La continua evoluzione e integrazione di queste e altre tecnologie produrrà sistemi che migliorano *l'efficienza* e *la qualità* della costruzione, della manutenzione e della ristrutturazione degli edifici. Questa tesi è composta da 3 parti e 11 capitoli che ogni parte comprende da 1 a 3 capitoli relativi al focus principale di quella parte.

Nella *prima parte*, come parte iniziale, vengono spiegate *la struttura* e *la logica* alla base di questa ricerca. Chiarisce i problemi causati *dall'emergere di tecnologie avanzate* nel campo dell'architettura e la necessità di fondare questa ricerca - per fare un passo avanti per "*migliorare il progetto architettonico*" - ha dichiarato. Mette sul tavolo la motivazione della ricerca, gli obiettivi, le metodologie e il quadro concettuale.
Nella questa parte, è proseguita la revisione della letteratura all'avanguardia e approfondita sulla tecnologia architettonica e la progettazione collaborativa. Questa parte fa luce sui *paradigmi del nuovo design* rispetto ai principi tradizionali del design e influenzato dai *progressi della tecnologia*. Sottolinea il capitolo BIM in quanto è considerato come un mezzo per l'ulteriore sviluppo di un'interfaccia collegata a XR in questa ricerca. "*Disruptive Technology Trends in* 2020" e la trasformazione digitale che ha portato allo "*status quo*" nell'industria ha evidenziato in questa parte. Infine, le lacune identificate nel dominio della revisione della letteratura si sono distinte al fine di impostare i problemi di ricerca e strutturare la metodologia della ricerca.

Nella *seconda parte*, la tecnologia eXtended Reality (XR) come un "*disruptor*" nel campo dell'architettura - così come altri settori industriali - si è aperta per essere investigata in varie sezioni. I tipi di tecnologia XR, XR *User Interface* (UI) e XR *User Experience* (UX) sono spiegate separatamente e vengono messi in discussione i campioni di laboratori XR in università e industria, nonché l'ampia gamma di specifiche tecniche XR. XR 2.0 contro XR 1.0 (generazione precedente) è definito anche con i suoi nuovi futuri e le sue caratteristiche. Anche questa parte sottolinea l'impatto della tecnologia XR sull "*Education*" e sul "*Market*" nel settore dell'architettura. Nella questa parte, l'esperimento di pratica dell *'XR-BIM Interface'* basata sulla collaborazione di *Autodesk © Revit* Software e *IrisVR Prospect* come *'XR Platform'* è stato studiato con un caso di studio corrispondente per impostare la proposta "Interactive-Platform Framework" per la progettazione collaborativa.

Nella *terza parte*, come parte conclusiva, viene offerto il *framework* della "XR-BIM *interactive-platform*" e vengono discusse le considerazioni finali. Sono state sottolineate le raccomandazioni per lavori futuri sull'applicazione della tecnologia XR insieme ad altre "*disruptive technologies*". Nel capitolo in appendice, accanto all'elenco delle pubblicazioni, agli eventi XR frequentati e al glossario, sono stati allegati i tre lavori pubblicati durante il periodo del dottorato.

Keywords: progettazione architettonica, tecnologie di realtà estesa, piattaforme interattive, progettazione collaborativa, BIM