

Relazione scientifica annuale sull'attività svolta nell'ambito dell'assegnato di ricerca "Metodi strumenti e procedure scientifiche innovative e sperimentali per il supporto tecnico al monitoraggio e alla valutazione dei processi di rigenerazione urbana ed efficientamento del patrimonio edilizio esistente"

Assegnista di ricerca: Antonio Magarò

Docente referente: prof. Fabrizio Finucci

Periodo di riferimento della relazione: dal 01.04.2024 al 31.03.2025

Parole chiave

Patrimonio edilizio, *Digital twin*, Simulazione architettonica e urbana, *Building Information Modelling*

1. Stato dell'arte

La rigenerazione urbana è certamente l'insieme dei modelli, metodi, strumenti e pratiche rivolte al tessuto della città con lo scopo di rivitalizzare la trama urbana attraverso un approccio integrato che contempli gli interventi fisici, le tecnologie (nuove e tradizionali), gli aspetti sociali, economici, culturali e partecipativi.

Rigenerare il patrimonio edilizio, soprattutto quello delle principali urbanizzazioni europee, come Roma Capitale, assume il significato di dotarsi di visioni e strumenti in grado di incidere sulle strutture (*hardware*) e sulle identità (*software*), individuando nella città e nel suo patrimonio un ecosistema complesso che tende a un equilibrio dinamico, fatto di legami che continuamente si formano e si rompono.

A tale complessità si aggiunge il rapporto con la *governance* dei processi, che deve essere in grado di costituirsi in elemento risolutore e attivatore delle differenti discipline.

Inoltre, lo sviluppo sostenibile, le azioni a basso o nullo impatto ambientale e la necessità di efficientare consumi e risorse energetiche sono tratti ineliminabili della città del futuro, sebbene necessariamente coniugati con il perseguimento del benessere collettivo e del miglioramento della qualità della vita.

Pertanto, la rigenerazione urbana deve ambire a un modello di città in grado di reagire in modo proattivo ed efficace rispetto a ogni stimolo che possa maturare all'interno della collettività o derivare da fattori esterni e non controllabili, legati a rischi naturali, sanitari e/o antropici; una concezione di governance improntata su adattabilità e flessibilità delle soluzioni rispetto alle problematiche da affrontare, secondo un *modus operandi* che, certamente, possa consentire di impiegare, al meglio, le risorse infrastrutturali e tecnologiche e disposizione, ma che, in ogni caso, sia supportata da un correlato processo di maturazione culturale della collettività, resa partecipe e consapevole e disposta a contribuire al perseguimento dell'interesse generale e del bene comune in nome di un effettivo sentimento condiviso.

Le complesse questioni riguardanti la qualità della vita, sia nei centri urbani che all'interno dei sobborghi a essi limitrofi, postulano, è noto, strategie condivise e una visione d'insieme finalizzata a una accorta pianificazione, inerente, in via puramente esemplificativa, il consumo

del suolo, la sicurezza, la mobilità, la sostenibilità, la salvaguardia del patrimonio ambientale e culturale.

È proprio sul territorio, difatti, che si riversano le tensioni della società nel contemperare ambiente, utilizzazione e fruibilità dello spazio entro cui si svolge la vita quotidiana dell'individuo, sviluppo economico e vocazioni sociali, anche perché esso costituisce il "terminale necessario" della gran parte delle attività umane, specie quelle aventi un contenuto economico: in verità, è la disciplina dell'uso del territorio, per gli aspetti in cui interagisce con il sistema economico, a costituire di per sé momento importante di interesse pubblico (Lombardi, 2016).

Si innestano, in quest'ottica, le politiche di "rigenerazione urbana", comprensive di iniziative capaci di incidere non solamente in riferimento al tessuto urbanistico, ma anche sul contesto socio-ambientale del territorio interessato, non limitandosi, quindi, a una mera "riqualificazione" (edilizia), bensì ingenerando un processo di trasformazione che superi preesistenti condizioni di degrado e consenta la riscoperta dei valori sociali e di qualità di vita nella città (Simonati, 2019).

È necessario tenere in considerazione che, ormai da anni, la pianificazione urbanistica non prevede più l'approccio all'organizzazione territoriale mediante zonizzazione, nell'ambito di piani gerarchizzati a cascata (Bellomia, 2003) con un atteggiamento del pianificatore quale riferimento dotato di poteri tecnici discrezionali (Ferrara, 2014). Piuttosto, l'azione amministrativa è rivolta alla negoziazione e non al confinamento e rimodellamento della proprietà privata mediante i confini dello spazio pubblico (Graziosi, 2018): la rigenerazione urbana del patrimonio architettonico prevede l'intervento importante dell'iniziativa privata per l'interesse pubblico, superando le sproporzioni tra pubblica amministrazione e cittadini/proprietari (Amorosino, 2019).

Abbandonando la tradizionale concezione di pianificazione urbanistica intesa alla stregua di mera razionalizzazione del territorio mediante l'attribuzione, in primo luogo, di diversificati indici di fabbricabilità, il processo di nuova definizione degli spazi urbani ben può tendere, oggi, al conseguimento dell'obiettivo di ottimizzare il consumo del suolo mediante il ricorso alle moderne tecnologie, così da postulare la maturazione di una "comunità intelligente", capace di garantire iniziative «inclusive intelligenti» (Fracchia e Pantalone, 2015), anche per il tramite dell'implementazione di sistemi di connettività diffusa e di digitalizzazione delle comunicazioni e dei servizi (Midiri, 2018).

Il monitoraggio e la valutazione sono ingredienti ancor più significativi per la gestione dei processi di rigenerazione urbana, perché consentono di modificare e riorientare le scelte attribuendo loro un potere anti-deterministico e garantendone la flessibilità nel tempo.

Il monitoraggio e la valutazione presentano alcune similitudini: si fondano sulla raccolta di informazioni e analizzano un progetto o un programma in termini reali relativi agli effetti diretti sugli utenti, con lo scopo di trarre conclusioni utili.

Le differenze sono altresì sostanziali:

- il monitoraggio è relativo alla fase di attuazione del progetto o del programma di rigenerazione del patrimonio e si propone lo scopo di raccogliere in maniera continua e sistematica una serie di informazioni;
- la valutazione si realizza in una fase avanzata dell'attuazione del progetto o del programma (in itinere) o addirittura successivamente (ex post) con lo scopo di

identificare il raggiungimento degli obiettivi prefissati ed eventualmente inserire contromisure di ri-orientamento.

Pertanto, si tratta di famiglie strumenti di supporto al decisore (*Decision Support Systems DSS*) di grande utilità per il raggiungimento della qualità. Questa, nell'ambito della rigenerazione urbana si misura quando i progetti o i programmi sono:

- rilevanti, ovvero rispondono a esigenze prioritarie per gli utenti;
- fattibili, quando sono ben impostati e forniscono benefici sostenibili per la comunità di riferimento;
- efficaci, se sono gestiti in maniera efficiente e, al contempo realizzano le previsioni.

1.1 Il monitoraggio

Le attività di monitoraggio con lo scopo di supportare il decisore nel perseguire la qualità del progetto o del programma sono articolate in almeno tre momenti:

1. revisione del progetto o programma, per acquisire informazioni e riflettere su quanto si sta realizzando e, al contempo, studiare eventuali adattamenti;
2. ri-pianificazione, durante la fase di attuazione di un progetto o programma si verificano sempre scostamenti rispetto le previsioni che rendono le attività obsolete;
3. reportistica aggiornata sui progressi fisici ed economici del progetto o programma, con lo scopo di coinvolgere e attivare tutti gli attori del processo, con particolare riferimento all'ente finanziatore ovvero la pubblica amministrazione.

Attuando politiche concrete di monitoraggio, la fase di attuazione di un programma o di un progetto di rigenerazione urbana del patrimonio si trasforma in un momento prolungato di apprendimento virtuoso, attraverso il quale la pubblica amministrazione impara da quanto pianificato e riversa ricorsivamente quanto imparato sul ri-orientamento del progetto o programma stesso, incrementando le probabilità di successo.

I dati che il monitoraggio deve acquisire sono inerenti a:

- rilevanza e fattibilità del progetto;
- progressi che si stanno ottenendo in relazione agli obiettivi prefissati;
- gestione del processo in relazione soprattutto alla individuazione dei fattori di rischio e degli eventi inattesi;
- eventuali azioni da intraprendere.

1.2 la valutazione

Nella fase di attuazione del progetto o del programma di rigenerazione urbana, la valutazione ha lo scopo di:

1. verificare il conseguimento degli obiettivi;
2. sostenere i processi decisionali relativi alle azioni intraprese e da intraprendere nel periodo immediatamente successivo.

Pertanto, la valutazione è un complesso di azioni puntuali generalmente affidate a organismi esterni alla pubblica amministrazione, soggetto attuatore del progetto o del programma. In tal caso, la valutazione deve considerarsi come attività di "formazione" in quanto è sorgente di apprendimento dati dalla fase realizzativa, utili a migliorare la qualità futura dell'oggetto stesso o di quelli futuri.

La valutazione necessita di attenersi a una serie di principi:

- imparzialità e indipendenza della funzione valutativa rispetto alle funzioni di indirizzo politico e realizzativo;
- credibilità, garantita dal supporto della ricerca scientifica accademica, ma anche dalla trasparenza dei processi e dalla diffusione dei risultati raggiunti;
- partecipazione di tutti i portatori di interesse a completamento di processi di reale partecipazione che determinino l'apporto di ciascuno;
- utilità in termini di capacità di fornire tempestivamente risultati e raccomandazioni.

2. Delimitazione del problema scientifico

Le ICTs ricoprono un ruolo centrale sia nei processi conoscitivi, di ricerca e divulgazione, sia nei processi di progettazione dove svolgono il ruolo di interfaccia tra competenze tecniche diverse. Queste tecnologie hanno avuto uno sviluppo molto significativo nell'ambito del Patrimonio architettonico nel quale svolgono compiti particolarmente complessi quali la comunicazione e la divulgazione in campi extra-disciplinari.

In presenza di una grande molteplicità di dati, frutto delle attività di monitoraggio e valutazione, con lo scopo di semplificare le fasi di elaborazione, può essere utile attingere al campo delle ICT per sfruttare strumenti informatizzati di supporto al processo decisionale, dotati di moduli quali database, modelli matematici, modelli di simulazione, etc.

Sistemi in grado di integrare tali caratteristiche prendono il nome di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS).

Il concetto di DSS è estremamente ampio e non esiste una definizione unica dello stesso: alcuni sostengono che non può esistere [Keen, 1980]. Tuttavia, molti autori in letteratura cercano di fornire definizioni a livello tecnico, sia in modo concettuale che concreto.

Una definizione generale prevede che i DSS siano sistemi basati sull'ausilio dello strumento informatico per il supporto al processo decisionale [Finlay, 1994]. In maniera più accurata, si può definire un DSS come un sistema, basato sull'utilizzo del computer, interattivo, flessibile e adattabile, sviluppato principalmente, ma non solo, per supportare la soluzione di un processo decisionale non strutturato [Turban, 1995].

Verso la fine degli anni Novanta tali sistemi si diffondono, ancora una volta in contemporanea con la diffusione dei personal computer. Allo stesso tempo la definizione diventa sempre più complessa e comprensiva. I DSS si possono definire come sistemi informativi, interattivi, concepiti per assistere le attività del decisore, aiutando i manager a trovare, sintetizzare e analizzare informazioni importanti, aumentando e velocizzando il processo decisionale e tramite i quali le persone apprendono e comunicano le decisioni [Power, 1997]. Pertanto, un DSS può essere sia un processo sia uno strumento per risolvere problemi troppo complessi per l'uomo e troppo qualitativi per il computer [Magarò, 2020]. Obiettivi multipli possono ulteriormente complicare il compito del decisore qualora siano in contrasto tra loro. Come un processo, un DSS è un modo sistematico per guidare decisori e stakeholders verso l'obiettivo di considerare tutte le possibili alternative, valutando le eventuali opzioni per determinare la soluzione che meglio risolve il problema. Come strumento, il DSS include funzionalità per la determinazione di alternative e meccanismi per la loro analisi comparativa, la determinazione di priorità e la scelta sulla base di criteri, obiettivi e vincoli imposti dall'utente. Un approccio partecipativo, che

coinvolga utenti, pianificatori e i decisori a ogni livello, è visto come un fattore di successo per un DSS.

Infatti, gli utenti spesso non sono in grado di specificare, in prima approssimazione, tutti i requisiti e le aspettative del processo decisionale e un loro continuo coinvolgimento permette di valutare correttamente il problema e contribuire alla sua risoluzione [Magarò, 2020].

2.1. Il Decision Support System come piattaforma tecnica e scientifica

Un processo decisionale è una successione di attività elementari che hanno luogo nel momento in cui un individuo o un'organizzazione prende una decisione. Ogni attività produce dei risultati che alimentano le attività successive, ma si riverberano anche sulle precedenti, consolidandole o avversandole. Naturalmente i processi decisionali possono essere anche molto diversi a seconda del soggetto che prende la decisione. Per la maggior parte degli studiosi di DSS, il processo decisionale può essere rappresentato con il modello proposto da Simon [1955] nella metà degli anni Cinquanta e ancora oggi ritenuto soddisfacente. Il modello di Simon suddivide il processo in tre fasi principali, da ognuna delle quali è possibile tornare alle precedenti, e consistono in:

- *intelligence*, è la fase in cui si raccolgono informazioni sia dall'ambiente esterno che interno per individuare e circoscrivere un problema da affrontare;
- *design*, questa fase consiste nel comprendere il problema, generare soluzioni possibili e analizzarle. È in questa fase che intervengono le capacità e l'esperienza del decisore, nonché la sua creatività soprattutto nel generare le alternative;
- *choice*, in questa fase si procede alla valutazione e quindi alla scelta delle alternative formulate nella fase precedente. Si definiscono a tal fine dei parametri e degli indicatori che permettano di fare sia confronti fra i piani d'azione che previsioni su quali saranno le conseguenze delle scelte.

Il processo decisionale definito nel modello di Simon è anche detto "processo decisionale a razionalità limitata", perché secondo Simon nella maggior parte dei casi il decisore non ha interesse a raggiungere la soluzione ottimale, ma piuttosto una soluzione approssimata che rispetti alcuni obiettivi a discapito di altri.

Alcuni studiosi, come ad esempio Rubenstein e Haberstroh [1966], ampliano il modello di Simon aggiungendo alle fasi da lui delineate anche le fasi di implementazione della decisione e verifica dei risultati e, se necessario, il *feedback* alle fasi precedenti al fine di poter modificare la decisione. Un *Decision Support System* è un sistema software che mette a disposizione dell'utente, il decisore, una serie di funzionalità di analisi dei dati e utilizzo di modelli in maniera interattiva ed estremamente semplice, allo scopo di aumentare l'efficienza e l'efficacia del processo decisionale.

Dalla definizione emergono, quindi, gli aspetti essenziali di un DSS:

- facilità d'uso e flessibilità dell'interfaccia utente;
- ambiente interattivo;
- supporto per la soluzione di problemi non strutturati o semi strutturati;
- efficacia nell'utilizzo dei modelli e nell'analisi dei dati di interesse;
- possibilità per il sistema di diventare parte integrante del processo decisionale.

Quello che si richiede ad un DSS è la capacità di consolidare informazioni, di produrre reports o dati previsionali, di consentire simulazioni, il tutto in modo flessibile e semplice.

Nell'ambito degli studi svolti su DSS diverse sono le opinioni e gli approcci su quali siano le componenti fondamentali. L'approccio più diffuso è quello che individua tre componenti: una base dati, una base di modelli e un sistema software.

La **base dati** contiene dati e informazioni che, direttamente o indirettamente, interessano l'utente. In genere egli è interessato solo ad alcuni tipi di dati, a certe opportune aggregazioni, non a tutti o almeno non ad ogni dettaglio. Un DSS deve quindi avere una base dati indipendente rispetto alle basi dati gestionali e spesso integrata con informazioni esterne (es: tassi d'interesse, quotazioni, etc.). Va precisato che si tratta di una base dati relazionale con memorizzazione secondo viste diverse delle informazioni.

Da quanto appena detto è chiaro che la realizzazione di un DSS dipende sia dagli utenti che lo dovranno utilizzare sia dalle caratteristiche dei problemi che si intendono affrontare.

L'altra risorsa informativa di notevole importanza, oltre ai dati, sono i modelli di decisione. Proprio partendo dall'idea che i modelli sono una fonte importantissima di informazione si è evoluta negli ultimi 20 anni un'area della ricerca nell'ambito dei DSS: il *Model Management*.

Nella letteratura, il *Model Management* non è definito univocamente, ma, come per i DSS, ne esistono molti o, meglio, esistono diverse concezioni di modello. Quella predominante prevede che il modello sia una procedura automatizzata che analizza dati in risposta ad un determinato problema.

Una **base di modelli** contiene tutti i modelli, cioè le procedure, necessarie per risolvere i problemi dell'utente. Lo scopo della ricerca in questo campo è quello di introdurre un metodo per l'organizzazione e la gestione dei modelli come è già avvenuto per le basi di dati.

Il **sistema software**, secondo Sprague e Carlson [1982], è suddiviso in tre componenti: *data base management software* (DBMS), *model base management software* (MBMS), *dialog generation/management software* (DGMS).

Il DBMS è il software che permette di definire schematicamente l'organizzazione dei dati, memorizzarli, modificarli, gestirli permettendo una interrogazione semplice della base dati.

Il MBMS deve facilitare la memorizzazione, la modificazione e l'uso dei modelli. Il ruolo di un MBMS è analogo a quello di un DBMS con una differenza sostanziale, che i primi gestiscono procedure e non dati. Proprio questa differenza ha indotto molti studiosi a cercare uno standard per i MBMS, ma ancora non si è arrivati ad un risultato accettabile al pari dei DBMS e nella pratica si seguono diversi approcci, ancora lontani dall'essere dei sistemi di gestione veri e propri.

Il DGMS è il software che realizza l'interfaccia utente, definisce, quindi, il tipo di interazione con esso. Determina le richieste che l'utente può fare, quali risposte può ottenere e in che modo, inoltre lo guida nell'uso del DSS. Questa parte del sistema software è fondamentale per il successo di un DSS, poiché l'utente è fortemente interessato alle capacità di comunicazione del sistema e a come si fornisce l'interazione uomo-macchina oltre che alle sue capacità elaborative. La ricerca sui DSS prosegue in diverse direzioni ed è influenzata da molte altre discipline quali: Intelligenza Artificiale, Informatica, Psicologia, Teoria Manageriale.

Allo scopo di ottenere un sistema sempre più funzionale e utile, è sorta la necessità estendere le funzionalità dei DSS allargando le fonti di informazione di questi sistemi e rendendoli, quindi,

in grado di mantenere, gestire ed integrare immagini, testi e Basi di Conoscenza (cioè, insiemi di regole). Si enfatizza la necessità di una maggiore ricerca nella direzione dei DSS intelligenti, che usino tecniche di intelligenza artificiale. Un esempio di integrazione tra dati e conoscenza che si sta affermando è la crescente area dei DBMS esperti.

2.2. La capacità di integrazione del BIM

Il *Building Information Modelling* (BIM) è una metodologia di lavoro che permette di organizzare tutte le fasi di un progetto di costruzione, dalla progettazione alla realizzazione fino alla gestione, utilizzando un modello digitale. L'adozione del *Building Information Modelling* (BIM) può portare a numerosi vantaggi in particolare per le pubbliche amministrazioni (PA) italiane:

- miglioramento della qualità e dell'efficienza dell'opera: migliore progettazione dell'opera contribuendo a ridurre gli errori e i difetti di costruzione, inoltre, utilizzando un modello digitale condiviso tra tutte le parti coinvolte, si ha un maggiore controllo sul progetto e si possono eseguire modifiche in tempo reale, riducendo il tempo e i costi di realizzazione;
- trasparenza e controllo dei costi: stima più precisa dei costi di realizzazione dell'opera integrando tutte le informazioni di materiali, metodi di costruzione, etc. Inoltre, grazie alla tracciabilità di tutte le modifiche al progetto, si ha una maggiore trasparenza nel processo di appalto e realizzazione dell'opera, creando un sistema di dati orientato al *Decision Support System*;
- riduzione dei tempi di realizzazione: miglioramento della comunicazione e della condivisione di informazioni tra le parti coinvolte, che può portare a una riduzione dei tempi di realizzazione dell'opera;
- gestione e manutenzione post-costruzione: il BIM consente di avere una gestione più efficace del patrimonio edilizio una volta realizzato, in quanto oltre all'aspetto architettonico e strutturale, include anche informazioni relative a funzionalità, manutenzione, consumi energetici etc.;
- *digital twin*: l'utilizzo di modelli di dati strutturati, propri del BIM, garantisce la realizzazione di una database consistente di informazioni così che possono essere utilizzate nelle fasi di manutenzione in collegamento con la sensoristica;
- sostenibilità ambientale: il BIM può supportare la progettazione di edifici sostenibili, facilitando l'analisi del ciclo di vita del materiale di costruzione e la gestione dei rifiuti di costruzione;
- innovazione e digitalizzazione: l'adozione del BIM rappresenta un importante passo in avanti nel processo di digitalizzazione delle PA, contribuendo a migliorare l'efficienza e la qualità dei servizi offerti ai cittadini;
- interoperabilità: elemento fondamentale per l'adozione del BIM è la possibilità di permettere ai vari stakeholder di interfacciarsi tra di loro su una piattaforma aperta ed interoperabile, garantendo fruibilità del dato in tutta la filiera.

3. Obiettivi

La ricerca si propone di supportare il processo programmatico, progettuale e attuativo, relativo alle trasformazioni di rigenerazione urbana, recupero, razionalizzazione ed efficientamento del

patrimonio edilizio esistente. Obiettivo del programma è l'implementazione di un sistema di monitoraggio e valutazione dei processi di rigenerazione urbana e di efficientamento energetico del patrimonio edilizio esistente.

Tale sistema dovrà basarsi su una piattaforma informatica implementabile e aggiornabile. L'attività prevista dal programma di ricerca prevede due fasi principali e parallele: una fase di studio, analisi critica e repertoriazione dei principali metodi e tecniche di monitoraggio dei processi di rigenerazione; una fase di proposta applicativa di una metodologia su piattaforma informatica.

Gli obiettivi generali della ricerca sono:

- creare di una base comune di conoscenza di parte del patrimonio edilizio di Roma Capitale, con riferimento a quegli immobili del Novecento in stato di degrado e obsolescenza;
- introdurre elementi di razionalità nei processi decisionali attraverso la formalizzazione di sequenze logiche e articolate di step, con lo scopo di definire protocolli operativi per il monitoraggio e la valutazione;
- creare le condizioni per la partecipazione attiva ai processi di trasformazione per la rigenerazione urbana, individuando o creando strumenti di diffusione e informazione;
- sviluppare un substrato informatizzato per la condivisione dei dati che possa essere implementato quale standard per la pubblica amministrazione.

4. Risultati conseguiti

Oltre ad aver partecipato alle attività che hanno comportato il raggiungimento di una molteplicità di traguardi, tra cui le attività di supporto alla ri-progettazione di immobili afferenti al patrimonio architettonico del Novecento, l'Assegnista ha lavorato per il conseguimento di una serie di risultati specifici.

In particolare, si elencano i seguenti prodotti:

- elaborazione di linee guida per la creazione di una piattaforma informatizzata di monitoraggio e valutazione dei progetti e dei programmi di rigenerazione urbana;
- definizione di una serie di indicatori quali-quantitativi misurabili per la descrizione dei processi e dei progetti di rigenerazione urbana;
- creazione di un modello implementabile di raccolta dati da utilizzare nella fase di monitoraggio, basato sul rilievo geometrico e materico dell'edificio, riportato in un sistema BIM, il cui database possa essere interfacciabile con sistemi relazionali open-source interrogabili da altri software;
- implementazione del sistema di monitoraggio quale simulatore di un gemello digitale, necessario come prototipo dell'applicazione ad un sistema *Digital Twin*;
- divulgazione di alcuni risultati nell'ambito di diversi convegni e seminari.

5. Ulteriori sviluppi

La ricerca, della durata di un anno ulteriore, terminerà il 31.03.2025, per un totale di 2 anni. Alla data in cui si scrive, i risultati raggiunti sono quelli prefissati per la durata dell'assegno di ricerca.

Tuttavia, ancora molti sono i possibili sviluppi che la ricerca può portare avanti nei diversi scenari che si prefigurano.

In particolare, si ritiene che sia necessario il passaggio dal modello di piattaforma implementabile alla programmazione e alle attività di testing della medesima, in applicazione delle linee guida redatte.

Al contempo, con lo scopo di valutare le reali potenzialità del sistema, si ritiene utile individuare uno o più casi di studio da modellare all'interno della piattaforma, quali gemelli digitali, per poterne valutare gli esiti in progressione con le attività di servizio.

Si ritiene sia possibile ricreare un cosiddetto sistema cyber-fisico (*Cyber-Physic System* - CPS), ovvero un sistema informatico in grado di interagire in modo continuo e dinamico con il sistema fisico in cui opera e con il mondo reale che lo circonda. Esso è dotato di capacità continue di computazione, comunicazione e controllo, in modo che dati reali e simulati possano convergere e interagire fornendo informazioni utili ai processi decisionali.

La costruzione di un CPS completo si basa sull'implementazione dei cosiddetti "gemelli digitali". Un *Digital Twin* (DT) è una simulazione digitale di processi o prodotti afferenti al mondo reale, utilizzabile per prevedere, monitorare e gestire i comportamenti di persone e oggetti durante l'implementazione reale, preventivamente o contemporaneamente a essa, in modo da facilitare la manutenzione e incrementare la qualità e le prestazioni. Un DT si compone dei seguenti ambiti:

- modelli di dati, ovvero la descrizione digitale di processi e oggetti reali;
- analitiche, ovvero gli algoritmi di analisi dello svolgimento del processo, della risposta dell'oggetto o del comportamento dell'essere umano e/o dell'ambiente in cui un oggetto viene prodotto o un essere umano opera. Si tratta di una previsione che può abbracciare interi cicli di vita e che comprende le interazioni con gli esseri umani a tutti i livelli, dalla progettazione alla produzione all'uso;
- conoscenza, ovvero la raccolta strutturata e soprattutto continua di dati, al fine di provvedere al miglioramento continuo.

In definitiva il DT costituisce la sintesi tra due visioni legate alla simulazione della realtà che finora erano antitetiche: una basata sulla creazione di modelli teorici per la descrizione di particolari fenomeni, contro una relativa esclusivamente alla loro descrizione su base esperienziale, fondata sulla raccolta di dati reali.

Nel primo caso, l'unico modo di validare un modello teorico è quello di verificarlo confrontandolo con il sistema reale, nel secondo caso, la mole di dati raccolti deve essere collegata a un sistema semplificato allo scopo di fornire una lettura d'insieme, perdendo, di contro, dettagli che potrebbero influire sulla correttezza della simulazione.

In tal senso, le potenzialità dei DT sono infinite, dal miglioramento delle caratteristiche d'uso di un prodotto, all'ottimizzazione dei suoi processi di produzione, dalla gestione e fruizione di tipologie edilizie sempre più complesse (grandi stazioni, aeroporti, porti, ospedali, etc.) al miglioramento delle condizioni ambientali legate al riscaldamento globale, fino ad arrivare alle implicazioni biologiche e sanitarie.

La differenza più importante tra la simulazione tradizionale e i DTs è che questi intervengono nella simulazione di un intero ciclo di vita, dalla progettazione alla realizzazione alla fruizione fino alla dismissione: mentre una simulazione tradizionale può indicare quel che può accadere

con buona approssimazione, un DT è in grado di dire cosa sta accadendo in tempo reale, senza la necessità che l'evento si verifichi realmente.

Nel settore della gestione del patrimonio architettonico è possibile collegare il DT con una serie di dati legati all'edificio, come ad esempio i parametri energetici, in modo da monitorarne i consumi, i relativi costi e definire le misure relative alla loro ottimizzazione. Tali possibilità di monitoraggio possono trovare applicazione nella gestione delle tipologie edilizie complesse o delle infrastrutture e, su scala più ampia, di intere urbanizzazioni.

Il *trait d'union* tra Architettura e DTing è certamente il BIM. il modello BIM rappresenta la base di dati necessaria allo sviluppo di un DT, il quale poi è in grado di svolgere specifiche funzioni grazie all'integrazione con altre tecnologie che ne consentono la connessione e il dialogo con l'opera. Grazie al BIM è possibile strutturare i dati in modo da creare facilmente una replica virtuale dell'edificio, e collegarla alla realtà mediante l'uso di sensori.

Un'opportunità, questa, che al momento non rientra ancora nei processi di progettazione tradizionale e/o parametrica, che spesso tendono a produrre dati incompleti o comunque non strutturati con la necessaria coerenza. La diffusione dei DT richiede quindi anche un cambiamento nell'approccio alla gestione dei progetti e alla loro realizzazione.

Riferimenti Bibliografici

- Amorosino S. (2019). "Una rilettura costituzionale della proprietà a rilevanza urbanistica", *Rivista Giuridica dell'Edilizia*, 1, p. 3.
- Bellomia S. (2003). "Evoluzione e tendenze della normativa statale e regionale in materia di pianificazione urbanistica", *Rivista Giuridica dell'Edilizia*, 4, p. 125.
- Ferrara R. (2014). "Precauzione e prevenzione nella pianificazione urbanistica del territorio. La precauzione inutile", in Stella Richter P. (a cura di) *La sicurezza del territorio. Pianificazione e depianificazione. Atti del 15° e del 16° Convegno nazionale dell'Associazione italiana di diritto urbanistico*. Milano: Giuffè, pp. 121-139.
- Finlay, P. N. [1994]. *Introducing Decision Support Systems*, Cambridge: Blackwell.
- Fracchia F., Pantalone P. (2015). "Smart City: condividere per innovare (e con il rischio di escludere?)". *Federalismi.it*, 22, p. 2.
- Graziosi B. (2018). "Il problema degli standard urbanistici differenziati e gli interventi di rigenerazione urbana nel territorio urbanizzato", *Rivista Giuridica dell'Edilizia*, 6, p. 529.
- Lombardi P. (2016). "Il permesso di costruire in deroga tra interessi, uso e riuso del territorio", *Rivista Giuridica dell'Edilizia*, 3, p. 249.
- Magarò, A. [2020]. "Involucri abitabili adattivi. Metodologia sistemica di rigenerazione urbana", Tesi di Dottorato, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre, Roma.
- Midiri M. (2018). "Nuove tecnologie e regolazione: il caso Uber", *Rivista Trimestrale di Diritto Pubblico*, 3, p.1017.
- Power, D. J. [1997]. "What is a DSS?", *The on-line executive Journal for Data-Intensive decision support*, 3, pp. 35-48.
- Rubenstein, A.H.; Haberstroh, C.J. [1966]. *Some theories of organisation*, Illinois : Richard D Irwin inc.
- Simon, H. A. (1955) "A Behavioral Model of Rational Choice", *Quarterly Journal of Economics*, 69.

- Simonati A. (2019). "Rigenerazione urbana, politiche di sicurezza e governo del territorio: quale ruolo per la cittadinanza?", *Rivista Giuridica dell'Edilizia*, 1, p. 31.
- Sprague, R.H. and Carlson, E.D. [1982]. *Building Effective Decision Support Systems*. London: Prentice-Hall International Inc.
- Turban, E. [1995]. *Decision Support and expert systems: management support systems*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Roma, 10.03.2025

L'assegnista
arch. Ph.D. Antonio Magarò

Responsabile Scientifico
prof. Fabrizio Finucci