

Summary (ENG)

Architectural technology is characterized by its need- or performance-based approach, which is crucial for implementing innovative projects of all scales in the Built Environment (BE) that strive to accomplish the Sustainable Development Goals (SDGs). In this scenario, urban design may effectively include measures for mitigating climate change (CCM) and adapting to its effects (CCA) by using digital enabling technologies (DETs). This is a developing field of study that has the potential to speed up the physical changes needed to address the issue of climate change (CC) in the built environment (BE) and provide a comprehensive solution.

The scientific literature review revealed that there is a lack of comprehensive approach that combines both mitigation and adaptation strategies in policies and design practices, from the city level to the building scale, to evaluate future urban design scenarios (Rosenzwaig et al., 2018; Grafakos et al., 2018; Grafakos et al., 2019; Dovie, 2019; Papa et al., 2015; Raven et al., 2018; Sharifi, 2020; Sharifi, 2021). Managing a significant volume of static and dynamic data in the urban and environmental design process poses challenges when taking a holistic approach that considers both climate change mitigation (CCM) and climate change adaptation (CCA). This includes handling information from archives, censuses, databases, as well as real-time sensor data in the city. There are several diverse systems and digital enabling technologies (DETs) available to assist urban practitioners and municipal government in local climate action. Urban Digital Twins (UDTs) are one type of digital enabling technology (DET) that can model, develop, and track how well future urban design possibilities work, while also taking climate change adaptation (CCA) and reduction of carbon emissions into account.

The aim of the research is to examine how the combination of mitigation and adaptation strategies can inform the process of urban design. Additionally, the

study explores the significant role of Urban Digital Twins (UDTs) in simulating, designing, and monitoring various potential future urban design scenarios considering the integrated framework for climate change (CC).

In order to accomplish the aforementioned objectives, the study aims to provide a comprehensive theoretical framework for evaluating urban design in relation to climate mitigation and adaptation. This framework will be developed by studying the effects of climate change (CC) on the built environment (BE) and the role of human settlements in exacerbating global warming. It will gather existing Key Performance Indicators (KPIs) from various tools and design practices to evaluate different urban design scenarios that can transform and revitalize urban areas at various scales. Furthermore, following an examination of the digital enabling technologies (DETs) utilized in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry for the built environment (BE), the study investigated the relevance of the Urban Digital Twin (UDT) by conducting interviews and surveys in the specific case study of Helsinki city, selected among others. The objective was to comprehend how the Urban Digital Twin (UDT) can contribute to achieving a climate neutral and resilient city, employing a methodology that explores the advantages, limitations, social, environmental, and economic risks, as well as the outcomes obtained from the implemented system.

The main expected outcomes of this research focus on the potential for creating a comprehensive urban design scenario assessment methodology that effectively addresses climate change (CC) concerns. The achievement of these objectives will be facilitated by the establishment of a comprehensive framework capable of analyzing and evaluating prospective urban design scenarios for climate change (CC) within the built environment (BE). Furthermore, the project aims to investigate the function of the UDT module in accelerating local climate action in urban regions and facilitating the process of designing and making decisions (including simulation, design, and monitoring of post-results) to rejuvenate the built environment (BE).

The project aims to investigate the feasibility of incorporating a comprehensive set of indicators into the creation of urban design processes. These indicators will be used to evaluate the "as is " condition and choose the most effective design solution for mitigating and adapting to climate change (CC). These variables surpass the limitations of relying just on one or a few indicators to determine a "sustainable scenario." Furthermore, this research has examined several crucial functionalities of an Urban Digital Twin (UDT) module in scientific and practical contexts. This includes simulating, designing, and monitoring the outcomes of regenerating the Built Environment (BE).

The study is categorized into two primary sections. Part I examines the shift from the absence of coordination between mitigation and adaptation techniques in urban agendas worldwide to the integration of these two strategies in the development and evaluation of urban design scenarios. Part II examines the management of the complexities involved in integrating climate change mitigation (CCM) and climate change adaptation (CCA) using digital enabling technologies (DETs) for the built environment (BE). The focus is on Urban Digital Twins (UDTs) as a comprehensive model that aids in design and decision-making within this integrated framework. The results of Part II will be used to create guidelines for the development of the Urban Digital Twin (UDT) module. These guidelines will not consider the information technology (IT) aspect, but also emphasize the interconnections between input information, analysis and processing, and output information for the city. The guidelines will specifically address the urban design challenges posed by the climate crisis.

The research has particular significance in the fields of architectural technology and urban design because it is one of the few studies that have attempted to identify indicators for both climate change mitigation (CCM) and climate change adaptation (CCA). Additionally, no cities have developed an Urban Digital Twin (UDT) module, in European context, that addresses both CCM and CCA for urban design. This makes the research highly innovative.

Sommario (ITA)

Il settore disciplinare della tecnologia dell'architettura è caratterizzato dalla definizione del quadro esigenziale o dalla misurazione delle prestazioni, che è cruciale per implementare progetti innovativi a tutte le dimensioni nell'Ambiente Costruito (BE) nell'ottica di raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs). In questo scenario, il progetto urbano può efficacemente includere misure per mitigare il cambiamento climatico (CCM) e adattarsi ai suoi effetti (CCA) utilizzando tecnologie digitali abilitanti (DETs). Questo è un campo di studio in evoluzione che ha il potenziale per accelerare le trasformazioni fisiche necessarie per affrontare il problema del cambiamento climatico (CC) nell'ambiente costruito (BE) tramite un approccio olistico. La revisione della letteratura scientifica ha rivelato una mancanza di un approccio completo che combini strategie di mitigazione e adattamento nelle politiche e nelle pratiche progettuali, dal livello urbano alla scala degli edifici, per valutare scenari di progetto urbano futuri (Rosenzwaig et al., 2018; Grafakos et al., 2018; Grafakos et al., 2019; Dovie, 2019; Papa et al., 2015; Raven et al., 2018; Sharifi, 2020; Sharifi, 2021). Gestire un volume significativo di dati statici e dinamici nel processo di progettazione urbana rappresenta una sfida quando si adotta un approccio olistico che considera sia la mitigazione che l'adattamento al cambiamento climatico. Questo include la gestione di informazioni provenienti da archivi, censimenti, database, nonché dati derivanti da sensori distribuiti in tempo reale nella città. Esistono diversi sistemi e tecnologie digitali abilitanti (DETs) disponibili per supportare i progettisti ed i tecnici nell'azione climatica locale. I gemelli digitali urbani (UDTs) sono un tipo di tecnologia digitale abilitante (DET) che può modellare, sviluppare e monitorare l'efficacia del progetto urbano, considerando anche l'adattamento ai cambiamenti climatici (CCA) e la riduzione delle emissioni di carbonio.

L'obiettivo della ricerca è esaminare come la combinazione di strategie di mitigazione e adattamento possa informare il processo di progettazione urbana. Inoltre, la ricerca esplora il ruolo significativo dei gemelli digitali urbani (UDTs) nella simulazione, progettazione e monitoraggio di vari potenziali scenari futuri di progettazione urbana considerando il quadro integrato per il cambiamento climatico (CC). Al fine di raggiungere gli obiettivi sopra menzionati, lo studio mira a fornire un quadro teorico completo per valutare la progettazione urbana in relazione alla mitigazione e all'adattamento climatico. Questo quadro è sviluppato studiando gli effetti del cambiamento climatico (CC) sull'ambiente costruito (BE)

e il ruolo degli insediamenti umani nell'alimentare il riscaldamento globale. Esso raccoglie indicatori chiave di prestazione esistenti (KPIs) da vari sistemi e pratiche progettuali per valutare diversi scenari di progettazione urbana che possono trasformare e rivitalizzare le aree urbane a varie scale. Inoltre, dopo l'analisi delle tecnologie digitali abilitanti (DETs) utilizzate nell'industria dell'architettura, dell'ingegneria e della costruzione (AEC) per l'ambiente costruito (BE), la ricerca indaga la rilevanza dei gemelli digitali urbani (UDT) attraverso interviste e sondaggi svolte nel caso specifico della città di Helsinki, selezionata come fra le città maggiormente avanzate tra le altre nel contesto europeo. L'obiettivo è di comprendere come il gemello digitale urbano (UDT) possa contribuire a raggiungere una città neutrale dal punto di vista climatico e resiliente, impiegando una metodologia che esplora i vantaggi, le limitazioni, i rischi sociali, ambientali ed economici, così come gli esiti ottenuti dal sistema implementato nel caso studio finlandese. I principali risultati attesi di questa ricerca si concentrano sul potenziale di sviluppare una metodologia completa di valutazione degli scenari di progettazione urbana capace di affrontare efficacemente le problematiche legate al cambiamento climatico (CC). Il raggiungimento di questi obiettivi sarà facilitato dall'istituzione di un quadro completo in grado di analizzare e valutare scenari di progettazione urbana per il cambiamento climatico (CC) all'interno dell'ambiente costruito (BE). Inoltre, il progetto mira a investigare la funzione del modulo di gemello digitale urbano (UDT) nell'accelerare l'azione climatica locale nelle aree urbane e facilitare il processo di progettazione e di prendere decisioni (inclusa la simulazione, la progettazione e il monitoraggio dei risultati post) per rigenerare o costruire ex novo nell'ambiente costruito (BE). Il progetto mira a indagare la fattibilità di incorporare un set completo di indicatori nella creazione di processi di progettazione urbana. Questi indicatori saranno utilizzati per valutare lo stato attuale dell'ambiente costruito (BE) e scegliere la soluzione di progettazione più efficace per mitigare e adattarsi al cambiamento climatico (CC). Queste variabili superano le limitazioni del fare affidamento solo su uno o pochi indicatori per determinare uno "scenario sostenibile" così come avvenuto fino ad oggi nell'ambito di ricerca e nella pratica di progettazione. Inoltre, questa ricerca ha esaminato diverse funzionalità cruciali di un modulo di gemello digitale urbano (UDT) in contesti scientifici e pratici. Questo include la simulazione, la progettazione e il monitoraggio dei risultati della rigenerazione dell'ambiente costruito (BE). Lo studio è suddiviso in due sezioni principali. La Parte I esamina il passaggio dall'assenza di coordinamento tra le tecniche di mitigazione e adattamento nelle agende urbane mondiali all'integrazione di queste due strategie

nello sviluppo e nella valutazione degli scenari di progettazione urbana. La Parte II esamina la gestione della complessità nell'integrare la mitigazione (CCM) e l'adattamento al cambiamento climatico (CCA) utilizzando tecnologie digitali abilitanti (DETs) per l'ambiente costruito (BE). L'attenzione è rivolta ai gemelli digitali urbani (UDT) come modello completo capace di aiutare nella progettazione e nel prendere decisioni all'interno di questo quadro integrato. I risultati della Parte II portano alla costituzione di linee guida per lo sviluppo di un modulo di gemello digitale urbano (UDT). Queste linee guida non considereranno l'aspetto dell'informatica (IT), ma dal punto di vista del settore della tecnologia dell'architettura, enfatizzeranno le interconnessioni tra informazioni di input, analisi e trattamento e informazioni di output necessarie per la gestione del presente processo per la città. Le linee guida affronteranno specificamente le sfide della progettazione urbana poste dalla crisi climatica. La ricerca ha particolare rilevanza nei campi della tecnologia architettonica e del design urbano per il suo approccio completo nell'identificare indicatori sia per la mitigazione del cambiamento climatico (CCM) sia per l'adattamento al cambiamento climatico (CCA). Inoltre, nessuna città ha sviluppato un modulo di Gemello Digitale Urbano (UDT), nel contesto europeo, che affronti sia il CCM che il CCA per il design urbano, e i risultati di questa ricerca possono supportare traiettorie di sviluppo operativo altamente innovative nella governance e nella pratica urbana basate su strumenti digitali e pianificazione e progettazione informate dalla scienza.