

Alessandra Barresi, <https://orcid.org/0000-0002-1208-0445>

Dipartimento di Architettura e Territorio, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia

alessandra.barresi@unirc.it

Abstract. Le città, oggi, sono chiamate ad assumere visioni e prospettive di lungo periodo, rispondendo con competenza e capacità programmatica e soluzioni pertinenti alla spinta verso gli ambiziosi obiettivi previsti dagli imponenti investimenti che riguardano il Paese. La tecnologia costituisce sicuramente uno degli strumenti più importanti per il raggiungimento di tali obiettivi. L'innovazione digitale, attraverso la conoscenza dei dati e la capacità di analizzarli ed elaborarli anche in chiave predittiva, rappresenta uno strumento fondamentale per affrontare le sfide urbane più impegnative del nostro tempo. L'approccio metodologico proposto è quello dell'*Urban Digital Twin* applicato alla città come modello predittivo per immaginare lo sviluppo della città stessa nei termini della sostenibilità.

Parole chiave: *Smart City*; Sostenibilità; Tecnologie; *Big Data*; *Urban Digital Twin*.

Introduzione

«Oggi ha sempre meno senso distinguere il reale dal virtuale, potendo, al più far riferimento a due dimensioni della stessa realtà che si compenetrano: una fisica e l'altra digitale e che si ridefiniscono dinamicamente in una relazione che vede l'essere umano al centro di un complesso percorso di cambiamento» (Epifani, 2020). La nuova realtà, costituita dunque da due dimensioni intrinsecamente relazionate tra loro, necessita di un approccio innovativo alla pianificazione urbanistica realizzabile attraverso le potenzialità dell'*Urban Digital Twin*. Da tale consapevolezza discende l'interesse per questo modello digitale urbano tridimensionale con particolare riferimento al *Digital Twin* realizzato per la città di Zurigo, unico caso europeo attualmente attivo applicato ai piani urbanistici, di cui vengono illustrate tutte le specificità e le capacità che gli consentono di potersi interfacciare con la realtà in evoluzione. Le conclusioni, invece, offrono alcuni spunti di riflessione sull'altra faccia della medaglia, ovvero le criticità che possono emergere dall'uso di tale modello tridimensionale digitale.

Urban Digital Twin and urban planning for sustainable cities

Abstract. Cities nowadays need to have long-term visions and perspectives to achieve the ambitious targets for which vast investments are being made. They need to act with competence and capability-based planning, and to come up with suitable solutions. Technology is unquestionably a factor of crucial importance when aiming for these targets. Digital innovation, based on data knowledge, analysis and projection, is crucial to tackle the most demanding challenges of our times. The methodological approach proposed here is an *Urban Digital Twin* applied to cities as a predictive model to obtain a projection of their development in terms of sustainability.

Keywords: *Smart City*; Sustainability; Technology; *Big Data*; *Urban Digital Twin*.

Sfide della città contemporanea, smart cities e innovazione tecnologica

Gli enti istituzionali oggi preposti alla ripartenza dello sviluppo sono le città, *compatte, vivibili e resilienti* (Hidalgo and Belliard 2020). Queste non costituiscono soltanto i poli dello sviluppo, i luoghi delle interazioni e delle opportunità, ma rappresentano anche i luoghi in cui si concentrano le forti contraddizioni del vivere sociale. La necessità di dover affrontare le sfide che derivano da tali contraddizioni ha attirato da sempre l'attenzione dell'Unione Europea e nel 2016, è stata approvata, da parte degli Stati Membri dell'Unione, un'Agenda Urbana Europea per promuovere investimenti sostenibili, intelligenti ed inclusivi in modo da rafforzare il ruolo delle città nell'affrontare le sfide urbane più complesse (Risoluzione Parlamento Europeo, 2011). Certamente il progresso tecnologico, con in primo piano la trasformazione digitale, costituisce un importante strumento in mano a chi governa la città e ne progetta il suo futuro sviluppo nell'ottica della sostenibilità per far sì che la città stessa acquisisca tutte quelle peculiarità che le consentano di trasformarsi in una smart city, concetto al quale ancora oggi corrispondono tante definizioni, tra le quali quella, condivisa anche da Batty (2012), secondo cui: "Una smart city è una sintesi di infrastrutture hard (o capitale fisico) con la disponibilità e la qualità della comunicazione della conoscenza e delle infrastrutture sociali" (Caragliu *et al.*, 2009). Il mondo è oggi per lo più dominato da flussi di informazioni che non lasciano tracce fisiche come nel passato. L'acquisizione, il coordinamento, la comunicazione, l'accoppiamento e l'integrazione dei dati derivanti dal flusso di informazioni possono avvenire solo

Introduction

«Distinguishing reality from virtual reality is becoming increasingly meaningless nowadays, as we can, at most, refer to two dimensions of the same reality permeating into each other. One is physical, the other is digital, and they are dynamically redefined in a context where mankind is seen at the centre of a complex transformational process» (Epifani, 2020). Hence, the new reality made up of two intrinsically interconnected dimensions needs an innovative approach to city planning that is feasible thanks to the potential of the *Urban Digital Twin*. Such awareness has led to the interest in this three-dimensional, urban, digital model, specifically looking at the *Digital Twin* model developed for Zurich. The latter is currently the only case in Europe where the model is actively applied to urban plans, with all its specific fea-

tures and capabilities enabling it to connect with the evolving reality. Our conclusions, instead, offer some food for thought with regard to the other side of the coin, that is to say, the new, critical aspects, which may stem from the adoption of this three-dimensional, digital model.

Challenges for contemporary cities, smart cities and technological innovation

The institutions charged with revamping development are the cities themselves, which are *compact, livable and resilient* (Hidalgo and Belliard 2020). Cities are not only crucial sites for development, interaction and opportunities. They are also where society's strong contradictions are concentrated. The necessity to face the challenges created by these contradictions has been acknowledged by the European

grazie alle ICT che consentono di trasformare la città in una smart city sostenibile, in cui la connessione delle infrastrutture e dei servizi permette alla città di funzionare in modo più efficiente.

Già nel 2012 il programma *Future ICT* condotto da un gruppo multidisciplinare di ricercatori e i cui risultati sono sintetizzati nell'articolo "Smart Cities of the future" (Batty *et al.*, 2012) auspica la costruzione di un sistema olistico completamente nuovo per l'acquisizione integrata dei dati, del querying e del mining. La sfida di *Future ICT* è costruire modelli che siano alle prese con i cambiamenti continui che caratterizzano oggi la città e che abbiano il potenziale per poter abbracciare concezioni anche molto diverse tra loro di come la città potrebbe funzionare.

I risultati ottenuti attraverso il programma *Future ICT* si inseriscono in un quadro generale di trasformazione digitale che nell'ultimo decennio, grazie alla diffusione dell'IoT, del Sistema Cyber-Fisico, delle Tecnologie della Comunicazione, ha sempre più spostato gli interessi della scienza verso la costruzione di un sistema che consenta di trasferire informazioni tra fonti diverse, di cui il *Digital Twin* (DT) è oggi diventato uno dei concetti più promettenti.

Smart city e Urban Digital Twin nel dibattito culturale e scientifico

In questo fertile contesto scientifico si inquadra il *Digital Twin* (DT) come controparte digitale di un certo prodotto che simula

il suo comportamento reale. I dati del sistema fisico sono rappresentati dalle informazioni digitali provenienti dal sistema virtuale che è connesso a un sistema reale durante l'intero processo del ciclo di vita (Batty, 2018). Pertanto l'integrazione del digitale con i suoi gemelli fisici crea un modo efficace per gesti-

Union. This interest led to the EU Member States' approval, in 2016, of an Urban Agenda for the EU. This agenda should promote sustainable, intelligent and inclusive investments, so as to strengthen the role of cities when facing the most complex urban challenges (EP Resolution, 2011).

Technological progress, and more specifically digital transformation, is certainly an important tool available to those who manage a city and plan its future sustainable development. The aim is to endow a city with all the features needed to make it a smart city. This concept has been expressed in various definitions, one of which, also shared by Batty (2012) states that "A Smart City is a synthesis of hard infrastructure (or physical capital) with the availability and quality of knowledge communication and social infrastructures" (Caragliu *et al.*, 2009).

The world is now mostly dominated by information flows leaving no physical trace, as was the case in the past. Acquisition, coordination, communication, coupling and integration of data from an information flow can be carried out only thanks to ICTs, making cities smart and sustainable, where connections of infrastructures and services allow them to function more efficiently.

Back in 2012, the *Future ICT* project, led by a multidisciplinary group of researchers, the results of which are summed up in the article "Smart Cities of the future" (Batty *et al.*, 2012), expressed hope for a completely new holistic system for integrated data collection, querying and mining. The challenge for *Future ICT* is to build models able to cope with constantly evolving cities, and to embrace very different concepts on how cities might function.

re, regolare e migliorare il processo decisionale mentre il sistema reale è in funzione. Il DT presenta varie opportunità e può essere applicato in diversi campi, come quello della smart city, rispetto alla quale acquisisce il termine di *Urban Digital Twin*.

Nel dettaglio, l'*Urban Digital Twin* rappresenta il modello vivente di un sistema fisico che si adatta continuamente ai cambiamenti operativi della città sulla base dei dati forniti in tempo reale da vari sensori IoT e prevede i comportamenti con l'aiuto dell'apprendimento automatico e dell'intelligenza artificiale (Kaur *et al.*, 2020). I dati raccolti vengono gestiti dal gemello digitale attraverso un processo tecnologico che si basa sulla integrazione dei modelli BIM e GIS (Giaveno, 2021).

Un tipico modello di città 3D è derivato da varie tecniche di acquisizione, ad esempio fotogrammetria e scansione laser, estrusione da impronte 2D, radar ad apertura sintetica, modelli e disegni architettonici, dispositivi portatili, modellazione procedurale e geoinformazione (Biljecki *et al.*, 2016). Tale complessità di informazioni si affronta attraverso la modellazione collaborativa di GIS e BIM, che, prendendo le comunità come scala immediata, unifica i dati sia alla scala della città che del singolo edificio per essere da supporto ad una analisi completa della realtà urbana. L'integrazione tra BIM e GIS riesce così ad unire tanto i dati per il processo di costruzione quanto quelli per la gestione dell'ambiente urbano.

Il Digital Twin di Zurigo tra le esperienze europee più significative

Lo studio *Cities of the future* dello Smart City Index del 2021 rivela quali sono le città del mondo che impiegano maggiormente la tecnologia per migliorare la sostenibilità e la qua-

The results obtained through the *Future ICT* project are located within a general frame of digital transformation which, in the last decade, thanks to the spread of the Internet of Things (IoT), of the Cyber-Physical System and of ICTs, has increasingly shifted the interest of science towards the construction of a system able to share information with different sources. Among these, the Digital Twin (DT) is now one of the most promising concepts.

Smart cities and Urban Digital Twin in the cultural and scientific debate

The Digital Twin (DT) participates in this fertile, scientific context as a digital counterpart of a certain item, simulating its actual behaviour. Data from the physical system are represented by the digital information generated by the virtual system, connected with a real system during the entire process

of a life cycle (Batty, 2018). Thus, the integration of a digital item with its physical twins creates an effective way of managing, adjusting and improving the decision process, while the real system is operating. The DT offers several possibilities and can be adopted in various fields, such as smart cities, being called, in this specific case, Urban Digital Twin.

More specifically, an Urban Digital Twin is the live model of a physical system, which constantly adapts to operational changes in a city, based on real time data provided by IoT sensors, and foresees behaviours, with the help of machine learning and artificial intelligence (Kaur *et al.*, 2020). Data collected is processed by the Digital Twin thanks to technology based on the integration of Building Information Modelling (BIM) and Geographic Information System (GIS) (Giaveno, 2021).

lità della vita dei propri cittadini. Zurigo, Helsinki, Rotterdam, Singapore si caratterizzano per avere indirizzato le loro politiche di mitigazione e adattamento climatico attraverso la tecnologia innovativa del Digital Twin. Nonostante queste città condividano la stessa finalità generale nella scelta di ricorrere al Urban Digital Twin, ovvero quella di affrontare le criticità relative al cambiamento climatico, in ciascuna di esse il DT si caratterizza in modo diverso (D'Amanzo and Feijoo Rivas, 2020). Helsinki produce un modello di città 3D e lo utilizza come base per un'applicazione di mappe 3D chiamata *Helsinki Energy and Climate Atlas*, che contiene dati energetici reali e calcolati sul patrimonio edilizio cittadino. Ciò consente valutazioni specifiche degli edifici, analisi e simulazioni energetiche in tutta la città e l'identificazione di potenziali miglioramenti dell'efficienza energetica (SustainEurope, 2019). *Zurich City Digital Twin*, come si vedrà in seguito più dettagliatamente, si concentra sul tema dell'energia, attraverso l'analisi del potenziale solare, e sull'edilizia, attraverso la visualizzazione di progetti, il calcolo dei flussi d'aria, l'analisi dell'ombra e dello *sky view factor*. Per valutare i benefici e i costi di vari scenari di pianificazione, Singapore adotta un approccio integrato per costruire un *Digital Urban Climate Twin* (DUCT). Al fine di tenere conto della moltitudine di fattori coinvolti nella pianificazione di un ambiente costruito, il modello mira a integrare tutti i componenti rilevanti e sarà utilizzato per valutare soluzioni di progettazione urbana sensibili al clima su tutte le scale spaziali (City2city, 2020). Lo studio del *Digital Twin di Rotterdam* è centrale per riflettere sull'importanza del ruolo della morfologia urbana nella mitigazione del cambiamento climatico (Gemeente Rotterdam, 2021). Questa tipologia di *Digital Twin* utilizza il mo-

A typical 3D model of a city is obtained through various acquisition techniques, such as photogrammetry and laser scanning, 2D print extrusion, synthetic-aperture radar, architectural models and drawings, portable devices, procedural modelling and geoinformation (Biljecki *et al.*, 2016). This complex information is processed through collaborative modelling carried out by GIS and BIM which, taking communities as an immediate parameter, unifies data both to the scale of a city and to that of a single building, so as to deliver a full analysis of an urban reality. The integration between BIM and GIS, therefore, successfully converges data concerning the building process with those regarding management of the urban environment.

Zurich's Digital Twin – one of the most remarkable experiences in Europe

The study *Cities of the future*, in the 2021 Smart City Index, gives a world list of cities that use technology widely to improve sustainability and the quality of life of their citizens. Zurich, Helsinki, Monaco, Rotterdam and Singapore have distinguished themselves for their policies of climate mitigation and adaptation, adopting Digital Twin innovative technology. Although these cities share the same general objectives, having chosen to use the Urban Digital Twin to deal with the crucial aspects deriving from climate change, in each of them the DT has a different connotation (D'Amanzo and Feijoo Rivas, 2020). Helsinki avails itself of a 3D model of the city and uses it as a base for a 3D-map application called *Helsinki Energy and Climate Atlas*, con-

dello digitale per testare diversi scenari per la pianificazione futura, ad esempio per quanto riguarda i cambiamenti di densità e i loro effetti sul clima urbano, su traffico e sulla mobilità.

Nel caso di Zurigo, come si è accennato, la costruzione dell'*Urban Digital Twin* è principalmente finalizzata ad incrementare il livello di sostenibilità della città, divenendo strumento per affrontare una serie di sfide urbane dovute all'incremento previsto per i prossimi anni del numero degli abitanti, della conseguente occupazione lavorativa, della densificazione urbana e della competizione negli usi del suolo

L'obiettivo del DT per la città di Zurigo è quello di realizzare una rappresentazione digitale della città per simulare possibili soluzioni a questioni da superare nell'ambito di una pianificazione urbana sostenibile. A tale scopo, i componenti del gemello digitale devono essere aggiornati con cadenze diverse e, se del caso, arricchiti con dati in tempo reale. Nel triangolo del mondo reale (fisico), sociale e digitale, il gemello digitale connette il mondo reale con il mondo digitale o, più precisamente, con il suo spazio. Il gemello digitale si apre così a nuove prospettive per l'urbanistica. Il DT della città di Zurigo arricchisce un precedente modello 3D della città (realizzato nel 2011) determinando un consistente incremento dell'inventario dei dati spaziali 3D e aggiunge, alla modellazione e alla descrizione dei dati, la gestione del ciclo di vita dei singoli componenti nonché l'intero inventario di dati.

I principali dati spaziali 3D presenti nel DT di Zurigo, gestiti dall'operatore Geomatics +Surveying, sono relativi allo spazio pubblico, al catasto delle utenze (energia, rifiuti, acqua trasporti), alla modellazione delle facciate, ai ponti, alle linee di alta tensione e infine agli elementi storici della città. Per far sì che il DT possa essere conosciuto da tutti con la sua enorme portata

taining real energy data, calculated on the existing city buildings. This makes it possible to obtain specific evaluations of buildings, analyses and energy simulations in the entire city, identifying potential improvements of energy efficiency (SustainEurope, 2019). The Zurich City Digital Twin, as we shall see below, is focused on energy, analysing the potential of solar energy and, regarding existing buildings, visualising plans, calculating air flows, analysing shade and the sky view factor. To evaluate costs and benefits of various planning options, Singapore uses an integrated approach to build a Digital Urban Climate Twin (DUCT). Aimed at taking into account the multitude of factors involved when planning in an already built environment, the model integrates all relevant components, and will be used to evaluate climate-sensitive, urban planning solutions on

all space scales (City2city, 2020). The study of Rotterdam's Digital Twin is crucial when considering the importance of urban morphology to mitigate climate change (Gemeente Rotterdam, 2021). This type of Digital Twin adopts the digital model to test various scenarios for future planning with regard, for instance, to changes in density and their effect on urban climate, traffic, and mobility.

In the case of Zurich, as mentioned above, the adoption of the Urban Digital Twin is aimed at improving the city's level of sustainability, working to deal with a range of urban challenges stemming from the predicted increase in the number of inhabitants for the coming years and, consequently, employment, urban densification, and competition with regard to the use of land.

The objective of the DT regarding Zurich is to create a digital represen-

di dati a disposizione è stato necessario rendere il set di dati *Open Government Data*.

Come molte altre città, Zurigo utilizza il suo modello di città virtuale in vari settori tra i quali quello della pianificazione urbana che attraverso il “Municipal Structure Plan for Settlements, Landscape, Public and Facilities” (Richtplan, 2018) guida la crescita e lo sviluppo della città. I vari studi di sviluppo sono stati realizzati e presentati attraverso un modello digitale tridimensionale.

Questi modelli 3D di diverse parti della città di Zurigo contengono essenzialmente i seguenti tre livelli di dati: l'attuale sviluppo edilizio (dal gemello digitale), la capacità edificabile massima secondo la zonizzazione attuale (da un modello parametrico dell'*Esri City Engine*) e possibili target di immagini sotto forma di vari scenari di compattazione (da progetti urbanistici). La visualizzazione del modello 3D in un'applicazione web interattiva ha consentito agli urbanisti di fare un utile confronto tra questi tre livelli di dati da cui è scaturita una preziosa base di discussione sulle scelte progettuali più opportune. Grazie al collegamento dei dati geometrici con i vari parametri urbanistici ed edilizi (ad es. utilizzo dell'edificio, superficie, numero di abitanti e posti di lavoro), sono state anche effettuate analisi mirate e valutazioni quantitative. Tutti i dati emersi da questo processo, realizzato con l'ausilio del DT, hanno costituito la base per lo sviluppo del piano regolatore comunale (Schrotter and Hurzeler, 2020)

Il DT offre un utile contributo anche nell'ambito degli effetti del cambiamento climatico sulla città. Per affrontare tale sfida è stato elaborato il “Sectoral Planning on Heat Reduction” che si concentra principalmente sulla necessità di mantenere funzionali quelle aree urbane che costituiscono caratteristici cor-

tation of the city to simulate possible solutions for issues, which need to be overcome with a sustainable urban planning approach. With this in mind, each component of the digital twin needs to be updated at various intervals and, if necessary, updated with new data in real time. Within the triangle delimited by the real (physical), social and digital world, the Digital Twin connects the real world with the digital world or, more precisely, with its space. Thus, the Digital Twin opens new perspectives for urban planning. Zurich's DT updates a previous 3D model of the city (created in 2011), obtaining a significant increase in the inventory of 3D special data, adding the management of the life cycle of each component, as well as the entire inventory of data, to data modelling and description.

The main spatial 3D data included in

Zurich's DT, processed by Geomatics Surveying operators, concern public spaces, the Utilities Register (energy, waste disposal, water, transport), modelling of façades, bridges, high power lines and, finally, historical items in the city. In order to make information on the DT and its data storage capability available to all, a highly advanced geo-portal was used, allowing access to and visualisation of Open Government Data.

Similar to many other cities, Zurich uses its virtual city model in various departments, including urban planning, which, through the “Municipal Structure Plan for Settlements, Landscape, Public and Facilities” (Richtplan, 2018), follows the city's growth and development. Various studies on this development have been carried out and shown using a 3D digital model.

These 3D models of various parts of

ridoi di aria fredda per i quali l'orientamento, l'estensione e la differenziazione in altezza degli edifici sono determinanti per una buona ventilazione della città. Per studiare gli effetti degli edifici pianificati in tali aree è stato utilizzato il modello digitale 3D basato su GIS, che è stato costruito con i vari dati tratti dal DT (terreno, esistente e pianificato, edifici, posizioni degli alberi, ecc.). Sulla base di modelli climatici su scala meso e micro, è stato possibile determinare l'effetto ostacolo degli edifici pianificati e confrontarlo con lo sviluppo attuale. L'analisi ha mostrato che, a seconda delle caratteristiche spaziali (lunghezza, larghezza, altezza, posizione), i nuovi edifici hanno un'influenza dimostrabile sui fattori climatici ecologicamente rilevanti come la temperatura, la portata del vento e dell'aria fredda. Grazie ai dati affidabili ricavati dal DT, la questione climatica viene integrata in maniera più funzionale nel processo di pianificazione.

Conclusioni

L'Urban Digital Twin, come si è avuto modo di illustrare, consente di poter calibrare le scelte di pianificazione simultaneamente ai processi continui di trasformazione urbana, determinando notevoli vantaggi. La visione obiettiva e imparziale con cui si intende però guardare a questo nuovo e sempre più diffuso modello digitale pone l'obbligo di evidenziare anche alcune importanti criticità. Prima di sviscerare tali criticità si ritiene opportuno puntualizzare quanto sia importante avviare un processo di comunicazione efficace ai fini di facilitare la conoscenza e la diffusione dei vantaggi derivanti dall'utilizzo del *Digital Twin* in ambito urbano. È fondamentale visualizzare i dati spaziali in modo accattivante e performante per gruppi di interesse differenti aumentando così la loro comprensione e il

the city of Zurich basically contain three levels of data – current building development (from the Digital Twin), maximum building capacity, according to current zoning (from parameters provided by the Esri City Engine), and potential targets, with images showing various scenarios of compaction (from urban projects). Being able to view a 3D model in an interactive Web application has allowed town planners to make a helpful comparison among these three levels of data, thus leading to an important starting point from which the most suitable projects could be selected. Linking geometrical data to various urban and building parameters (for instance, building use, surface, number of inhabitants and number of jobs) also allowed for specific analyses and quantitative evaluations. All data, which emerged from this process, thanks to the adoption of

the DT, have provided the basis for the development of the town plan (Schrotter and Hurzeler, 2020).

The usefulness of the DT has also been seen with regard to the effect of climate change in the city. To face this new challenge, “Sectoral Planning on Heat Reduction” has been devised, mainly focusing on the need to ensure the efficiency of areas of the city where the traditional corridors of cold air flow. Therefore, correct calculation of the orientation, extension and specific height of buildings is of crucial importance to ensure a city is properly ventilated. A 3D digital model based on a geographic information system (GIS) has been used to study the effects produced by buildings planned for these areas, uploading information from the DT (existing and planned land, buildings, position of trees, and so on). Based on climate models on

supporto che gli stessi possono fornire al gemello digitale, non trascurando inoltre di garantire l'accesso ai dati e il loro trattamento in modo automatizzato, semplice e attraente.

Per quanto concerne invece le principali criticità, un primo aspetto riguarda la portata economica di un tale modello che necessita di una entità di denaro piuttosto cospicua da investire nei progetti di implementazione della tecnologia intelligente nelle città che, nel caso di mancanza di finanziamenti adeguati, costituirebbe un fattore fortemente discriminante per le stesse. La tutela della privacy dei cittadini – che potrebbe essere compromessa dal processo di acquisizione, registrazione e analisi di tutti i tipi di dati (anche quelli personali e privati) necessari per la realizzazione del DT – è un'altra delle questioni delicate che potrebbe insorgere con il DT e che per essere superata richiederebbe da parte degli enti pubblici l'esecuzione di procedure trasparenti che non consentano l'uso improprio dei dati. La garanzia della sicurezza dei singoli individui, degli organi di governo e persino della città stessa, qualora i dati pubblici vengano rubati dagli hacker, costituisce un ulteriore elemento di possibile criticità da tenere in considerazione. In questo caso, per superare la criticità, la tecnologia intelligente dovrebbe essere crittografata in modo sicuro e protetta con forti protezioni di sicurezza in modo da evitare la manipolazione dei dispositivi sensoriali presenti in vari punti della città. (D'Amanzo and Feijoo Rivas, 2020). Una riflessione va fatta sulle tipologie di tecnologie e di capitali da scegliere e da investire per la realizzazione del DT, evitando che se il processo decisionale della comunità urbane viene affidato a compagnie private e consorzi, i cittadini diventino consumatori e i servizi e i beni comuni sottostiano alle leggi del libero mercato (Grossy and Pianezzi, 2017). Infine,

a meso- and micro-scale, it has been possible to estimate the barrier effect created by the planned buildings, comparing it with current development. Analysis has shown that, according to spatial features (length, width, height, position), the planned buildings have a verifiable effect on ecologically relevant climate factors, such as temperature, and the amount of wind and cold air. Thanks to the reliable data obtained from the DT, climate factors are integrated more effectively into the planning process.

Conclusions

As shown, the Urban Digital Twin allows to modify planning choices and to simultaneously continue urban expansion with significant benefits. Being, however, duly objective and impartial when looking at this increasingly widespread, new digital model,

one should also take some important critical points into account. Before mentioning them, however, it is worthwhile pointing out how important it is to initiate an effective communication process, so as to increase awareness of the benefits deriving from the adoption of a Digital Twin in an urban environment. Enabling various groups of interest to view spatial data in an appealing and effective way is of the utmost importance. This will improve their understanding and the support they can contribute to the Digital Twin and, no less important, it will grant access to data, as well as its processing, in a simple and attractive fashion.

Concerning the aforementioned critical points, one is the financial cost of such a model, for which a conspicuous amount of money will be needed, investing in projects aimed at implementing intelligent technology in cit-

il rischio in cui si può incorrere, ponendo particolare attenzione all'efficienza dei processi attraverso l'utilizzo delle tecnologie digitali, è quello di focalizzarsi esclusivamente sugli effetti della sostenibilità urbana distraendosi invece dalle cause che hanno determinato le condizioni di insostenibilità.

I rischi evidenziati e le criticità che possono insorgere nel momento in cui una città decide di ricorrere all'*Urban Digital Twin* per avviare processi di trasformazione urbana sostenibile possono comunque essere controllati e gestiti e non inficiano i vantaggi che ne derivano dalla sua applicazione. Il DT consente ai portatori d'interesse della smart city pubblici, privati e della società civile di: seguire il comportamento della città reale e monitorarne l'evoluzione; pianificare e sviluppare progetti, osservando preventivamente gli effetti della loro attuazione sulla sua "gemella"; anticipare eventuali problematiche ed eseguire azioni correttive, prevenendo così l'insorgere di criticità.

In Italia, la prima città che sta programmando di ricorrere all'ausilio del DT a supporto della pianificazione urbana è Bologna. L'esperienza, portata avanti in gemellaggio con la città di Barcellona, è ancora in fase iniziale. Sarebbe auspicabile verificare, nello specifico contesto italiano, se sussistano o siano realizzabili le condizioni normative, di sicurezza, di raccordo fra settori tecnici, amministrativi e di ricerca affinché tale strumento possa essere efficace. Sicuramente scienza, ricerca e conoscenza hanno da sempre rappresentato per la città di Bologna una risorsa fondamentale per immaginare percorsi di innovazione, acquisizione di competenze strategiche e di sviluppo urbano. Sono quindi molteplici e storicamente radicati gli elementi che rendono Bologna la sede ideale per realizzare il primo gemello digitale di città italiano e verificare le condizioni

ies. Failing to obtain adequate financial support may turn out to be a strongly discriminating factor for the cities themselves. Another critical point is safeguarding the privacy of citizens – which may be compromised by the process of acquisition, transcription and analyses of all data (including personal and private data) necessary to set up the DT. To be overcome, this obstacle would require transparent procedures on the part of public institutions, forbidding any improper use of data. Guaranteeing the safety of single individuals, government bodies and the city itself is another critical point to take into account, should hackers steal public data. This could be counteracted through safe encryption of smart technology, with strong safety barriers, so as to prevent sensors located around the city from being manipulated (D'Amanzo, Feijoo Rivas,

2020/2021). Great attention should be paid to the type of technology chosen and the money to be invested in setting up the DT. If private companies and associations are to be entrusted with making the right decisions on behalf of the urban community, it is important, therefore, to avoid citizens from becoming consumers, and services and common goods from being subject to free market laws (Grossy and Pianezzi, 2017). Finally, there is also the risk that, focusing mainly on the efficiency of the digital technology adopted, concentration on urban sustainability may deflect attention from the very causes of the existing unsustainability, focusing solely on its effects.

The risks and crucial aspects pointed out above, which may occur when a city decides to adopt an Urban Digital Twin to carry out a sustainable urban transformation can, however, be moni-

per la sua applicabilità. Esso consiste in un progetto di replica digitale della struttura cittadina che, attraverso i dati, il machine learning e Internet of Things (IoT) permette di ottimizzare, innovare, costruire scenari e fornire nuovi servizi, di aumentare la partecipazione dei cittadini e sperimentare risposte d'avanguardia in particolare negli ambiti chiave europei del Green Deal e dell'economia al servizio delle persone.

L'auspicio di chi scrive è che l'Urban Digital Twin possa divenire uno strumento di uso sempre più comune in ambito urbanistico riuscendo a superare una delle sue principali criticità, ovvero quella dei costi elevati di realizzazione e gestione, nella convinzione che tale strumento segna un importante momento di progresso scientifico e tecnologico e come per tutte le espressioni del progresso il vantaggio che le città ne ricaveranno dipenderà dalla sapienza di chi lo gestirà.

REFERENCES

Batty, M. et al. (2012), "Smart cities of the future", *The European Physical Journal Special Topics* Vol. 214, pp. 481-518.

Batty, M. (2018), "Digital twins", *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Vol. 45, n. 5, pp. 817-820.

Biljecki, et al. (2015), "Application of 3D city models: state of the art review", *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, Vol. 4, pp. 2842-2889.

Caragliu, A., Del Bo, C. and Nijkamp P. (2009), *Smart Cities in Europe*, VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics, Research Memoranda 0048, Amsterdam, The Netherlands.

City2City (2020), *Singapore, Helsinki and Zurich top index of world's smartest cities*, available at: <https://city2city.network/singapore-helsinki-and-zurich-top-index-worlds-smartest-cities> (accessed 15 October 2021).

tored and managed without lessening the advantages deriving from its application. The DT allows all public and private members of civil society who care about smart cities to follow the actual trend of a city and monitor its evolution, to devise and develop projects by first observing their potential effects on its "twin", anticipating possible problems and carrying out corrections, thus preventing any complications from occurring.

In Italy, the first city that is going to adopt the DT for urban planning is Bologna. This process, twinned with the city of Barcelona, is still in an initial phase. It could be useful to verify, specifically in Italy, if all conditions regarding legal and safety aspects, and harmonisation among technical, administrative and research sectors are in place, so that this tool might be effective. Science, research

and knowledge have no doubt been a fundamental resource for Bologna, to envision innovation processes, and for the acquisition of strategic and urban development competences. Thanks to the many historically rooted elements, which characterise it, Bologna is the ideal site for the first Digital Twin in Italy, verifying if there are the conditions to apply it. The project consists of a digital replica of the city which, through data, machine learning and the Internet of Things (IoT), makes it possible to optimise, innovate, and view potential scenarios, and provide new services, increase citizens' involvement, and test state-of-the-art solutions, particularly in the key European spheres of the Green Deal and economy at the service of the people.

Our hope is that the use of the Urban Digital Twin may become increasingly common in urban planning, overcom-

D'Amanzo, C. and Feijoo Rivas S.C. (2020), *Urban Digital Twin come strumento a supporto della prassi di pianificazione a scala urbana per il cambiamento climatico*, Tesi di laurea Magistrale, Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design (a.a.2020/2021) relatore Prof. Guido Callegari.

Epifani, S. (2020), *Perché la sostenibilità non può fare a meno della trasformazione digitale*, Digital transformation Institute, Roma.

Giaveno, S. (2021), "Smart City and Digital Twin: definitions, Methodologies and Applications" in Del Giudice, M. and Osello, A. (2021), *Developing Smart Cities Based On Digital Twins*, IG Global, Hershey PA, USA 17033, pp.243-264.

Grossy, G. and Pianezzi, D. (2017), "Smart cities: utopias or neoliberal ideology?", *University of Essex Reserch Repository*, Vol. 69, pp. 79-85.

Hidalgo, A. and Belliard, D. (2020) *Le Manifest pour Paris*, Terra Nova, available at: <http://www.tnova.fr> (accessed 08 August 2022).

Kaur, M. J. et al. (2020), "The Convergence of Digital Twin, IoT, and Machine Learning: Transforming Data into Action" In Farsi M et al. (Eds.), *Digital Twin Technologies and Smart Cities. Internet of Things (Technology, Communications and Computing)*, Springer.

Richtplan (2018), *Kommunaler Richtplan Stadt Zürich*, available at: https://www.stadt-zueri.ch/hbd/de/index/taed_tebau/planung/richtplanung0/kommunaler-richtplan.html (accessed 08 August 2022).

Risoluzione del parlamento Europeo (2011), *Agenda Urbana Europea e il suo futuro nel quadro politico di coesione* in Gazzetta Ufficiale dell'UE 18/12/2012.

Gemeente Rotterdam, *Rotterdam 3D*, available at: <https://www.3drotterdam.nl/#/> (accessed 8 October 2021).

Schrotter, G., and Hürzeler, C. (2020), "The digital twin of the city of Zurich for urban planning", *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Vol. 88, n. 1, pp. 99-112.

SustainEurope (2019). *Smart Helsinki*, available at: <https://www.sustaineurope.com/smart-helsinki-20191025.html> (accessed 15 October 2021).

ing one of its main difficulties, i.e. high costs of implementation and management, knowing that this tool marks a turning point in scientific and technological progress and, as typically happens with progress, the advantages for cities will depend on the wisdom of its users.