

**ARCHITECTURE
DESIGN
TECHNOLOGY**

03

ARCHITECTURE
DESIGN
TECHNOLOGY

Direzione
Direction
Spartaco Paris

Comitato scientifico
Scientific committee

Roberto Bianchi (Sapienza – Università di Roma)
Marco Bozzola (Politecnico di Torino)
Vincenzo Cristallo (Sapienza – Università di Roma)
Zoran Djukanovic (University of Belgrad)
Giovanni Fatta (Università degli Studi di Palermo)
Kristian Kuhn (TU Wien)
Renato Morganti (Università degli Studi dell'Aquila)
Pietro Nunziante (Università degli Studi di Napoli Federico II)
Spartaco Paris (Sapienza – Università di Roma)
Marton Sentpeteri (Mome, Budapest)
Jose Luis Vallejo (GSD Harvard)
Alessandra Zanelli (Politecnico di Milano)

I volumi pubblicati in questa serie
sono soggetti a peer review.
The books published in this series
are peer-reviewed.

La collana Architecture, Design, Technology pubblica studi e ricerche sui rapporti tra la cultura del progetto dell'habitat dall'architettura al design, con una specifica attenzione all'innovazione degli aspetti realizzativi e produttivi degli artefatti. Negli ultimi anni, infatti, i processi progettuali sono stati investiti da profonde trasformazioni che riguardano sia la sfera delle tecnologie materiali che immateriali: l'indagine intorno a questi temi costituisce la principale area tematica della collana.

The book series Architecture, Design, Technology publishes studies and researches results around the relationship between the habitat project culture from architecture to the design product, with a specific focus on the innovative processes of production and realization of artifacts. In recent years, design processes have been invested by profound transformations that affect both the sphere of material and immaterial technologies: the investigation around these issues is the main thematic area of the book series.

**ARCHITECTURE
DESIGN
TECHNOLOGY**

Classificazione Decimale Dewey:

711.40285 (23.) URBANISTICA. PIANI E PIANIFICAZIONE MUNICIPALE. Elaborazione dei dati



©

ISBN

979-12-218-1292-3

PRIMA EDIZIONE

ROMA 19 GIUGNO 2024

DIGITAL TWIN A SCALA URBANA

Indagine critica su concettualizzazione,
componenti, approcci di sviluppo
e tecnologie abilitanti

ROSSELLA ROVERSI
SOFIA AGOSTINELLI

ARCHITECTURE
DESIGN
TECHNOLOGY



Autori e co-autori

Rossella Roversi ha curato la pubblicazione e ha redatto i testi di tutti i capitoli e la bibliografia, fatte salve le parti di cui sotto.

Sofia Agostinelli è autrice del paragrafo “2.5.3 - Digital Thread, cluster abilitatori e layer architetture”, e delle relative references, e ha contribuito ai paragrafi “3.2.2 - Building Information Modeling (BIM) e Geographic Information System (GIS)”, “3.2.4 - Collaborative e edge computing”. Ha inoltre supervisionato il capitolo “3 - Tecnologie Abilitanti”.

Luca Gugliermetti è co-autore con Rossella Roversi del paragrafo “3.2.9 - Cybersecurity e blockchain”.

INDICE

PRESENTAZIONE	9
LISTA DEGLI ACRONIMI	20
INTRODUZIONE	22
1. STATO DELL'ARTE E CONCETTUALIZZAZIONE DEL DIGITAL TWIN ALLA SCALA URBANA	30
1.1. Literature review sui Digital Twin alla scala urbana	30
1.1.1. Metodologia della literature review	30
1.1.2. Selezione dei paper sui Digital Twin alla scala urbana	31
1.1.3. Focus sui paper riguardanti la literature review sui Digital Twin alla scala urbana	36
1.1.4. Risultati della comprehensive literature review	37
1.1.5. Lettura dei risultati della literature review con focus sui review papers	40
1.2. Definizioni di Digital Twin (DT)	44
1.3. Definizioni e principali elementi distintivi del Digital Twin alla scala urbana (CDT)	46
QUADRO RIEPILOGATIVO	49
1.4. Casi studio di Digital Twin alla scala urbana	50
1.4.1. Hervanta (Tampere)	50
1.4.2. Kalatasama (Helsinki)	51
1.4.3. Zurigo	54
1.4.4. Docklands (Dublino)	55
1.4.5. Cambridge	56
1.4.6. Herremberg	58
1.4.7. Stoccarda	59
1.4.8. Zuidoost (Amsterdam)	60
1.4.9. Rotterdam	61
1.4.10. Virtual Singapore	63
QUADRO RIEPILOGATIVO	64
2. FUNZIONALITÀ, ATTORI E STRUTTURA DEL DIGITAL TWIN ALLA SCALA URBANA	65
2.1. Caratteristiche e metriche descrittive	65
2.1.1. Integration Levels	65
2.1.2. Degrees of automation	67
2.1.3. Maturity levels	67
2.1.4. Levels of development o levels of complexity	73
2.1.5. Key levels	76
QUADRO RIEPILOGATIVO	78
2.2. Gli attori coinvolti nella progettazione e sviluppo del CDT	80
2.2.1. I ruoli chiave nel processo di realizzazione del CDT	80
QUADRO RIEPILOGATIVO	83
2.2.2. I committenti pubblici del CDT	84
2.2.3. Questionario rivolto a Municipalità Italiane su obiettivi, barriere, percorsi di sviluppo del CDT	85
2.2.4. Risposte al questionario	86
2.2.5. Lettura dei risultati	100
QUADRO RIEPILOGATIVO	109

2.3. Gli usi del CDT	110
2.3.1. Mirror (Specchiare)	112
2.3.2. Analyse (Analizzare)	114
2.3.3. Communicate (Comunicare)	118
2.3.4. Control (Controllare)	121
QUADRO RIEPILOGATIVO	123
2.4. Ambiti di applicazione del CDT	125
2.4.1. Quadro tematico delle potenzialità del CDT	125
2.4.2. CDT per il data-driven decision making e la governance urbana	130
2.4.3. CDT a supporto della “clean and green transition”	133
QUADRO RIEPILOGATIVO	136
2.5. Architettura e componenti del CDT	137
2.5.1. Approcci di riferimento, variabili e workflow	138
2.5.2. Layer tematici, reti e sistemi	147
2.5.3. Digital Thread, cluster abilitatori e layer architeturali	152
2.5.4. Il fattore umano e lo “human in the loop”	161
QUADRO RIEPILOGATIVO	167
3. TECNOLOGIE ABILITANTI	168
3.1. Tecnologie abilitanti del DT	168
3.2. Tecnologie e processi abilitanti del CDT	173
3.2.1. Surveying and mapping technology	174
3.2.2. Building Information Modeling (BIM) e Geographic Information System (GIS)	176
3.2.3. Internet of Things e 5G	182
3.2.4. Collaborative and edge computing	185
3.2.5. Simulation technology (o modeling)	187
3.2.6. Artificial Intelligence	189
3.2.7. Machine Learning e Deep Learning	190
3.2.8. Augmented Reality, Mixed Reality e Virtual Reality	192
3.2.9. Cybersecurity e blockchain	194
3.2.10. Actuators	207
QUADRO RIEPILOGATIVO	212
4. CONCLUSIONI E FUTURI SVILUPPI	216
4.1. Partecipazione di cittadini e stakeholder	216
4.2. Integrazione degli aspetti socio-culturali, economici e politici	218
4.3. Data management	220
4.4. Oltre la scala urbana	221
QUADRO SINOTTICO COMPLESSIVO	223
BIBLIOGRAFIA	233
AUTORI	253

PRESENTAZIONE

GOVERNO DELLA CITTÀ CONTEMPORANEA E DIGITAL TWIN VERSO NUOVE PROSPETTIVE INTERDISCIPLINARI E SPERIMENTALI

DI LAURA RICCI*

La riflessione al centro del Volume *“Digital Twin a scala urbana. Indagine critica su concettualizzazione, componenti, approcci di sviluppo e tecnologie abilitanti”* fa proprio l’interrogativo teorico-metodologico e sperimentale su quale sia il contributo che le infrastrutture tecnologiche digitali abilitanti e, nello specifico, il *Digital Twin (DT)*, possono offrire al fine di coadiuvare la messa in campo di strategie di rigenerazione urbana e di riequilibrio territoriale per il governo della città contemporanea, quale risposta alle istanze provenienti dalla nuova *questione urbana*, esito dei profondi mutamenti che hanno interessato, negli ultimi decenni, le città e i territori italiani.

Con queste finalità essa rappresenta una occasione di approfondimento di alcuni nodi tematici che si configurano quali significativi ambiti di innovazione disciplinare e interdisciplinare, viepiù in considerazione della ancora limitata conoscenza delle potenzialità e dei limiti che questa tecnologia abilitante presenta, in particolare con riferimento alla scala urbana e territoriale.

1. Nuova questione urbana e nuovo welfare. Per una strategia pubblica di rigenerazione

I processi di metropolizzazione che hanno interessato, negli ultimi decenni, le città e i territori contemporanei italiani ed europei (Fregolent, Indovina, Favino, 2005; Oliva, 2010), hanno indotto profonde trasformazioni negli assetti territoriali, così come hanno modificato il senso delle problematiche legate all’urbanistica, all’ambiente e al paesaggio (Oliva, 2010), evidenziando l’inadeguatezza di alcune concettualizzazioni, tra cui, in primis, quella che afferisce alla tradizionale contrapposizione “centro/periferia” (Ricci, 2022).

Esito di questi processi, la città contemporanea è, infatti, connotata da una dimensione illimitata territorialmente, cui fa riscontro una generalizzata marginalità, elevati livelli di inquinamento, di spreco energetico, carenze infrastrutturali, consumo di suolo, e una mancanza strutturale di spazi pubblici e di presidio territoriale, che alimenta il senso di insicurezza, recidendo i legami identitari tra comunità insediate e territori (Ricci, 2019).

Una città, dunque, in cui le contraddizioni indotte dagli effetti della globalizzazione, il degrado fisico, la marginalità socioeconomica (Amin, Thrift, 2001), la fragilità

* Laura Ricci, architetto, PhD, è professore ordinario di Urbanistica presso il Dipartimento di Pianificazione Design Tecnologia dell’Architettura (PDTA), della Sapienza, Università di Roma, di cui è stata direttore dal 2015 al 2021. Dal 2017 è direttore del Master in Capitale Naturale e Aree Protette (CNAAPP) e dal 2022 è Coordinatore del Dottorato in PDTA, presso la Sapienza. È stata direttore della Scuola di specializzazione in Beni naturali e territoriali (BNT) (2016/2023) presso la Sapienza. Dal 1995 al 2012 è stata Consulente generale del Comune di Roma per il Nuovo PRG '08. Dal 2023 è co-Pi della Linea tematica “New rules, parameters, indicators, operational references of the urban plan for an eco-sustainable approach to urban regeneration”, del Rome Technopole - Progetto Flagship 2, e Co-Pi della Linea tematica “Actualisation_Cultural heritage and urban regeneration. Towards a multidisciplinary and experimental dimension”, del PE5 CHANGES, Spoke 8 Sustainability and Resilience of Tangible Cultural Heritage, Sapienza Università di Roma-PNRR. Ha curato volumi e scritto saggi, esito di una forte interconnessione tra ricerca, didattica e sperimentazione, sui temi dell’innovazione del piano urbanistico locale, del progetto urbano, della pianificazione paesistica e territoriale, con particolare riferimento alla rigenerazione urbana e al recupero degli insediamenti abusivi.

ambientale (UNISDR, 2012; UNFCCC, 2015), il depauperamento delle risorse ecologiche ed energetiche, i cambiamenti climatici estremi, l'invecchiamento e l'aumento della popolazione, la proliferazione di malattie croniche e stress psico-fisico (WHO, 2005), il mutamento della struttura delle famiglie (Eurostat, 2019), e del sistema dei valori della popolazione (Ricci, 2014; Galdini, 2008), la pressione dei flussi migratori (IV Forum Le città del Mediterraneo, 2010), gli squilibri territoriali, si sovrappongono alle "anomalie genetiche" che hanno caratterizzato, fin dai primi del Novecento, lo sviluppo delle città italiane (Campos Venuti, 2001), evidenziando l'emergere di una nuova *questione urbana* (Commissione parlamentare di inchiesta sulle condizioni di sicurezza e sullo stato di degrado delle città e delle loro periferie, 2017).

In anni di profonda crisi delle economie occidentali, in cui la crescente individualizzazione e destrutturazione della società e una maggiore consapevolezza della scarsità delle risorse ambientali, unita a domande crescenti nei confronti della sicurezza, della salute e dell'istruzione, del progresso tecnologico, richiamano immagini, scenari, politiche e progetti, spesso in contrapposizione, la nuova *questione urbana* richiede un approccio al governo della città e del territorio comprensivo e integrato, strutturale e pubblico, in primis finalizzato a mettere in campo politiche, strategie e strumenti per la realizzazione di un nuovo *welfare urbano*.

Un nuovo *welfare* per garantire a tutte le comunità insediate i diritti fondamentali alla casa, alla salute, all'istruzione, all'ambiente, alla mobilità pubblica, all'abitare e, più in generale, alla città (Ricci, 2018; UN SDG 3 e 11), fornendo risposte integrate alle istanze di rigenerazione ecologico-ambientale, di rivitalizzazione sociale, di valorizzazione culturale ed economica della città contemporanea (Ricci, Iacomoni, Mariano, 2020) secondo principi di sostenibilità, coniugando qualità della vita e qualità dell'ambiente.

Nel quadro delle politiche europee e della nuova programmazione comunitaria, la realizzazione di questo nuovo *welfare urbano* costituisce, quindi, l'obiettivo prioritario di una strategia integrata e interscalare di governo pubblico, per la rigenerazione urbana e il riequilibrio territoriale (Ricci, 2017), finalizzata «a rivitalizzare aree problematiche – affrontando le questioni connesse al recupero degli ambienti naturali e antropici, alla conservazione del patrimonio, all'integrazione sociale, all'occupazione e alle attività economiche – nei contesti urbani, periurbani e rurali» (EC, 2007); una strategia di riferimento per le 12 priorità tematiche dell'Agenda Urbana Europea (EU, 2016) ai fini dell'elaborazione di soluzioni comuni per le aree urbane e per la messa in campo di *best practices* (l'inclusione dei migranti e dei rifugiati; la qualità dell'aria; la povertà urbana; gli alloggi a prezzo accessibile; l'economia circolare; il lavoro e le competenze professionali relative all'economia locale; l'adattamento ai cambiamenti climatici; la transizione energetica; l'uso sostenibile del territorio e soluzioni basate sulla natura (nature-based); la mobilità urbana; la transizione digitale; gli appalti pubblici di tipo innovativo e responsabile).

Una strategia che coniuga i caratteri propri di una dimensione urbanistica con quelli di inclusione sociale e di sviluppo economico locale, assumendo la città pubblica -l'insieme delle componenti pubbliche o di uso pubblico relative a spazi aperti, aree verdi, servizi, mobilità, residenza sociale- come struttura di riferimento, presidio e

dotazione territoriale capillare; espressione dell'identità storico-culturale e sociale, e mezzo per la ricomposizione del legame tra continuità fisica e integrazione sociale, tra specificità formale e identità culturale, tra rappresentazione e autorappresentazione delle comunità; motore di sviluppo sostenibile attraverso la rigenerazione ambientale e la riconnessione ecologica delle aree verdi (Ricci, 2014; Ricci, 2017).

La città pubblica costituisce, dunque, sia il quadro delle coerenze delle scelte strutturanti di questo processo complessivo e compensativo di rigenerazione e di riequilibrio, sia la matrice fisica e la proiezione territoriale, il riferimento fisico strutturale del nuovo *welfare urbano*, *rete di reti* materiali e immateriali, interattive e integrate (Ricci, 2021).

2. Rigenerare la città, costruire la città pubblica. Per una riforma organica

Il connotato di integrazione e di comprensività della strategia di rigenerazione urbana, trova, dunque, ampia convergenza nelle politiche comunitarie, fino alle più recenti indirizzate alle *smart cities* e alle *infrastrutture verdi* (Correia et al, 2022; EC, 2013), e riferimenti operativi nel *Green new deal* (EC, 2019), nel *Just Transition Fund* (EU, 2021), e nel Programma *Horizon Europe* (EU, 2021/2027), e costituisce, a livello nazionale, un obiettivo trasversale del PNRR (2021) e un contenuto fondante dei sei "Grandi ambiti" del PNR 2021/2027.

Tale connotato permea anche le politiche pubbliche per la partecipazione delle aree marginali allo sviluppo sostenibile e inclusivo, che rappresentano, infatti, una componente fondamentale delle Politiche di Coesione 2020 (UN, 2016), e una sfida per rilanciare città e territori, migliorare la qualità della vita, mitigare la povertà e l'esclusione, offrire occupazione, servizi e accessibilità.

In questo cogliendo il senso degli indirizzi sanciti dalle Nazioni Unite, con i 17 *Sustainable Development Goals* all'interno della *2030 Agenda for Sustainable Development* (UN, 2015), per sperimentare forme di innovazione per le condizioni di vita, la crescita culturale, economica e sociale delle comunità (Ricci, Iacomoni, Mariano, 2020).

In questo quadro, i nuovi temi, come le ricadute dei cambiamenti climatici, il ruolo delle reti infrastrutturali nel ridisegno delle città e la riorganizzazione della loro base economica, le strategie di inclusione sociale e di costruzione della città pubblica, rappresentano obiettivi fondanti di importanti programmi avviati nelle maggiori città europee (Ricci, 2018), finalizzati all'infrastrutturazione e alla digitalizzazione, alla difesa idrogeologica, alla mobilità sostenibile e alla riconversione energetica del patrimonio edilizio, nonché alla sua sostituzione; così come moltissimi in Europa sono i percorsi di formazione finalizzati a formare figure competenti per intervenire nei processi di rigenerazione urbana, quale principale strategia di intervento nelle città.

In Italia, se da un lato è presente la consapevolezza di come appaia urgente che la rigenerazione urbana venga assunta come parte integrante di una politica ordinaria per la città, e, quindi, come un capitolo significativo dell'Agenda urbana nazionale (Commissione parlamentare di inchiesta sulle condizioni di sicurezza e sullo stato di degrado delle città e

delle loro periferie, 2017), dall'altro gli interventi di rigenerazione risultano gravati da eccessivi pesi di natura procedurale, da conflitti di competenze tra diversi livelli di amministrazione e differenti comparti dello Stato, dalla mancanza di un quadro normativo e di principi unitari a livello nazionale, nonché di una visione strategica territoriale complessiva.

Il carattere di integrazione della strategia di rigenerazione richiama, dunque, in Italia, la necessità di coniugare e mettere in coerenza, declinandole a partire da una riforma organica, tutte le politiche che attengono al governo del territorio (Ricci, 2015): dalle politiche di sviluppo e di riorganizzazione del sistema insediativo e del sistema delle infrastrutture, a quelle di tutela e di valorizzazione del sistema ambientale (Ricci, 2018), e dei suoi valori ecologici, paesaggistici, storici, culturali, sociali ed economici; dalle politiche locali dei 'territori' a quelle nazionali e sovranazionali; fino a quelle di coesione economica, sociale e territoriale (EU, 2007).

Questo anche in coerenza con la più ampia esigenza di coordinamento interistituzionale e di integrazione intersettoriale richiamato nell'Agenda Urbana Europea, attraverso la definizione di partnership interistituzionali che coinvolgano le città, gli stati membri, le istituzioni dell'Unione Europea e ulteriori soggetti interessati (ong, partner commerciali ecc) al fine di promuovere e attuare politiche comuni di rigenerazione delle città e dei territori, che supportino, tecnicamente ed economicamente, una convergenza verso le 12 priorità tematiche (EU, 2016).

In questo contesto, considerando ormai acclarato che gli strumenti tradizionali per la costruzione della città pubblica, che deve rappresentare, come si è detto, l'obiettivo prioritario degli interventi di rigenerazione urbana -il PRG, l'esproprio per pubblica utilità, gli oneri di urbanizzazione- siano da considerarsi inadeguati, anche ai fini della garanzia di una equa redistribuzione della rendita a favore del pubblico, appare evidente come la rigenerazione sia inattuabile in assenza di una riforma organica della legislazione urbanistica nazionale, che riconduca la strategia nell'alveo dell'urbanistica e del governo del territorio, quale principio e finalità.

Rigenerazione, dunque, non come somma di interventi edilizi, settoriali e puntuali, e nemmeno esito di una gestione discreta e "delegata" in toto alla cittadinanza, quale "cura dei beni comuni", ma strategia organica, integrata, di iniziativa pubblica, finalizzata a conseguire, all'interno di appositi "ambiti" da sottoporre a intervento indiretto, attraverso interventi di ristrutturazione urbanistica, in primis, *l'adeguamento e l'incremento delle dotazioni urbanistiche e territoriali per servizi primari e secondari; il contenimento del consumo di suolo; il rinnovo e la sostituzione edilizia; la riqualificazione energetica e la decarbonizzazione; la ripermabilizzazione di suolo già impermeabilizzato e il mantenimento della permeabilità di quello non impermeabilizzato; il completamento del ciclo integrato dei rifiuti e l'economia circolare; il miglioramento delle prestazioni energetiche ai fini della riduzione delle emissioni nocive e della dispersione di calore; la garanzia di una maggiore sicurezza in relazione al rischio sismico e idrogeologico; il miglioramento dei servizi ecosistemici del territorio; la sostenibilità sociale e il diritto all'abitare*¹.

¹ Cfr. Art. 17, co. 2, Proposta di legge di iniziativa del Deputato R. Morassut, "Principi fondamentali e norme generali in materia di governo del territorio", AC n. 283, 13.10.2022.

La riforma per il governo del territorio, nel fare chiarezza rispetto alla stratificazione di atti e provvedimenti normativi spesso disorganici e contraddittori riconducibili agli ultimi trenta anni, deve, quindi, sancire una netta inversione di tendenza rispetto alla ormai consolidata modalità che, da una parte, vede il moltiplicarsi di interventi sulla normativa edilizia per modificare le regole urbanistiche, di fatto andando a colpire proprio l'essenza pubblicistica delle stesse, nel convincimento che una sommatoria di interventi puntuali sia necessaria per il rilancio del settore immobiliare e sufficiente per parlare di rigenerazione urbana (Morassut, 2015; Ricci, 2015); e che, dall'altra, nel mentre viene dilazionata e negata la promozione di una legge di riforma organica, registra la proliferazione di proposte che, a fronte di una chiara settorialità dei punti di vista e delle competenze, veicolano strategie generali fortemente incidenti sull'assetto delle città e dei territori nel loro complesso, riducendo, anziché coadiuvare, la capacità di governarli (leggi nazionali e regionali sulla rigenerazione urbana, leggi sul consumo di suolo ecc).

E quanto tutto questo abbia inciso e incida gravemente sulle nostre città, appare tangibile nella ormai dimensione generalizzata dei fenomeni di marginalità socioeconomica, urbanistica e culturale, di disuguaglianza sociale e povertà, nello squilibrio territoriale, nella carenza di infrastrutture pubbliche, di opere di urbanizzazione primaria e secondaria, di dotazioni e standard urbanistici, con una conseguente sottrazione dei diritti fondamentali per le comunità, e, non di meno, nelle crescenti difficoltà che le amministrazioni locali incontrano per governarle, spesso proprio a causa di una complessità e impraticabilità della normativa edilizia e urbanistica, che, a fronte di un corpus legislativo nazionale vigente molto datato e mai sostanzialmente riformato, conduce frequentemente a un trasferimento dei conflitti e delle contraddizioni nelle aule della giustizia amministrativa e civile (Morassut, 2015).

3. Prospettive, approcci e riferimenti. Per una nuova concezione integrata e sperimentale

La ricerca di un nuovo *welfare urbano*, e, più in generale, il governo della città contemporanea, richiedono, dunque, la messa in campo di una nuova concezione, che, attraverso un approccio sperimentale, connotato da alti livelli di interdisciplinarietà, interscalarità, iteratività e integrazione, recepisca le nuove istanze, rispondendo, sia all'esigenza di una visione di insieme, capace di interpretare gli esiti e le potenzialità di rigenerazione dopo la fase dell'esplosione urbana, sia quella di un rinnovato rapporto con i processi di pianificazione e di progettazione.

Integrazione da cui far discendere, operativamente, una convergenza di paradigmi, apparati normativi e regolamentari; programmi; nuove forme e nuovi contenuti degli strumenti; meccanismi attuativi; parametri e indicatori di *performance*; prototipazioni; livelli di governance; per sostanziare la nozione di rigenerazione urbana, costruire la città pubblica e realizzare il nuovo *welfare*, dando attuazione a una concreta politica di programmazione e di produzione di servizi.

Su questo obiettivo convergono ricerche ed esperienze condotte a livello nazionale e internazionale che, attraverso la sperimentazione concreta nei piani, nei programmi e nei progetti, hanno prodotto nuovi punti di vista, praticato nuovi approcci, comunque caratterizzati dalla tendenza a un superamento dei dispositivi logici legati ai concetti di *separazione* e *contrapposizione* (Ricci, 2018).

A questi fini appare, quindi, necessaria, l'elaborazione di nuove prospettive e di nuovi riferimenti teorico-metodologici e operativi, che utilizzino la dimensione fisico-territoriale quale riferimento strutturale, cogliendo *"il nesso diretto fra le trasformazioni produttive e sociali del Paese e le ricadute sulle città e il territorio"* (Campos Venuti, 2004) e che recuperino significative relazioni tra comprensione e proposta.

In questo quadro di consistente complessità, nell'ambito della ricerca di una linea di convergenza tematica e di prospettiva interdisciplinare e sperimentale coerente con questa nuova concezione, trova riscontro anche un interessante sviluppo di strumenti e di *tools* per il *decision-making*, per il monitoraggio e la raccolta dati, nonché di metodi per redigere inventari relativi alle diverse componenti territoriali alla scala urbana, per una valutazione degli impatti delle scelte e del loro livello di efficacia e di efficienza.

Tra le nuove tecnologie, i Digital Twin (DT) stanno emergendo come strumenti potenzialmente strategici per governare e orientare processi decisionali *data-driven*, attraverso l'utilizzo e la messa a sistema di una consistente quantità di dati *machine-readable*, riferiti alla città, nelle sue differenti dimensioni fisiche, socioeconomiche, ecologico-ambientali, ecc, monitorando linee di tendenza e consumi, rilevando dinamiche e simulando scenari futuri, consentendo, così, di aprire nuove prospettive per comprendere, interagire e rispondere alle diverse istanze che scaturiscono dal territorio, sollecitate negli ultimi decenni, come si è visto, dalla nuova *questione urbana*.

Traendo le mosse da sperimentazioni soprattutto condotte nell'ambito dell'industria delle costruzioni, a livello edilizio, il DT riferito agli ambienti urbani registra un'attenzione crescente sia nella ricerca scientifica, sia attraverso alcuni studi su progetti pilota, utili a evidenziare e a sondare potenzialità e limiti, questi ultimi, in particolare, riferiti alla produzione/gestione dei dati necessari ad alimentare queste tecnologie, tra cui quelli legati alla *privacy* e all'etica.

Nonostante, tuttavia, siano annoverabili diversi casi di studio applicativi a livello internazionale estesi alla dimensione del quartiere, quale dimensione intermedia tra il complesso di edifici e la scala urbana propriamente detta, e, in quanto tale, più facilmente documentabile, e che siano individuabili anche in Italia prospettive di sviluppo di DT all'interno dei programmi di alcune amministrazioni locali, l'utilizzo di queste nuove tecnologie alla scala urbana appare ancora in una fase primordiale e sperimentale, in quanto *"Non esistono protocolli, procedure o pratiche codificate. La definizione stessa di DT a scala urbana non è univocamente stabilita e in letteratura è riportata in molteplici versioni, che mettono in evidenza le varie declinazioni del concetto"*².

2 Cfr. *Introduzione*, 1.1 Obiettivi e metodologia del volume.

4. La riflessione, il percorso e gli obiettivi

In questo contesto, il Volume restituisce i risultati di un percorso di ricerca condotto, a vario titolo, dalle Autrici, nell'ambito delle attività che il Master Universitario di II livello in "Construction Digital Twin e Artificial Intelligence. Tecnologie e processi digitali nell'ambiente costruito", afferente al Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura (PDTA) della Sapienza Università di Roma, svolge in coerenza con il Progetto culturale dello stesso Dipartimento, interprete attivo e propulsivo delle istanze di cambiamento sociali, culturali, economiche e politiche, caratterizzato da una capacità di proposta e di azione, come luogo, spazio pubblico al centro delle interazioni con il contesto urbano e territoriale.

Facendo interagire, in un'ottica sperimentale, approcci a carattere teorico metodologico e approcci a carattere operativo, il Volume affronta, dunque, una riflessione utile a delineare categorie di descrizione e valutazione, e categorie propositive, necessarie per la messa a punto di un quadro di riferimento che consenta una sistematizzazione e un utilizzo esteso, anche attraverso un lessico condiviso, di queste nuove tecnologie alla scala urbana, a partire dal dibattito e dalle esperienze in corso, in Italia e nel mondo, e attraverso un metodo induttivo, iterativo, interscalare, e interdisciplinare, che persegue il soddisfacimento di tre esigenze disciplinari basate sulla continuità comprensione/proposta.

Le prime due esigenze, di *contestualizzazione* e di *operatività*, considerano l'opportunità di una messa a fuoco dei riferimenti teorico-metodologici e sperimentali da approfondire e declinare, a partire, rispettivamente, dalla disamina del dibattito e delle ricerche in corso, e delle *best practice* esito di esperienze condotte a livello nazionale e internazionale.

Una terza esigenza, di *sperimentazione*, attraverso la ricomposizione dialettica dei riferimenti individuati, risponde alla necessità di giungere alla prefigurazione di riferimenti operativi per l'utilizzo del DT alla scala urbana, delineandone possibili percorsi evolutivi, anche con specifica attenzione alle esigenze conoscitive delle amministrazioni che abbiano intenzione di adottare, all'interno dei propri programmi di governo, questa tecnologia abilitante.

5. Il Volume, le Parti e i nodi tematici

In coerenza con queste tre esigenze, la riflessione fa riferimento a tre momenti interattivi, riconducibili alle prime tre Parti del Volume³.

Esso presenta, nel suo insieme, come si è detto, un approccio scientifico e aperto all'interdisciplinarietà, che si misura sulle due dimensioni teorico-metodologica

³ Cfr. Parte prima, *Stato dell'arte e concettualizzazione del digital twin alla scala urbana*; Parte seconda, *Funzionalità, attori e struttura del digital twin alla scala urbana*; Parte terza, *Tecnologie abilitanti*.

e operativa, interagenti attraverso una terza dimensione, corrispondente alla sperimentazione.

La dimensione teorico-metodologica trova riscontro nella costante ricerca, estesa a tutta la trattazione, di categorie, parametri e indicatori, finalizzati a restituire un quadro sistematico e coerente, sia per quanto attiene le fasi conoscitive e valutative (che rispondono alle due esigenze di *contestualizzazione* e di *operatività*), sia per quanto attiene alla fase propositiva (che risponde all'esigenza di *sperimentazione*): dall'esplicitazione delle categorie di selezione e di lettura delle fonti e dei casi, all'uso di tabelle analitiche e di tabelle di sintesi interpretativa⁴, in corrispondenza delle Parti o di Capitoli di esse; alla individuazione sintetica e ragionata di tassonomie e di definizioni ricorrenti, di quadri tematici, di ambiti di applicazione, di approcci adottati; dal metodo di costruzione e disseminazione di un *survey* per l'amministrazione pubblica, fino alla restituzione e validazione dei risultati ottenuti; alla configurazione di una architettura concettuale comprensiva delle sue singole componenti, fino all'ampia Bibliografia, articolata in funzione delle specificità di trattazione delle singole Parti e che costituisce, per questo, una sorta di "ricerca nella ricerca".

La dimensione operativa fa riferimento alla selezione di casi di studio riferiti eminentemente a progetti pilota e ad esperienze significative di livello nazionale e internazionale, all'approfondimento degli ambiti di applicazione, alla scelta di considerare la committenza pubblica e, in particolare, gli enti locali, come principali interlocutori e destinatari del *survey*, nonché delle informazioni relative alle pratiche necessarie per lo sviluppo di un DT alla scala urbana; alla definizione di un quadro finale sistematico ed evolutivo delle tecnologie abilitanti.

La prima Parte⁵, a partire da un approfondimento conoscitivo diacronico del dibattito scientifico e delle ricerche, delinea un quadro definitorio e dello stato dell'arte del DT alla scala urbana, individuando i principali e ricorrenti elementi caratterizzanti, utili ai fini di una sistematizzazione teorico-metodologica, ed evidenziando, al contempo, potenzialità, sfide e problematiche aperte.

La *contestualizzazione* viene completata con una rassegna di progetti pilota ed esempi concreti, a carattere interscalare, applicati dal livello del quartiere a quello dell'intera città.

La seconda Parte⁶, a partire dalla configurazione di un lessico di classificazione delle esperienze, delle applicazioni e delle *best practice* sul campo disponibili, comprensiva delle metriche descrittive, pone l'attenzione sulla struttura attiva del DT alla scala urbana, avendo come obiettivo la restituzione di una visione complessiva delle funzionalità e dei ruoli chiave che interagiscono nei processi di realizzazione del DT. Di particolare interesse il *survey*, somministrato a diversi attori appartenenti all'organizzazione di enti locali (assessori, dirigenti, responsabili di aree/settori, agenzie e fondazioni), riferito al periodo

4 Cfr. *Elenco Tabelle* (23 Tabelle di analisi, 9 Tabelle riassuntive).

5 Cfr. Parte prima, *Stato dell'arte e concettualizzazione del digital twin alla scala urbana*.

6 Cfr. Parte seconda, *Funzionalità, attori e struttura del digital twin alla scala urbana*.

dicembre 2022/gennaio 2023, che dà conto della visione di 8 diverse municipalità italiane relativa ai percorsi di realizzazione del DT, sotto il profilo delle aspettative, degli obiettivi, delle difficoltà, degli ambiti di applicazione, dei processi e dei livelli di sviluppo, degli attori coinvolti, dei temi affrontati, e delle collaborazioni attivate.

Nello specifico, le 8 municipalità⁷, selezionate nell'ambito del network delle città appartenenti alla mission "*Climate-Neutral and Smart Cities*", sono impegnate nel raggiungimento dell'obiettivo di decarbonizzazione fissato al 2030, e, in quanto tali, sono ricomprese tra quelle che più attivamente stanno elaborando a questi fini strategie e azioni, tra cui, appunto, la digitalizzazione dell'ambiente costruito, con priorità per l'attivazione di procedure e strumenti tecnologici per il *data-driven decision making*. Nonostante, tuttavia, il ricorso al CDT sia, pertanto, un'opzione comune a tutte queste città, gli esiti del survey mostreranno come il livello di sviluppo appaia considerevolmente differenziato.

La Parte viene integrata con due focus dedicati al perseguimento di obiettivi a carattere trasversale per cui i DT alla scala urbana svolgono un ruolo essenziale: il DT per il *data-driven decision making* e la governance urbana, e i DT a supporto della "*clean and green transition*".

Degna di nota anche la riflessione conclusiva sulle modalità di coinvolgimento della componente umana, intesa sia come fonte o produttrice attiva di dati, sia come elemento della struttura stessa del DT, per il completamento del "*loop*" di funzionamento.

La Parte terza⁸, a partire dalla ricomposizione dialettica dei riferimenti individuati nelle prime due Parti, restituisce un'ampia rassegna dedicata al tema delle tecnologie abilitanti del DT alla scala urbana.

La loro identificazione, che rappresenta un contributo originale delle Autrici, in linea con il connotato sperimentale della Parte, trae le mosse dalla descrizione delle tecnologie abilitanti del DT, così come declinate nel settore AECO, procedendo poi a un'integrazione in termini prospettici, che tiene conto del salto dalla scala edilizia alla scala urbana, nonché della maggiore complessità e del numero più rilevante di fattori in gioco, che tale variazione comporta.

L'individuazione delle tecnologie abilitanti del DT alla scala urbana, e la prefigurazione di possibili percorsi evolutivi, pone, come detto, particolare attenzione alle istanze operative espresse dalle amministrazioni, e risponde alla esigenza di una chiara e univoca comprensione del ruolo e delle potenzialità di applicazione, anche attraverso il supporto di numerosi riferimenti a esperienze concrete e di una consistente letteratura.

Il Volume si conclude⁹ con una quarta Parte, che si sofferma su alcuni nodi tematici desunti dal dibattito in corso sui DT a scala urbana, aprendo all'individuazione di future e quanto mai necessarie linee di approfondimento.

In particolare, esse fanno riferimento:

7 Si tratta delle Municipalità di Bergamo, Bologna, Firenze, Milano, Padova, Parma, Prato, Roma.

8 Cfr. Parte terza, *Tecnologie abilitanti*.

9 Cfr. Parte quarta, *Conclusioni e futuri sviluppi*.

- al DT come possibile strumento di informazione e partecipazione dei cittadini alle dinamiche di trasformazione della città;
- alle modalità di inclusione e, conseguentemente, di rappresentazione degli aspetti socio-culturali, economici e politici (dati immateriali);
- al data management;
- a una possibile, ulteriore, estensione dei campi di applicazione del DT, oltre la scala urbana, fino a interessare la dimensione nazionale.

Bibliografia

Amin A., Thrift N. (2001), *Città, Ripensare la dimensione urbana*, Il Mulino, Bologna.

Campos Venuti G. (2001), “Il piano per Roma e le prospettive dell’urbanistica romana”, in *Urbanistica* n. 110.

Campos Venuti G. (2004), “Una strategia per il riequilibrio delle trasformazioni territoriali”, in *Forum dialogos*, Barcellona, 8 settembre 2004.

Commissione Parlamentare d’inchiesta sulle condizioni di sicurezza e sullo stato di degrado delle città e delle loro periferie, *Relazione sull’attività svolta*, 2017.

Correia D, et al. (2022) “The State-of-the-Art of Smart Cities in the European Union”, in *Smart Cities*, 5(4), 1776-1810.

EU (2021), REGULATION (EU) 2021/1056 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 June 2021 establishing the Just Transition Fund.

EC (2019), COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal, Brussels, 11.12.2019 COM(2019) 640 final.

EC (2007), *State Aid Control and Regeneration of Deprived Urban Areas*, Commission Staff Working Document.

EU (2016), *Urban Agenda for the EU. Pact of Amsterdam*. Agreed at the Informal Meeting of EU Ministers Responsible for Urban Matters, 30 May 2016, Amsterdam, The Netherlands.

EU (2021/2027), THE EU RESEARCH AND INNOVATION PROGRAMME (2021-27) FOR A GREEN, HEALTHY, DIGITAL AND INCLUSIVE EUROPE.

EU (2007), TREATY OF LISBON. AMENDING THE TREATY ON EUROPEAN UNION AND THE TREATY ESTABLISHING THE EUROPEAN COMMUNITY (2007/C 306/0).

Eurostat (2019), *Ageing Europe*.

Fregolent L., Indovina F., Savino M., a cura di, *L’esplosione della città*, Editrice Compositori, Bologna 2005.

Galdini R. (2008), *Reinventare la città. Strategie di rigenerazione urbana in Italia e in Germania*, Milano, FrancoAngeli.

- IV Forum Internazionale di Studi (2008), *Le città del Mediterraneo*, Iiriti Editore, Reggio Calabria.
- Morassut R. (2015), “Governo del territorio, grande assente nella stagione delle riforme”, in Ricci L., a cura di, *Governo del territorio: le riforme necessarie. Cosa cambia?*, Urbanistica informazioni n. 261-262.
- Oliva F. (2010), *Città senza cultura. Intervista sull'urbanistica a Giuseppe Campos Venuti*, Laterza.
- Ricci L. (2022), “Prefazione. La prospettiva ambientale della rigenerazione urbana. Piani e progetti per la città pubblica, tra assetti paesaggistici e transizione ecologica”, in A. Iacomoni, *Paesaggi d'acqua*, FrancoAngeli.
- Ricci L. (2019), “Governare la città contemporanea. Una nuova questione urbana”, in Ravagnan C., *Rigenerare le città e i territori contemporanei. Prospettive e nuovi riferimenti operativi per la sperimentazione*, Aracne Editrice, Roma.
- Ricci L. (2018), “Costruire la città pubblica per rigenerare la città contemporanea”, in Ricci L., Battisti A., Cristallo V., Ravagnan C., a cura di, *Costruire la città pubblica. Tra storia, cultura e natura*, Urbanistica Dossier Online n.15, Inu Edizioni, Roma.
- Ricci L. (2017), “Governare la Città contemporanea. Riforme e strumenti per la rigenerazione urbana/Governing contemporary cities: reform and measures promoting urban regeneration”, in *Urbanistica* n. 160.
- Ricci L. (2015), “Governo del territorio: una Riforma necessaria”, in Ricci L., a cura di, *Governo del territorio: le riforme necessarie. Cosa cambia?*, in *Urbanistica informazioni* n. 261-262.
- Ricci L. (2014), “Governare il cambiamento: più urbanistica, più piani”, in Franceschini A., a cura di, *Sulla città futura. Verso un progetto ecologico*, List, Trento.
- Ricci L., Iacomoni A., Mariano C. (2020), “Nuova questione urbana e nuovo welfare. Regole, strumenti, meccanismi e risorse per una politica integrata di produzione di servizi”, in *Ananke* nn. 90/91/2020.
- UN (2016), *Resolution adopted by the General Assembly n. 66/207. Implementation of the outcome of the United Nations Conference on Human Settlements (Habitat II) and strengthening of the United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat)*.
- UN (2015), *2030 Agenda for Sustainable Development*.
- UNISDR (2012), *How to make cities resilient*.
- UNFCCC (2015), *Paris Agreement*.
- WHO (2005), *Air Quality Guidelines. Global Update 2005*.