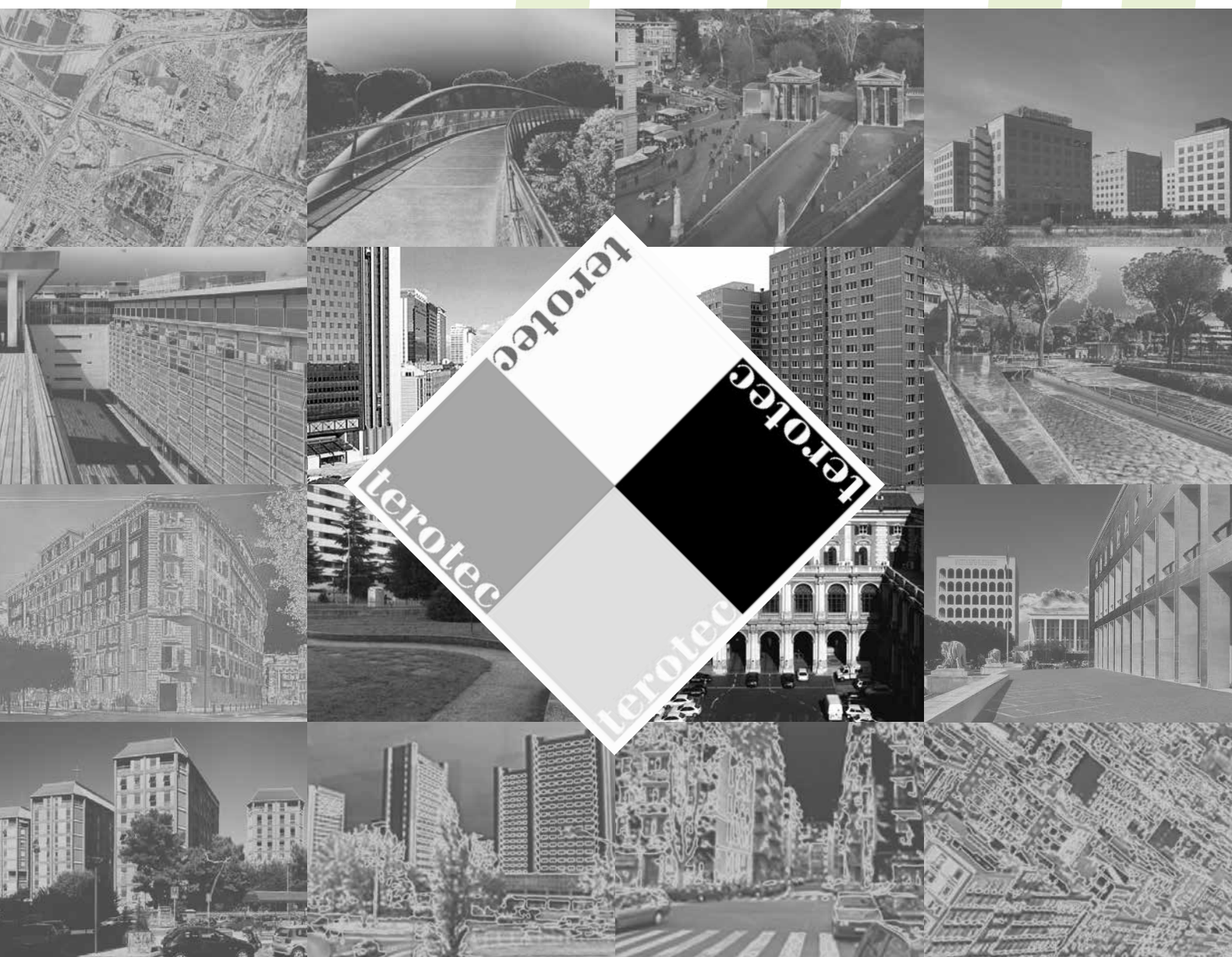


Facility Management Italia

rivista scientifica semestrale dei servizi integrati per i patrimoni immobiliari e urbani



■ ATTUALITÀ

- DIGITALIZZAZIONE DEI PROCESSI EDILIZI
- SMART CITY & PPP

■ APPROFONDIMENTI

- LOGICHE WIN-WIN PER I BENI CONFISCATI
- IL "GEMELLO DIGITALE" PER IL PATRIMONIO COSTRUITO

■ ESPERIENZE

- POLITECNICO DI TORINO: IL BIM PER IL FM/1
- UNIVERSITA' FIRENZE: IL BIM PER IL FM/2

■ DOCUMENTI

- REPORT TEROTEC CENTER CENTRO DOCUMENTAZIONE FM
- NEWS ARTICOLI LIBRI SITI WEB NORME CAPITOLATI CONVEGNI



FMI FACILITY MANAGEMENT ITALIA
 Rivista scientifica semestrale dei servizi
 integrati per i patrimoni immobiliari e
 urbani
 Anno 14 Numero 47 luglio 2025

Direttore responsabile: G. Serranò
Capo redazione Milano: A. Risi
Capo redazione Roma: C. Voza
Segretaria di redazione: B. Amoruso
Grafica e impaginazione: A&C Studio
Progetto grafico: C. Cecchini

Comitato Scientifico:
 S. Curcio (direttore scientifico), K. Alexander,
 M. Balducci, F. Bolzoni, G. Caterina,
 A. Ciribini, P. Conio, T. Dal Bosco,
 L. de Santoli, A. De Toni, G. Dioguardi,
 M. Di Sivo, A. M. Giovenale, F. Kloet,
 R. Rossi, C. Mochi Sismondi, C. Molinari,
 R. Mostacci, G. Paganin, N. Pinelli,
 A. Risi, M. L. Simeone, M. Storchi,
 C. Talamo, F. Tumino, C. Voza

**Direzione, Amministrazione,
 Redazione e Pubblicità**
 EDICOM s.r.l.
 Sede legale: Via Zavanasco, 2
 20084 Lacchiarella (MI)
 Sede operativa:
 Via A. Corti, 28 20133 Milano
 tel. 02.70633694
 fax 02.70633429
 e-mail: info@fmirivista.it
 sito web: www.fmirivista.it

Autorizzazione Tribunale di Milano
 n. 746 del 21.11.2007

ISSN 1973-5340

La pubblicità non supera il 45% del numero
 delle pagine di ciascun fascicolo della rivista

© Copyright EDICOM s.r.l. - Milano

ASSOCIATO
ANES ASSOCIAZIONE NAZIONALE
 EDITORIA DI SETTORE

"Ai sensi dell'art. 2 comma 2 del codice
 di deontologia relativo al trattamento dei
 dati personali nell'esercizio dell'attività
 giornalistica, si rende nota l'esistenza
 di una banca-dati personali di uso reda-
 zionale presso la sede di Via A. Corti 28
 Milano. Gli interessati potranno rivolgersi
 alla responsabile del trattamento dei dati
 B. Amoruso presso la sede di Via A. Corti
 28 Milano per esercitare i diritti previsti dal
 D.Lgs 196/2003"

■ APPROFONDIMENTI

■ Digitalizzazione dell'ambiente costruito: strategie, strumenti e opportunità

Francesco Muzi, Giuseppe Piras, Francesco Rossini

6

■ Smart City: l'importanza della Partnership Pubblico-Privato

Marco Baticci

13

■ ESPERIENZE & BEST PRACTICE

■ Logiche win-win: processi di valorizzazione dei beni confiscati alla criminalità organizzata

Oscar E. Bellini, Giancarlo Paganin

18

■ Progetto "BeTwin": il gemello digitale nella gestione del patrimonio costruito

Angelo Massafra

23

■ Politecnico di Torino: il BIM per i servizi di FM sul costruito

Massimiliano Lo Turco

30

■ Università di Firenze: BIM2DT per il patrimonio edilizio universitario

Carlo Biagini, Andrea Bongini, Luca Marzi,
 Marco Sparacino, Valentina Sulis

37

■ MONDO FM

a cura di Carmen Voza

45



La sostenibilità nelle città



Sustainable built environment



Urban health



Urban waste



Smart city and AI



Updates and conferences

SETTORE

**WASTE AS
RESOURCE**

Circular&Healthy City è la piattaforma espositiva e convegnistica dove aziende, centri di ricerca e associazioni promotrici di azioni e **tecnologie innovative**, si confrontano con **decisori pubblici** e **stakeholder** per realizzare **modelli di città circolari**, salubri e intelligenti. Quattro le direttrici di sviluppo: **urban health**, **sustainable built environment**, digitalizzazione e **interconnessione**, **urban mining**, riciclo e **riuso**.

Organized by

**ITALIAN
EXHIBITION
GROUP**
Providing the future

In partnership with



With the support of



Media partner



SCARICA
IL TUO
BIGLIETTO



“Gestione integrata dei servizi di supporto per il funzionamento, la fruizione e la valorizzazione dei beni immobiliari e urbani”: questa è la definizione di Facility Management, codificata dalla norma UNI 11447:2012, che ne delinea anche il campo di applicazione secondo quelli che sono gli indirizzi di sviluppo caratterizzanti il mercato italiano. Ambito di riferimento, questo, che viene assunto come focus da “FMI - Facility Management Italia”, la rivista scientifica dei servizi integrati per i patrimoni immobiliari e urbani, con l’obiettivo di fondo di fornire a tutti i diversi operatori interessati il primo strumento di divulgazione tecnico-scientifica settoriale nel nostro paese: un “motore di saperi” in un’ottica tanto di *problem setting* quanto di *problem solving*. In questa direzione “FMI” intende rappresentare un think tank nazionale di supporto al nuovo mercato dei servizi integrati di Facility Management, orientato tanto sull’individuazione e analisi degli aspetti di innovazione, peculiarità e problematicità che caratterizzano questo mercato, quanto sull’individuazione, presentazione e diffusione di case study e best practice di riferimento metodologico e applicativo.

Al centro dell’attenzione sono posti in particolare quei servizi-chiave più rappresentativi del mercato italiano del Facility Management, vale a dire quei servizi maggiormente compenetrati con il funzionamento, la fruizione e la valorizzazione dei beni immobiliari e urbani: i servizi di manutenzione edilizia e urbana, i servizi di gestione e riqualificazione energetica, i servizi di pulizia e igiene ambientale, i servizi di gestione degli spazi, i servizi di logistica, i servizi di anagrafica informatizzata.

Promotore e partner scientifico della rivista è Terotec, il “laboratorio tecnologico-scientifico” di riferimento nazionale per la promozione, lo sviluppo e la diffusione della cultura e dell’in-

Facility Management Italia

rivista scientifica semestrale dei servizi integrati per i patrimoni immobiliari e urbani

novazione nel mercato dei servizi di Facility & Energy Management.

Il Comitato Scientifico che indirizza l’orientamento e gestisce i contenuti della rivista esprime le competenze di esperti settoriali tra i più riconosciuti e qualificati in ambito nazionale ed europeo, operanti nel mondo della committenza pubblica, dell’imprenditoria, dell’università, della ricerca scientifica e della normazione tecnica:

- **Silvano Curcio (direttore scientifico)** - Docente Sapienza Università di Roma, Direttore Terotec
- **Keith Alexander** - Docente CFM Università di Salford - Manchester
- **Manuele Balducci** - Responsabile CenTer Terotec
- **Fabrizio Bolzoni** - Direttore Legacoop Produzione & Servizi
- **Gabriella Caterina** - Già Docente Università di Napoli Federico II
- **Angelo Ciribini** - Docente Università di Brescia
- **Paola Conio** - Consulente Legislazione & appalti servizi Terotec
- **Tommaso Dal Bosco** - Presidente AUDIS - Associazione Aree Urbane Dismesse
- **Livio de Santoli** - Docente Sapienza Università di Roma
- **Alberto De Toni** - Docente Università di Udine
- **Gianfranco Dioguardi** - Già Docente Politecnico di Bari



- **Michele Di Sivo** - Docente Università di Chieti-Pescara
- **Anna Maria Giovenale** - Docente Sapienza Università di Roma
- **Fred Kloet** - Dirigente Comitato Normativo Europeo CEN TC 348 “FM”
- **Carlo Mochi Sismondi** - Presidente FPA
- **Claudio Molinari** - Già Docente Politecnico di Milano, Presidente Comitato Tecnico-Scientifico Terotec
- **Roberto Mostacci** - Presidente CRESME Consulting
- **Giancarlo Paganin** - Docente Politecnico di Milano
- **Nicola Pinelli** - Direttore FIASO - Federazione Italiana Aziende Sanitarie e Ospedaliere
- **Andrea Risi** - Vice Presidente FNIP - Federazione Nazionale Imprese Pulizia
- **Roberto Rossi** - Presidente ASSITAL - Associazione Nazionale Costruttori Impianti servizi efficienza Energetica ESCo Facility Management
- **Maria Laura Simeone** - Consulente Best practices servizi Terotec
- **Marco Storchi** - Consulente Best practices servizi Terotec
- **Cinzia Talamo** - Docente Politecnico di Milano
- **Franco Tumino** - Presidente Terotec.
- **Carmen Voza** - Capo Redazione FMI.

Progetto “BeTwin”: il gemello digitale nella gestione del patrimonio costruito

La necessità di adeguare le modalità di gestione degli edifici alla complessità del quadro esigenziale contemporaneo richiede lo sviluppo di strumenti digitali in grado di acquisire, strutturare, condividere, elaborare e visualizzare informazioni relative al patrimonio costruito sotto forma di conoscenza sintetica. Tra questi strumenti emerge il gemello digitale, inteso come replica virtuale di un oggetto, un processo o di un sistema esistente nel mondo fisico-reale, capace di scambiare con esso varie tipologie di dato. Il presente articolo presenta un DSS - Decision Support System prototipale, concepito nell’ottica di un digital twin, sviluppato dal Dipartimento di Architettura dell’Università di Bologna. Tale prototipo integra tecnologie quali BIM - Building Information Modeling e BPS - Building Performance Simulation per l’analisi integrata delle prestazioni energetiche e delle condizioni di occupazione di un edificio universitario, predisponendo un sistema di interfacce user-friendly per l’accesso al dato da parte di utenti non esperti digitali addetti alla gestione.

Project “BeTwin”: the digital twin in built heritage management

The need to adapt building management practices to the complexity of contemporary requirements calls for the development of digital tools capable of acquiring, structuring, sharing, processing and visualizing information about the built environment as synthetic knowledge. Among these tools, the digital twin stands out as a virtual replica of an object, process or system existing in the physical world, able to exchange various types of data with its real counterpart. This article presents a prototype decision support system (DSS - Decision Support System), conceived within a digital-twin framework, developed by the Department of Architecture at the University of Bologna. The prototype integrates technologies such as BIM - Building Information Modeling and BPS - Building Performance Simulation for the integrated analysis of a university building’s energy performance and occupancy conditions, providing a suite of user-friendly interfaces that allow non-digital-expert facility managers to access and interact with the data.

Il contesto

Le AP - Amministrazioni Pubbliche locali gestiscono circa l’80% del patrimonio edilizio pubblico nazionale, per un totale di circa 325 milioni di mq di superficie utile, di cui circa il 60% costruito prima del 1980. Le risorse tecnico-finanziarie impiegate annualmente per il mantenimento e l’esercizio di questi edifici sono molto elevate principalmente a causa delle

grandi dimensioni di queste strutture, della loro elevata complessità funzionale e obsolescenza costruttiva.

Oggi, tali amministrazioni sono chiamate ad affrontare due categorie di questioni:

- da un lato conservare e migliorare gli edifici nel tempo, sia in termini prestazionali che conservativi;
- dall’altro garantire che essi rimangano compatibili con il quadro esigenziale contemporaneo dal punto di

Angelo Massafra*

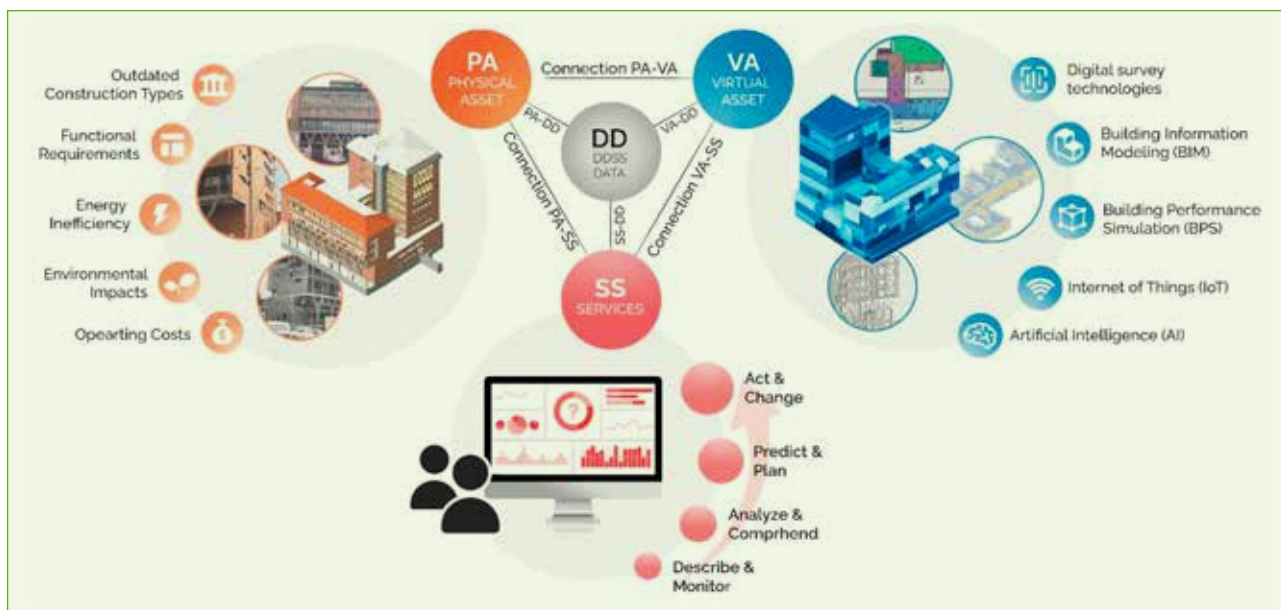


Figura 1 - Rappresentazione concettuale di un gemello digitale orientato ai servizi nell'ambito della gestione del patrimonio costruito (© A. Massafra, 2024).

vista funzionale, ambientale ed economico, permettendo di soddisfare al contempo le necessità di logistica dell'amministrazione, ammodernamento tecnologico degli edifici e benessere degli occupanti.

I costi e tempi ipoteticamente necessari per una riqualificazione profonda di questo patrimonio rendono necessario l'impiego di strumenti in grado di pianificare efficacemente l'allocazione delle risorse tecniche ed economiche nell'ambito del Building Management.

Obiettivo, quello della riduzione delle spese operative, che appare difficilmente perseguibile senza disporre di una base di conoscenza strutturata e misurabile delle prestazioni del patrimonio.

Allo stato attuale, emergono numerose criticità nella gestione "performance-based" degli edifici esistenti. In via semplificativa, queste possono essere ricondotte a cinque macro-ambiti, che riguardano:

- la conoscenza del patrimonio;
- il coordinamento delle molteplici figure coinvolte nella gestione;

- la disponibilità di risorse finanziarie;
- la qualità delle informazioni disponibili;
- la loro accessibilità.

Unite alle istanze proprie del vasto quadro dei requisiti prima citato, queste criticità fanno sì che il problema della gestione degli edifici possa essere inquadrato come "sistema complesso", ovvero un sistema tipicamente dinamico a multicomponenti, difficile da governare senza valutare tutte le istanze in gioco in maniera interconnessa, globale e, appunto, sistemica. Tale complessità è ovviamente correlata ai tanti obblighi che i Building Managers sono quotidianamente chiamati a svolgere, con responsabilità di carattere sia manageriale sia tecnico in svariati ambiti, quali:

- la funzionalizzazione degli spazi;
- l'efficienza energetica;
- l'ottimizzazione dei costi;
- il comfort ambientale interno;
- il controllo degli impatti ambientali;
- le manutenzioni;
- la sicurezza degli occupanti;
- la gestione della sostenibilità.

La carenza di strumenti adeguati rende

difficile inquadrare in modo sistemico tutte queste istanze in una visione strategica, specialmente nei casi in cui chi gestisce gli edifici non è un addetto ai lavori esperto di "Building Science". La transizione digitale rappresenta oggi una grande opportunità nel contesto della gestione degli edifici. In questo campo, sfruttare appieno le potenzialità offerte dall'attuale trasformazione digitale - accompagnata da una crescente attenzione agli impatti ambientali - significa anzitutto rendere più efficiente l'uso degli edifici in termini di costi e benefici. In pratica, ciò equivale a coniugare le caratteristiche intrinseche degli immobili con la capacità di adattarsi alle esigenze funzionali emergenti, derivanti sia dall'adozione di nuovi modelli organizzativi sia dall'aggiornamento dell'apparato tecnologico, il tutto nel rispetto del quadro normativo vigente. Pur a fronte dei notevoli ostacoli che frenano la digitalizzazione del settore delle costruzioni, nell'ultimo decennio la comunità scientifica internazionale ha esplorato l'impiego di diverse tecnologie digitali a supporto delle

attività gestionali. Tra queste rientrano i BIM - Building Information Modeling - e la sua declinazione per i beni storici (Heritage BIM) - gli Smart Buildings e i Cognitive Buildings, l'IoT - Internet of Things e, più di recente, l'AI - Intelligenza Artificiale e i gemelli digitali. Questi ultimi, in particolare, si prospettano come strumenti molto promettenti per superare alcune criticità nel campo della gestione del costruito. Il presente articolo mira a descrivere i componenti principali di tale tecnologia nell'ambito sopra riportato e illustrare il processo di realizzazione di un esempio applicativo prototipale sviluppato presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna.

Il gemello digitale per l'ambiente costruito

Negli ultimi anni il paradigma del gemello digitale si è proposto come uno dei più promettenti per guidare la trasformazione digitale in diversi settori. Tale concetto, nato nel settore manifatturiero, inizia oggi a trovare applicazione in molteplici campi, tra cui l'aerospazio, l'industria automobilistica, l'healthcare e la medicina, l'agricoltura, l'ambiente e le costruzioni. In tutti questi ambiti, il valore aggiunto si esplicita in termini di visualizzazione, controllo e ottimizzazione di prodotti e processi. Ottimizzazione che si traduce nella riduzione dei tempi di analisi, nel contenimento di consumi e costi, in un maggiore coinvolgimento degli utenti e in un supporto più efficace ai processi decisionali.

Il termine "digital twin" venne introdotto da Michael Grieves durante un corso sul Product Life Cycle Management all'Università del Michigan. La definizione proposta da Grieves, successivamente rielaborata dall'autore stesso in "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emer-

gent Behavior in Complex Systems", intende il gemello digitale come un insieme di informazioni virtuali che descrivono un prodotto manifatturiero consentendo di ispezionarlo e migliorarlo anche a distanza. Da allora, il concetto di digital twin si è evoluto, trovando applicazione anche nel settore AECO - Architecture, Engineering, Construction and Operation.

Una delle definizioni più accoglienti è quella fornita da BIM Dictionary, secondo cui un digital twin è costituito da un insieme di asset digitali che rappresentano un asset fisico durante il suo ciclo di vita. In sostanza, si tratta di sistemi virtuali tipicamente ricchi di dati, sia statici sia dinamici, che consentono di rappresentare, monitorare e persino trasformare il loro gemello fisico, ovvero gli edifici esistenti nel mondo reale.

Un digital twin può quindi essere inteso come un ecosistema informativo in grado di acquisire, trasmettere, archiviare, elaborare, integrare e visualizzare le informazioni rilevanti di un oggetto, di un processo, di un ambiente o di un sistema del mondo reale. Nell'ambito della gestione degli edifici, tale tecnologia può ipoteticamente offrire supporto per descrivere, ispezionare, monitorare, mantenere e gestire in modo efficiente i beni lungo tutto il loro ciclo di vita.

Inoltre, è plausibile immaginare che in un futuro - probabilmente prossimo - i gemelli digitali potranno essere in grado di ragionare, apprendere, ottimizzare, prendere decisioni e trasformare autonomamente i corrispondenti gemelli fisici, basandosi sia su dati statici (provenienti da modelli come BIM e GIS) sia su dati dinamici (derivati, ad esempio, da dispositivi IoT e sensori). Particolarmente interessante è il modello concettuale di digital twin proposto dalla Beihang University dal gruppo di lavoro coordinato da Fei Tao. In base a tale modello, il gemello digitale non è costituito soltanto dalle

tre entità inizialmente individuate da Grieves (ovvero l'entità fisica, l'entità virtuale e la loro connessione), bensì da cinque componenti principali:

- Physical Entity, l'entità fisica nel mondo reale;
- Virtual Entity, la corrispondente entità virtuale nello spazio digitale;
- Connections, la connessione di dati e informazioni che lega l'entità fisica e quella virtuale;
- Digital Twin Data, l'insieme risultante dalla fusione e integrazione di tutti i dati relativi alle entità fisica e virtuale, elaborati in informazioni più accurate e complete (ad esempio tramite algoritmi predittivi);
- Services, i servizi che facilitano la visualizzazione e l'utilizzo delle informazioni raccolte o elaborate dal gemello digitale, standardizzandole e "incapsulandole" in base alle necessità delle diverse figure coinvolte e delle differenti funzioni.

Questa scomposizione concettuale orienta la tecnologia verso una logica architettonica finalizzata all'erogazione di servizi, impostazione fondamentale affinché le informazioni contenute in questi sistemi siano facilmente trasmissibili, interrogabili e, infine, utilizzabili anche da personale non esperto.

Iniziative di ricerca

Per rispondere ad alcune delle esigenze finora evidenziate, il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna ha avviato un progetto di dottorato intitolato "Towards Topology-Oriented Digital Twins for Built Heritage Performance-Based Management", svolto dall'autore sotto la supervisione del prof. Riccardo Gulli. Tale ricerca, premiata dal BIM&Digital Award 2024 e dal premio Lions Ricerca Scientifica e Innovazione Tecnologica 2024, ha successivamente ottenuto un finanziamento attraverso il programma di

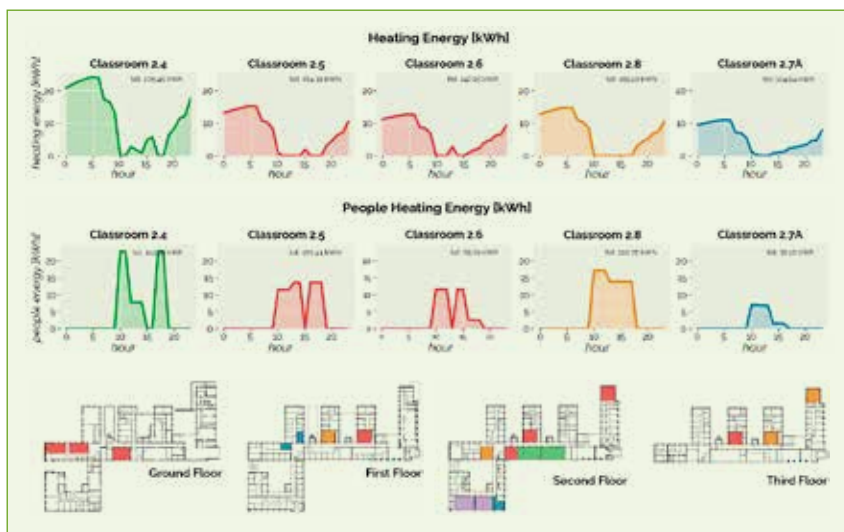


Figura 2 - Analisi della relazione tra condizioni occupazionali e fabbisogni energetici nel caso studio indagato. (© A. Massafra, 2024).

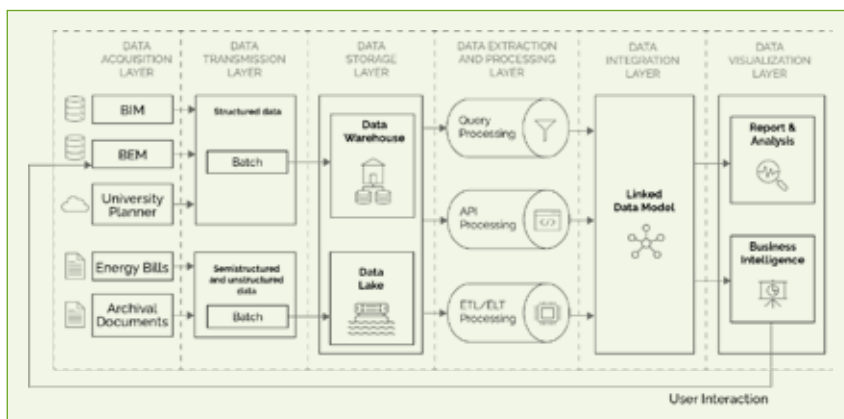


Figura 3 - Schema architetturale del sistema informativo prototipato (© A. Massafra, 2024).

trasferimento tecnologico dell'Ateneo (bando AlmaValue 2023) sotto il nome del progetto "BeTwin" - Building Digital Twin for Built Heritage Performance-based Management. Il progetto affronta temi comuni anche al progetto PRIN "DigitMan" - Occupant-based Digital Predictive Management to Improve the Built Environment e al progetto Horizon Europe "Herit4Ages" (mirato a sviluppare soluzioni di retrofit per un patrimonio culturale più sostenibile, efficiente e inclusivo), entrambi condotti presso il dipartimento in collaborazione con

altri partner pubblici e privati. Nei paragrafi seguenti vengono illustrati alcuni risultati di questo percorso di ricerca, il cui obiettivo è stato quello di prototipare un DSS - Decision Support System orientato a quello che in futuro diventerà un vero e proprio gemello digitale. Tale sistema è proposto come ambiente dati condiviso per l'archiviazione, l'implementazione e la condivisione della conoscenza su asset edilizi universitari, inquadrando i responsabili amministrativi quali i principali destinatari della tecnologia sviluppata.

Contesto e obiettivi

La ricerca è stata applicata su una parte del patrimonio UniBo, identificato come banco di prova significativo per sperimentare il paradigma del gemello digitale su un portfolio gestito da una PA locale.

Dal punto di vista quantitativo, le dimensioni del suo patrimonio immobiliare collocano l'Ateneo al primo posto in Emilia-Romagna per consistenza di proprietà edilizie pubbliche. Sul piano funzionale, le tipologie di spazi presenti nella macchina universitaria sono molteplici e soggette a cambiamenti nel tempo: funzioni di rappresentanza, amministrative, didattiche, di ricerca, di servizio e di cura. Questa diversità si traduce nella necessità di disporre e gestire spazi con condizioni di occupazione molto varie: uffici, aule, laboratori, biblioteche e sale studio, ma anche auditorium, impianti sportivi, residenze studentesche, spazi ricreativi, archivi, depositi e mense.

Considerato l'aspetto occupazionale come uno dei più critici per questa tipologia immobiliare, l'obiettivo specifico della ricerca è stato quello di prototipare un sistema capace di correlare informazioni riguardanti la domanda energetica e le condizioni di occupazione di un edificio scelto come caso pilota: la sede storica della Scuola di Ingegneria e Architettura a Bologna.

Sono stati pertanto analizzati due macro-ambiti tra loro fortemente interrelati: l'occupazione e l'energia. Il primo riguarda la fruizione degli spazi: come questi vengono utilizzati, quali funzioni vi si svolgono, quante persone li occupano e se risultano sovraffollati oppure sottoutilizzati. Il secondo, invece, si riferisce ai fabbisogni energetici necessari per controllare le condizioni ambientali interne, strettamente influenzati dalle modalità di occupazione degli spazi.

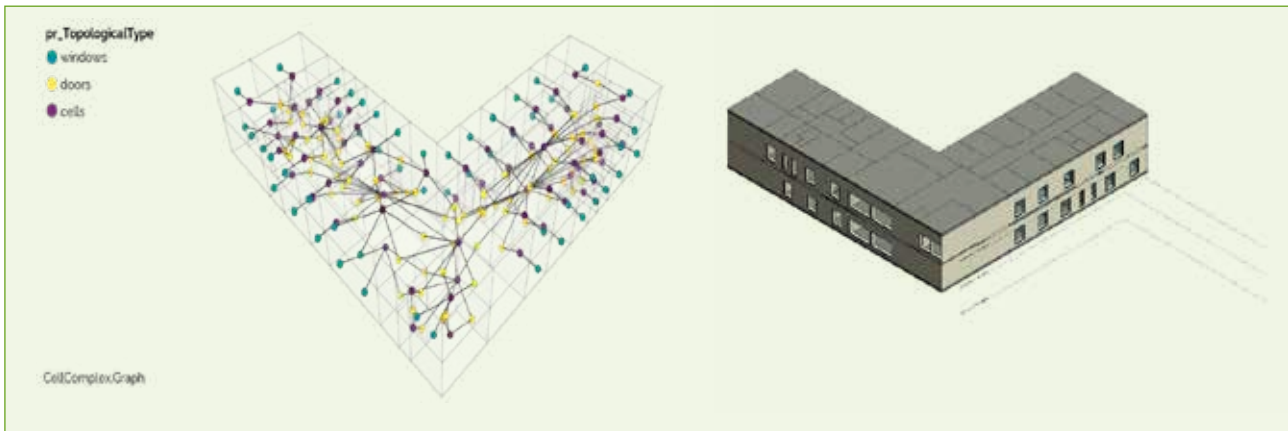


Figura 4 - Modello BIM topologico di una parte del caso studio (© A. Massafra, 2024).

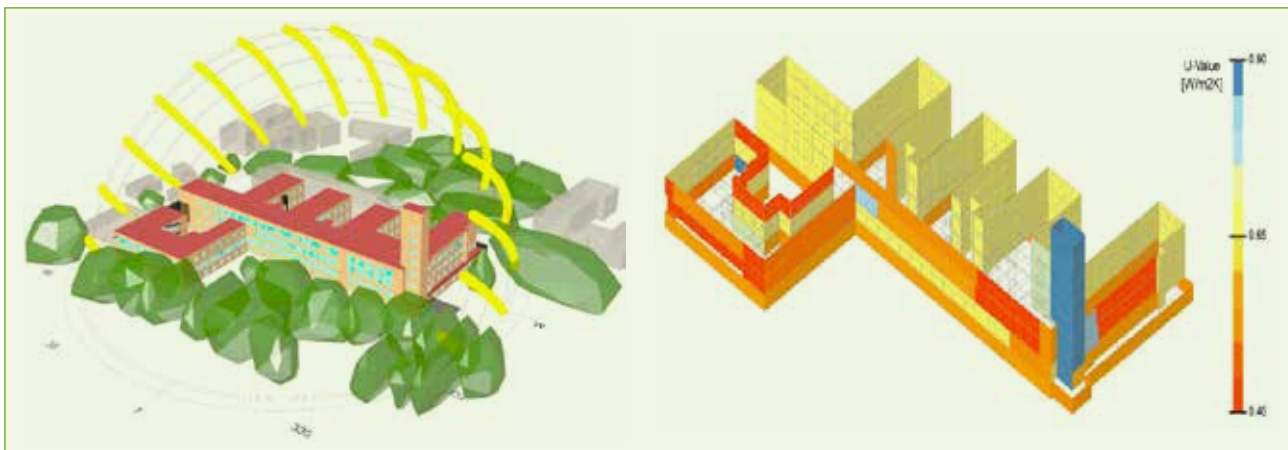


Figura 5 - Modello energetico del caso studio (© A. Massafra, 2024).

Metodi e strumenti

Componenti del sistema di supporto decisionale

Dal punto di vista tecnologico, il DSS sviluppato si basa su tre fonti di dati principali:

- un modello informativo (BIM - Building Information Model);
- un modello energetico (BEM - Building Energy Model);
- un database con i dati di occupazione dell'edificio (OSD - Occupancy Schedule Database).

Modellazione informativa topologica

Il modello BIM dell'edificio è stato realizzato seguendo una meto-

dologia qui definita TBIM - BIM topologico, metodologia sviluppata tramite una collaborazione con la Cardiff University (UK). Il processo, sfrutta principi di modellazione topologica e condizionale per creare modelli informativi semplici dal punto di vista geometrico ma semanticamente coerenti, ricchi di informazioni e adatti ad ambienti di simulazione. Ne risulta un modello BIM che include sia gli elementi costitutivi che gli elementi spaziali dell'edificio, custodendo informazioni su loro geometria e proprietà fisiche, materiche e funzionali, mappando inoltre l'intero sistema delle relazioni "spazio-oggetto" e "spazio-occupante".

Modellazione energetica

Tale modello è stato utilizzato come base per la generazione del corrispondente modello energetico. Quest'ultimo è stato sviluppato utilizzando il software di simulazione energetica dinamica EnergyPlus. Fornendo come input i dati meteorologici e i dati descrittivi dell'edificio (incluse informazioni relative a geometria, materiali, occupazione e schedule di operazione degli impianti), il modello BEM, calibrato sulla base delle bollette energetiche degli ultimi tre anni, ha consentito di stimare i carichi termici a cui sono sottoposti gli impianti del sito pilota, la risposta del sistema a tali sollecitazioni, i

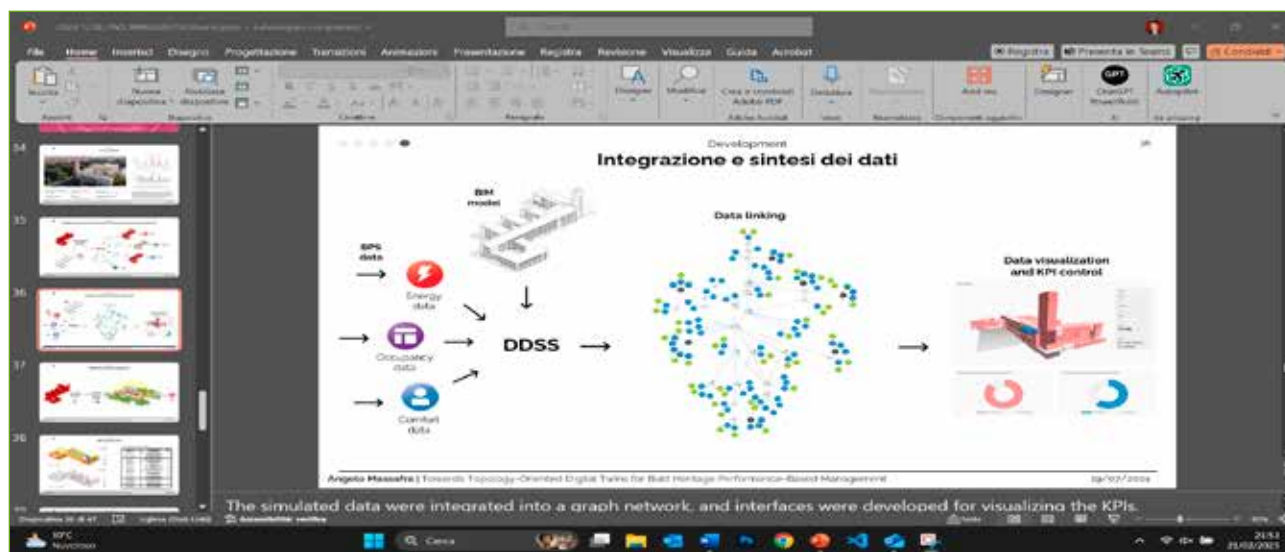


Figura 6 - Integrazione dei dati statici e dinamici all'interno di reti a grafo e visualizzazione dei KPIs (© A. Massafra, 2024).

consumi energetici ipoteticamente risultanti e varie metriche correlate, tra cui il comfort termico percepito dagli occupanti e i costi energetici. Ciò ha permesso di valutare nel dettaglio le interazioni tra occupazione ed energia, ora per ora e zona per zona, con un focus dettagliato sugli spazi ritenuti più significativi, ovvero le aule.

Modellazione dell'occupazione

La modellazione dell'occupazione all'interno del BEM è stata supportata dall'OSD, database contenente informazioni sul numero di persone che si prevede abbiano occupato le aule dell'edificio per ogni ora dell'anno di analisi (informazione ricavata dal calendario accademico estratto dai sistemi informativi dell'Ateneo). Considerando che l'edificio dispone di circa 50 aule e che un anno solare è composto da 8.760 ore, il database OSD del caso studio è risultato in circa 438.000 punti dati, ai quali si aggiungono tanti altri punti dato stimati in forma aggregata e tipologica per spazi quali uffici, bar, biblioteche, sale studio e altre funzioni presenti nell'edificio, dei quali non si possedevano informazioni specifiche.

Integrazione dati

Una volta generati, i dati provenienti dalle diverse fonti sono stati integrati adottando due tipologie di database:

database relazionali tabellari per la gestione delle serie temporali;
database a grafo per la mappatura integrata di tutti gli elementi – spaziali e non – presenti nei vari modelli.

In particolare, il database a grafo, basato su precise regole semantiche e ontologiche sviluppate nell'ambito della ricerca, si è rivelato uno strumento molto efficace per mappare le relazioni tra tutti gli elementi dei modelli e per garantire interoperabilità e interazione tra diversi modelli e fonti dato.

Si tratta di una struttura dati composta da nodi, che rappresentano entità edilizie o concetti), e archi, che collegano i nodi e descrivono le relazioni fra essi (ad esempio connessioni spaziali, vincoli funzionali o dipendenze semantiche). Grazie a questa rappresentazione, il database a grafo consente di navigare agevolmente le connessioni tra elementi anche molto distanti tra loro, ragionare

sulle relazioni tramite query semantiche che sfruttano l'ontologia del dominio, estendere dinamicamente il modello introducendo nuovi tipi di nodi e relazioni senza ridisegnare l'intera struttura dati e integrare facilmente informazioni eterogenee provenienti da modelli diversi, garantendo coerenza e interoperabilità.

Risultati e discussione

Cruscotti informativi per la visualizzazione dati

Dopo l'integrazione delle informazioni, sono stati sviluppati dei prototipi di cruscotti informativi per visualizzare i parametri di analisi nella forma di indicatori sintetici, quali il numero di occupanti presenti nell'edificio (o nelle singole aule) e i relativi fabbisogni di energia termica.

Tutti gli elementi grafici inseriti nelle dashboard sono elementi interattivi e consentono di ordinare, filtrare e aggregare i dati in base a criteri quali la localizzazione del dato (all'interno di classi di elemento di tipo edificio, piano, zona e spazio), la destinazione d'uso degli spazi, il mese e l'ora.

La metodologia sviluppata consentirà di estendere tale sistema informativo a ulteriori categorie della gestione (ad esempio la gestione qualità dell'aria interna e della sostenibilità) e di replicare l'applicazione anche su altri casi studio, in modo da poter valutare le interazioni di scala tra le diverse struttura all'interno del portfolio e della città.

Limitazioni e criticità

A fronte dei vari vantaggi, il prototipo descritto presenta alcune limitazioni, necessarie da menzionare anche in riferimento alla nozione di gemello digitale riportata nelle sezioni introduttive dell'articolo.

Infatti, nel DSS vengono attualmente utilizzati solo i dati derivanti dalle simulazioni energetiche, le quali, seppur dinamiche, necessitano di maggiore riscontro e validazione su dati reali - per la calibrazione BEM si sono utilizzati dati reali solo a livello di "edificio".

Trattasi di un aspetto critico in quanto la mancanza di dati reali ad alta granularità rispetto ai soli dati simulati può generare il cosiddetto "performance gap", introducendo significative discrepanze fra i consumi energetici simulati e quelli effettivi. Per superare questo limite, l'impiego di contatori e sensori per il monitoraggio dei parametri principali forniranno stime più affidabili.

Inoltre, seguendo un approccio analogo a quello presentato, i dati provenienti da sensori e dispositivi IoT saranno integrati nel DSS per abilitare nuove funzionalità, quali real-time monitoring e anomaly detection, oltre che per prevedere in modo più attendibile le prestazioni degli spazi.

Futuri sviluppi

Nonostante la rapida evoluzione in corso, la tecnologia del gemello

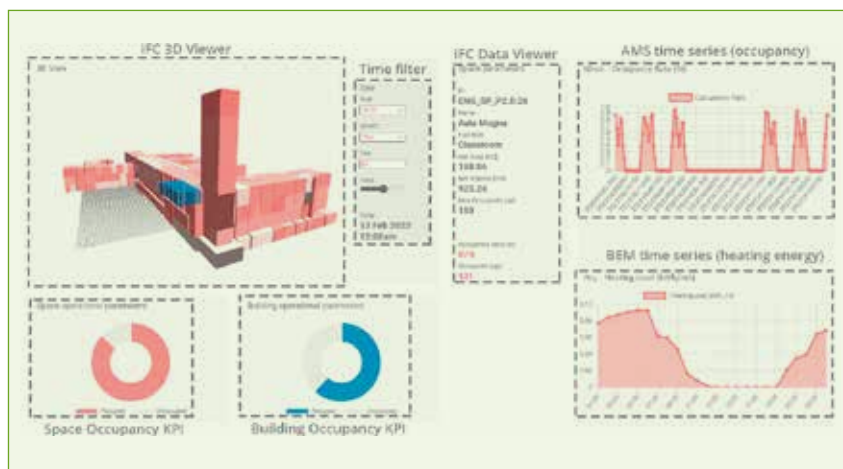


Figura 7 - Esempio di cruscotto informativo sviluppato per la condivisione di informazioni inerenti all'occupazione e al comportamento energetico della Scuola di Ingegneria e Architettura di Bologna (© A. Massafra, 2024).

digitale applicata al contesto del building management è ancora ai suoi esordi. Essa richiede, da un lato, intense attività di prototipazione e sviluppo tecnologico e, dall'altro, nuove concettualizzazioni e standardizzazioni metodologiche.

L'assenza di definizioni condivise, l'enorme mole di dati eterogenei provenienti da fonti disparate e l'approccio spesso "non scientifico" che caratterizza la gestione degli asset costruiti rappresentano ostacoli a uno sviluppo organico di questa tecnologia, limitando la possibilità di trasformare i numerosi dati grezzi già a disposizione delle amministrazioni in conoscenza utile a supportare le decisioni gestionali.

Lo sviluppo di sistemi di questo tipo a livello di prodotto presenta tuttora notevoli difficoltà, richiedendo investimenti ingenti e competenze elevate per garantire flussi di dati sicuri, informazioni affidabili e valide, e una conoscenza che sia accessibile e fruibile anche ai "non esperti" del digitale. Per superare tali limitazioni, è attualmente in corso il progetto

BeTwin - menzionato in precedenza - che ha l'obiettivo di implementare un toolkit software per la prototipazione semplice, flessibile, modulare e a basso costo di DSS per la gestione degli edifici.

Questo toolkit includerà una serie di funzionalità atte a collegare dati provenienti da diverse fonti (come modelli BIM, simulazioni energetiche e sensori) - per lo più in formati aperti (ad esempio IFC) - integrandoli in reti a grafo e visualizzandoli tramite dashboard interattive.

L'obiettivo sarà quello di sviluppare uno strumento che permetta agli sviluppatori di realizzare rapidamente prototipi di DSS, agli utenti finali di visualizzarne in anteprima le relative funzionalità e i benefici e agli studenti e ai neofiti dei digital twin di sperimentare tale tecnologia non solo dal punto di vista teorico ma anche pratico.

*Dottore di ricerca Alma Mater Studiorum Università di Bologna