

MODELLI DIGITALI E AMBIENTI VIRTUALI

per il recupero del costruito storico

Mariella De Fino* - Silvana Bruno*

* Dip. DICATECh - Politecnico di Bari

I processi di recupero del costruito storico sono notoriamente caratterizzati da elevati livelli di complessità, in particolare nella fase di qualificazione preliminare, quando è necessario collazionare e gestire tutte le informazioni disponibili sulle caratteristiche morfo-tipologiche e materico-costruttive, sullo stato di conservazione e sulle modificazioni avvenute nel tempo, al fine di indirizzare interventi manutentivi e conservativi appropriati. Difatti, in questa fase, possono confluire dati diversificati per fonte (riferimenti bibliografico-archivistici, osservazioni dirette, misure sperimentali, elaborazioni analitiche), per ambito (contesto ambientale, fabbricato, componenti, modelli d'uso) e per contenuti multidisciplinari di tipo sia architettonico-ingegneristico che storico-critico. Peraltro, i dati possono riferirsi a periodi anche molto distanti fra loro, amplificando sulla scala dei tempi il rischio di dispersione e disarticolazione del quadro conoscitivo complessivo. Tali criticità sono da sempre rilevate dagli operatori del settore, ma sono state inasprite, in tempi recenti, dall'emergenza epidemiologica da Covid-19 a causa della ridotta mobilità, che ha

comportato modalità di lavoro a distanza e limitata accessibilità ai siti, con conseguenti disfunzioni di coordinamento e logistico-operative.

In questo ambito, un ruolo chiave può essere senz'altro svolto dalle sempre più diffuse e avanzate tecnologie per la creazione di modelli digitali e di ambienti virtuali, dal momento che questi rispondono ad una serie di esigenze complementari: la rappresentazione di un bene in tutte le sue caratteristiche geometriche, materiche e tecniche, con possibilità di osservazione e interrogazione da remoto; l'implementazione e consultazione di dati multi-scalari e multi-tematici in un unico sistema centralizzato di analisi; lo scambio di documenti e informazioni fra gli attori coinvolti nel processo con approccio trasparente e collaborativo.

Fra le diverse tecnologie disponibili per la modellazione digitale 3D di un manufatto, occorre in primo luogo distinguere quelle di tipo reality-based, ovvero basate sul rilievo diretto del bene con sensori attivi (ad es. laser scanner, stazione totale, GNSS - Global Navigation Satellite System) o passivi (ad es. topografia, fotogrammetria) da quelle computer-based, in cui



Fig. 1. Panorama a 360° con vista equirettangolare di salone affrescato – Masseria Don Cataldo (Bari)

le volumetrie sono restituite con strumenti di disegno assistito e grafica computerizzata.

Alla prima categoria sono ascrivibili, come detto, i metodi di fotogrammetria digitale, sia terrestre che aerea da drone, che si fondano sull'acquisizione di un numero esteso di immagini con diverse finalità: dalla fotografia sferica, che proietta idealmente su una sfera una serie di fotografie, preventivamente mosaiccate, per offrire la percezione tridimensionale di uno spazio da un punto di osservazione fisso coincidente con il centro (Fig.1) fino alla modellazione tridimensionale vera e propria, che deriva dalla elaborazione di una sequenza di fotografie per generare una nuvola di punti, in cui ogni punto è descritto dalle coordinate x-y-z di posizione nello spazio e dalla combinazione di valori RGB (Red – Green – Blue) associata al colore (Fig.2).

Alla seconda categoria appartengono, invece, i metodi di modellazione parametrica BIM (Building Information Modelling) e, nel caso di fabbricati storici, HBIM (Historic/Heritage Building Information Modelling), in cui i manufatti sono rappresentati attraverso l'utilizzo di oggetti 3D corrispondenti a componenti edilizi e architettonici con specifiche funzioni e relazioni con gli altri componenti (Fig. 3). Gli oggetti, aggregati a ricostruire l'intero fabbricato in un ambiente tridimensionale, sono associati a parametri di tipo sia geometrico

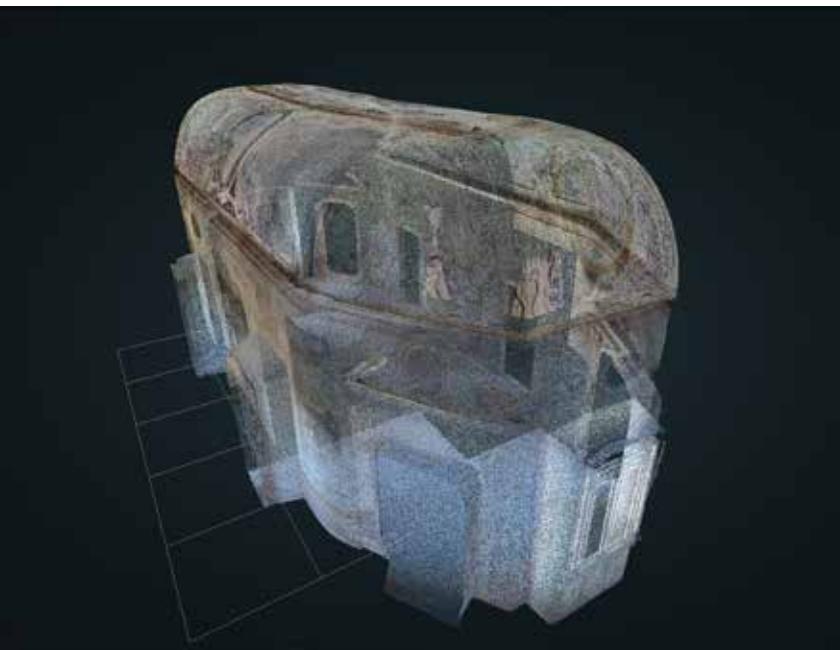


Fig. 2. Nuvola di punti colorata di salone affrescato – Masseria Don Cataldo (Bari)

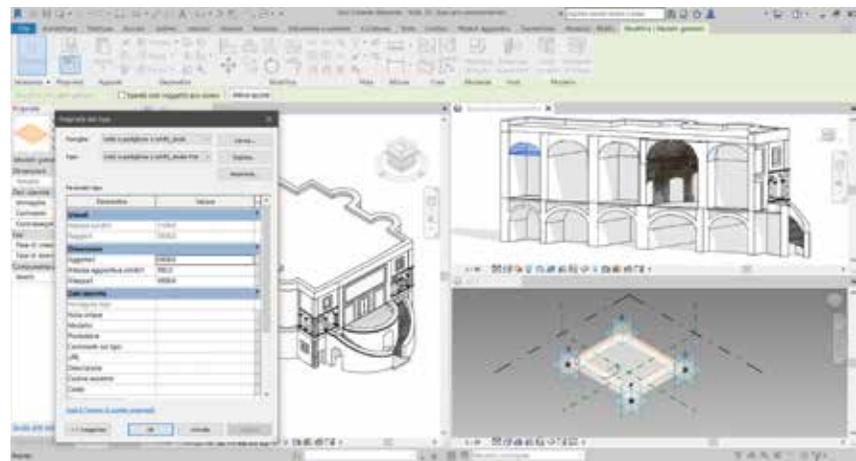


Fig. 3. Modello HBIM – Masseria Don Cataldo (Bari)

che alfanumerico, questi ultimi riguardanti informazioni strutturali, energetiche, manutentive e gestionali all'interno di una banca dati, che risulta interrogabile e aggiornabile in ogni stadio di conoscenza, analisi, diagnosi e intervento, in ragione dell'ottimizzazione dei processi decisionali.

Le due tipologie di modelli digitali possono risultare particolarmente utili quando applicate in modo integrato, sfruttando i vantaggi di entrambe le soluzioni. Difatti, la restituzione basata su immagini, in particolare nella richiamata fase di qualificazione preliminare, facilita l'analisi del bene "dal vero" nella rappresentazione accurata di forme irregolari e complesse, di superfici decorate e di manifestazioni visibili di degrado per cui i modelli grafici, pur accuratamente elaborati, possono risultare limitanti. Peraltro, la fotografia sferica e la fotogrammetria digitale si avvalgono in modo crescente di strumenti hardware e software di facile utilizzo, costo contenuto e elevato livello di automazione dei processi, fornendo soluzioni accessibili anche a operatori non esperti nel rilevamento. Di contro, la disponibilità di una "replica" 3D parametrizzabile e costituita dagli omologhi elementi tecnici, anziché da piante, prospetti e sezioni indipendenti tra loro, consente di arricchire semanticamente il modello e di apportare su di esso modificazioni, sia di tipo geometrico che informativo, che si ripercuotono automaticamente su tutti gli elaborati estratti in maniera congruente, dal progetto alla realizzazione fino alla gestione.

A partire da questi approcci, alcune esperienze di ri-

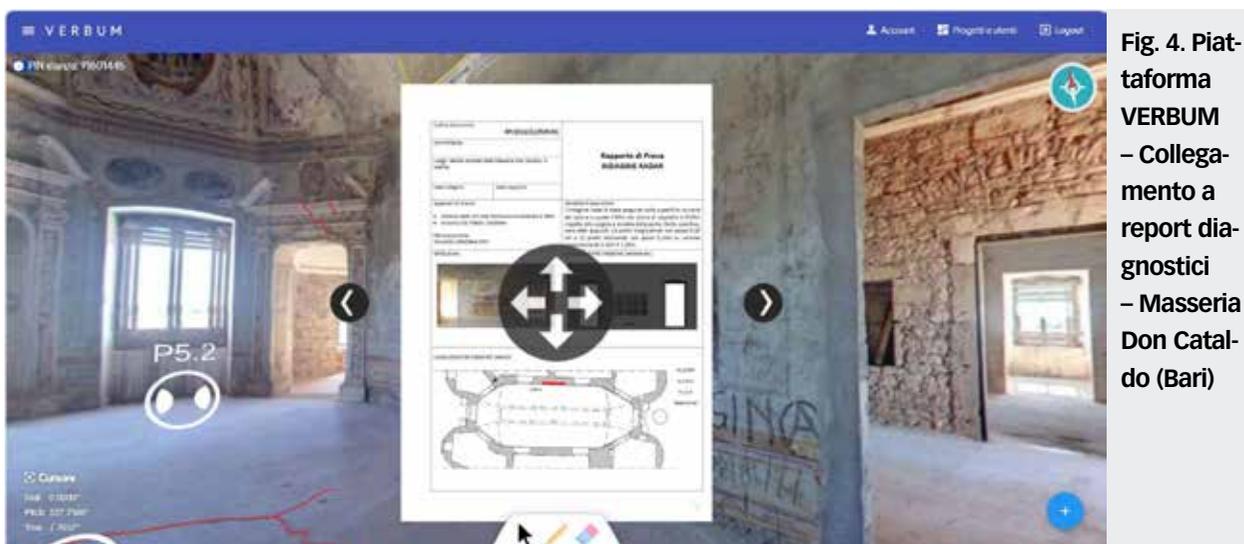


Fig. 4. Piattaforma VERBUM – Collegamento a report diagnostici – Masseria Don Cataldo (Bari)

cerca condotte negli ultimi anni presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECh) del Politecnico di Bari hanno riguardato lo sviluppo di soluzioni sperimentali, in particolare orientate alla creazione di piattaforme web che permettano in modo agevole e intuitivo la fruizione dei modelli 3D e del loro contenuto informativo, nonché di procedure semi-automatiche di gestione per l’ottimizzazione nell’estrazione dei dati. Tali esperienze hanno provato a coniugare le funzionalità operative offerte dagli strumenti disponibili con i requisiti propri del processo di recupero, con particolare attenzione all’indagine diagnostica in sito e alla mappatura delle forme di alterazione, fasi imprescindibili per la formulazione di un giudizio esperto sulle prestazioni residue

e di un indirizzo alla progettazione degli interventi. Il progetto “VERBUM. Virtual Enhanced Reality for Building Modelling” (Programma Innonetwerk – Regione Puglia) si è focalizzato sullo sviluppo di una piattaforma per la implementazione e esplorazione di tour virtuali di panorami sferici a 360°, in cui, oltre a fruire il bene a distanza, è possibile: (i) integrare una serie di prodotti digitali e contenuti informativi, quali collegamenti esterni referenziati nello spazio e riferiti a specifici elementi tecnici e spaziali, (ii) utilizzare strumenti di etichettatura e annotazione grafica; (iii) elaborare mappature tematiche, per esempio dell’evoluzione storica, delle alterazioni superficiali oppure degli interventi di recupero; (iv) operare in forma collaborativa via web da pc previa autenticazione per i diversi utenti abilitati e condurre il tour in modalità immersiva, anche simultaneamente, mediante visori. Più in dettaglio, i collegamenti esterni possono riguardare nuvole di punti colorate, modelli parametrici, registrazioni video e audio, come anche iconografia, documenti storici e report diagnostici, da inserire a cura di ciascun operatore (enti di gestione, enti di controllo, tecnici, imprese) per gli ambiti di competenza nel corso della conduzione del processo (Fig. 4). In particolare, i report diagnostici sono configurati secondo format standardizzati, con informazioni inerenti le strumentazioni adoperate, le modalità di esecuzione, le rilevanti condizioni al contorno, nonché corredati da scatti fotografici, schemi grafici e risultati in termini numerici e descrittivi. Gli strumenti di etichettatura e annotazione grafica permettono di schematizzare direttamente sul-

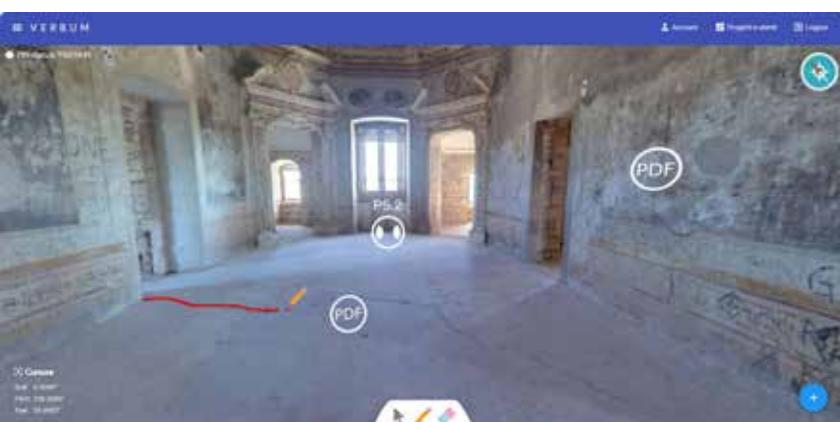
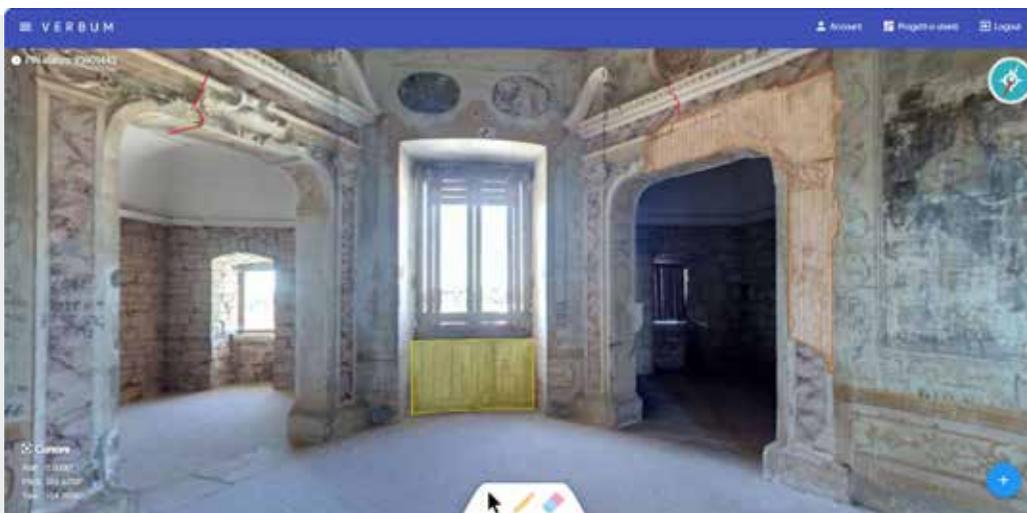


Fig. 5. Piattaforma VERBUM – Strumenti di annotazione – Masseria Don Cataldo (Bari)

Fig. 6. Piattaforma VERBUM – Mappatura degrado – Masseria Don Cataldo (Bari)



le sferiche linee e aree di interesse (fessurazioni, quadri umidi, quadri degrado, osservazioni visive) abilitando la funzione delle schede digitali di sopralluogo (Fig. 5). Ogni mappatura tematica, realizzata con strumenti di photoediting delle immagini equirettangolari corrispondenti alle immagini sferiche, è trattata come layer informativo, attivabile o disattivabile, a seconda che si voglia o meno avere una visione in sovrapposizione all'immagine e/o alle altre mappature (Fig. 6).

Nel caso di contestuale disponibilità di un modello HBIM del manufatto, gli elaborati grafici CAD, i modelli tridimensionali di progetto, i computi metrico-estimativi, il piano di sicurezza e coordinamento, le relazioni tecnico-illustrative e le schede tecniche, oltre che i documenti amministrativi, possono essere agevolmente caricabili e visualizzabili in ambiente virtuale. Inoltre, per quanto riguarda le potenziali convergenze con strumenti HBIM, la capacità dei software di modellazione BIM di esportazione stereo panorama 360°, in forma di foto equirettangolare, consente di ottenere immagini sferiche, utilizzabili nell'ambiente virtuale, per rappresentare la localizzazione fisica degli interventi di recupero (schemi distributivi, opere di consolidamento strutturale, servizi impiantistici, etc.). Al contempo, la ricostruzione sequenziale delle fasi

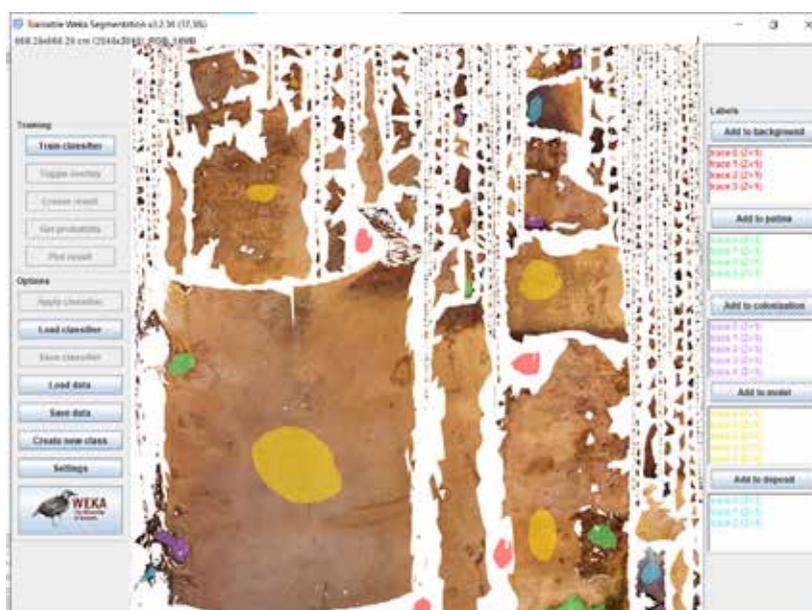


Fig. 7 Annotazione manuale delle forme di degrado per addestramento dell'algoritmo di intelligenza artificiale – Criptoportico del Parco Archeologico di Egnazia (Fasano - BR)

di esecuzione degli interventi, attraverso animazioni video (eventualmente elaborate dagli strumenti BIM) può essere di supporto sia per la comprensione della fattibilità tecnologica del sistema durante la progettazione costruttiva, sia per la formazione e l'informazione degli operatori ai diversi livelli di interrelazione. Nel progetto "BEHIND3: Built Environment and Heritage Innovative Digital Documentation and Diagnosis" (Programma RIPARTI, Regione Puglia), l'attenzione si



Fig. 8 Dall'alto: segmentazione automatica di una porzione di nuvola di punti, estrazione delle aree soggette a umidità, estrazione delle aree soggette a patina biologica - Criptoportico del Parco Archeologico di Egnazia (Fasano - BR)

è, invece, focalizzata principalmente su procedure semi-automatiche di riconoscimento di forme di alterazione su immagini sferiche e nuvole di punti colorate, acquisite con metodi speditivi, tramite smartphone e tablet. Il flusso di lavoro è concepito per un rilievo rapido, soprattutto per quegli edifici che presentano caratteri di inaccessibilità (per condizioni statiche e/o igieniche inadeguate, per collocazione in aree impervie, per condizioni di conservazione non compatibili con la presenza di persone, perché non pubblici/in uso) tali da richiedere la minima permanenza degli operatori nel sito e la massima affidabilità delle informazioni acquisite e elaborabili in post-produzione da remoto. In particolare, le nuvole di punti e le foto sferiche vengono sottoposte a tecniche supervisionate di image processing, in cui l'operatore "addestra" un algoritmo di intelligenza artificiale nell'associare informazioni di colore (es. bianco) e degrado (es. efflorescenza), fornendo manualmente un set di punti rappresentativi di un certo gruppo in cui l'associazione è valida (Fig. 7). Quindi, l'algoritmo "addestrato" viene eseguito per segmentare tutto il modello, estrapolando le sole parti in cui la stessa associazione si verifica. Il risultato è una mappatura tematica, che può essere anche ripetuta periodicamente nel tempo e confrontata automaticamente a intervalli prestabiliti, per monitorare l'evoluzione di

specifici quadri di degrado (Fig. 8). Peraltro, se il modello è opportunamente scalato, la ripetizione del flusso consente di stimare anche in termini quantitativi l'incremento dell'estensione spaziale delle anomalie visibili.

Nel progetto "Cloud HBIM Portal", sviluppato nell'ambito di un dottorato di ricerca in collaborazione con University of West England, Bristol (Regno Unito), è stata messa a punto una piattaforma web, basata su modellazione HBIM e arricchita di funzioni, strumenti e prodotti, utili a supportare la valutazione in chiave di recupero energetico degli edifici storici. In primo luogo, la piattaforma si configura come un visualizzatore online di modelli HBIM, in cui sono disponi-



Fig. 9. Cloud HBIM Portal - Interfaccia di interrogazione degli elementi del modello HBIM

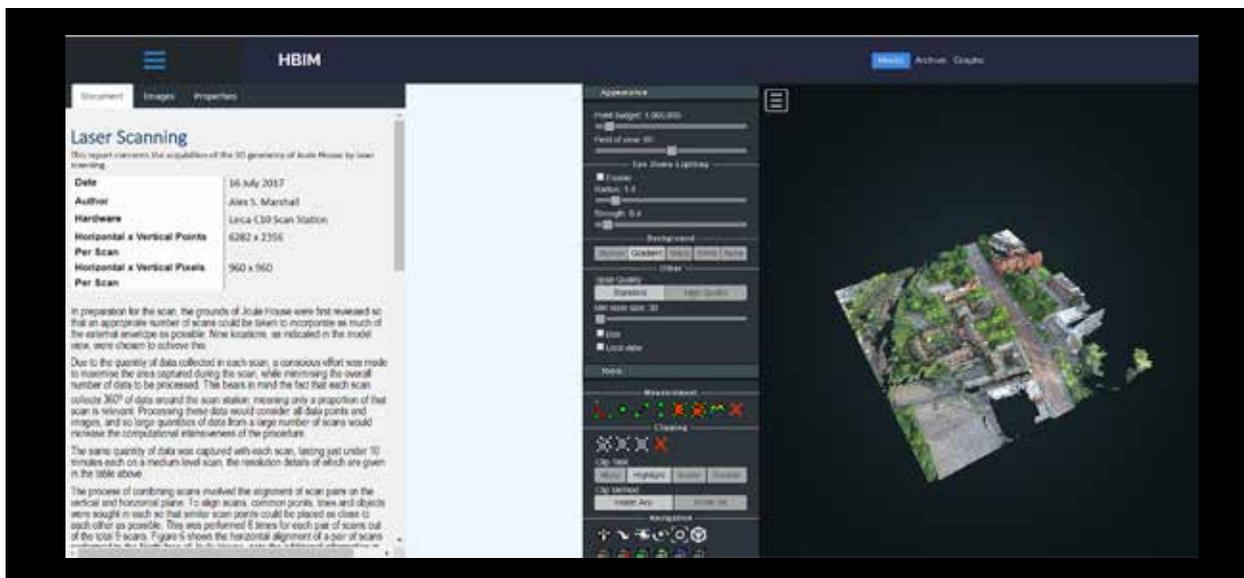


Fig. 10. Cloud HBIM Portal - Interfaccia di visualizzazione di nuvola di punti e relative specifiche di acquisizione

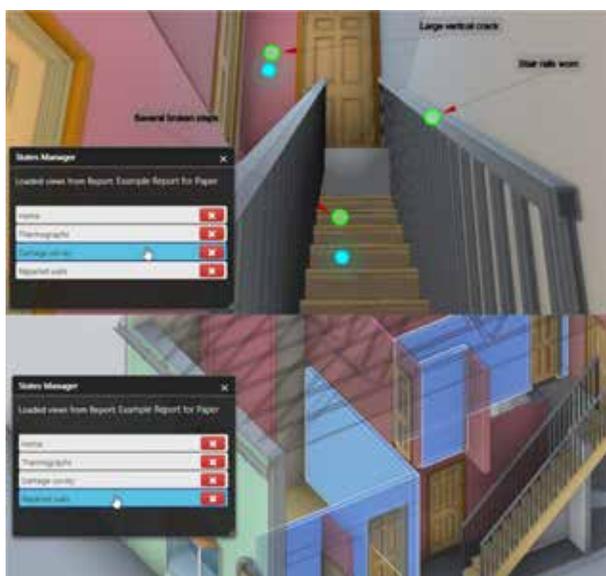


Fig. 11. Cloud HBIM Portal - Utilizzo di mark-ups per l'inserimento di annotazioni (es. degrado/danneggiamenti)

bili opzioni di variazione dei punti di vista, estrazione di sezioni orizzontali e verticali, attivazione di viste assonometriche e uso di strumenti di misura. Inoltre, è possibile navigare il modello parametrico seguendo la "struttura ad albero" degli oggetti, classificati per tipo e gerarchia e descritti da proprietà strutturate e codificate per categoria (Fig. 9). In aggiunta alla funzione di visualizzazione e interrogazione del modello, la piatta-

forma prevede ulteriori interfacce per tre macro-attività: (i) archiviare informazioni e ulteriori modelli di varia tipologia; (ii) inserire annotazioni e collegamenti a documenti referenziati nello spazio; (iii) consultare dati di monitoraggio acquisiti in sito in tempo reale ed elaborabili in forma di grafici, diagrammi e reportistica per analisi di dettaglio. In particolare rispetto a questo terzo aspetto, la piattaforma interpreta pienamente il concetto di Gemello Digitale (Digital Twin), in cui alla replica virtuale del bene si integra la gestione di misure dirette e continue per il rilevamento e il controllo delle prestazioni del sistema tecnologico e ambientale.

Nello specifico, per quanto riguarda informazioni e modelli, sono previste schermate dedicate con campi predefiniti per testi, link ipertestuali e immagini su "Significato storico", "Trasformazione nel tempo", "Interpretazione" e "Conservazione". Inoltre, vi è la possibilità di inserire e caricare nuvole di punti con relative specifiche di acquisizione (Fig. 10).

Per quanto riguarda annotazioni e collegamenti, è possibile utilizzare degli elementi sensibili (mark-ups) localizzati e collegati ad appunti/commenti (Fig.11) o a file contenenti documenti utili, fra cui report diagnostici (Fig. 12). Infine, con riferimento alle misurazioni in tempo reale, è possibile visualizzare la localizzazione dei sensori, nonché consultare grafici con i valori delle misure acquisite nelle ultime ventiquattrore e tutti i rapporti periodici creati automaticamente a intervalli regolari dall'inizio

del monitoraggio. Inoltre, è disponibile il collegamento ad un navigatore dati, che fornisce diverse possibilità di lettura, restituzione in diagrammi ed esportazione dei parametri misurati dai sensori (Fig. 13) e di altri parametri derivanti da altre banche dati (es. rilevamenti di stazioni meteorologiche). Il processo di controllo è, altresì, supportato dalla possibilità di stabilire delle soglie di accettabilità di determinati parametri (es. temperatura dell'aria, concentrazione di inquinanti), oltre cui si genera un allarme da parte del sistema, trasmesso attraverso messaggistica al gestore.

In conclusione, tutte le soluzioni prospettate hanno lo scopo di delineare un paradigma di sviluppo di metodologie e tecnologie innovative per la modellazione e la gestione in ottica di risoluzione dei limiti procedurali del recupero del costruito storico. Difatti, sistemi che

favoriscono la raccolta armonizzata di informazioni, la codifica di protocolli standardizzati di indagine e lo sviluppo di piani coordinati di azione risultano strategici per garantire l'efficienza nella programmazione di tempi e risorse, unitamente all'efficacia di implementazione delle misure tecniche. D'altronde, occorre osservare che, al pari delle sperimentazioni scientifiche per la validazione di metodi e tecniche, uno impegno rilevante dovrà essere dedicato nel prossimo futuro al trasferimento tecnologico dei saperi dall'accademia al mercato di enti, professionisti e imprese che operano nel settore. Per questo, risulterà cruciale la formazione di figure specializzate nella gestione dell'innovazione, che guidino i processi di transizione digitale nel giusto equilibrio fra le competenze dell'ingegneria edile e dell'architettura e quelle delle scienze dell'informazione e comunicazione.

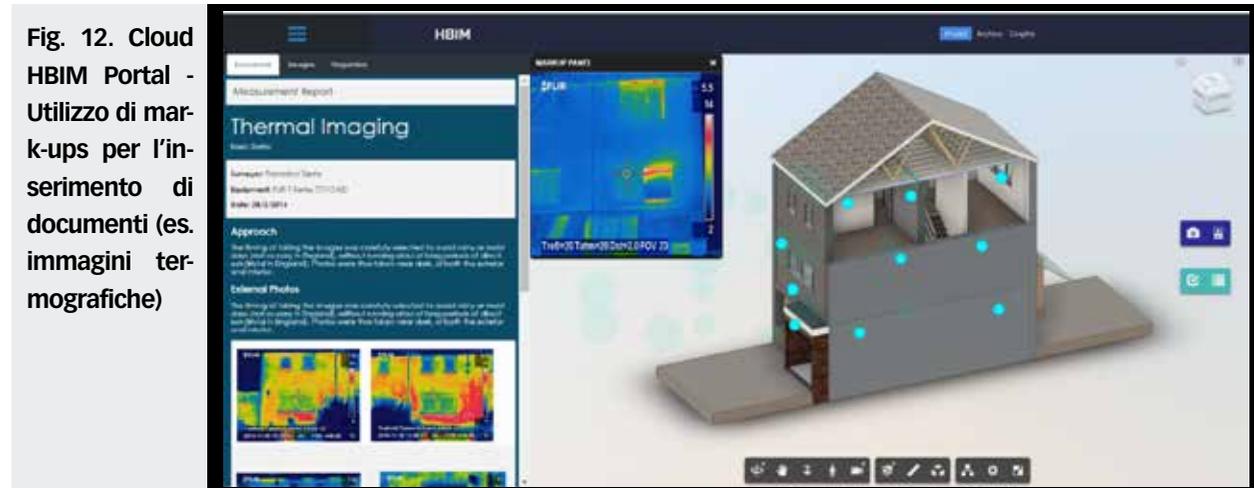


Fig. 12. Cloud HBIM Portal - Utilizzo di mark-ups per l'inserimento di documenti (es. immagini termografiche)

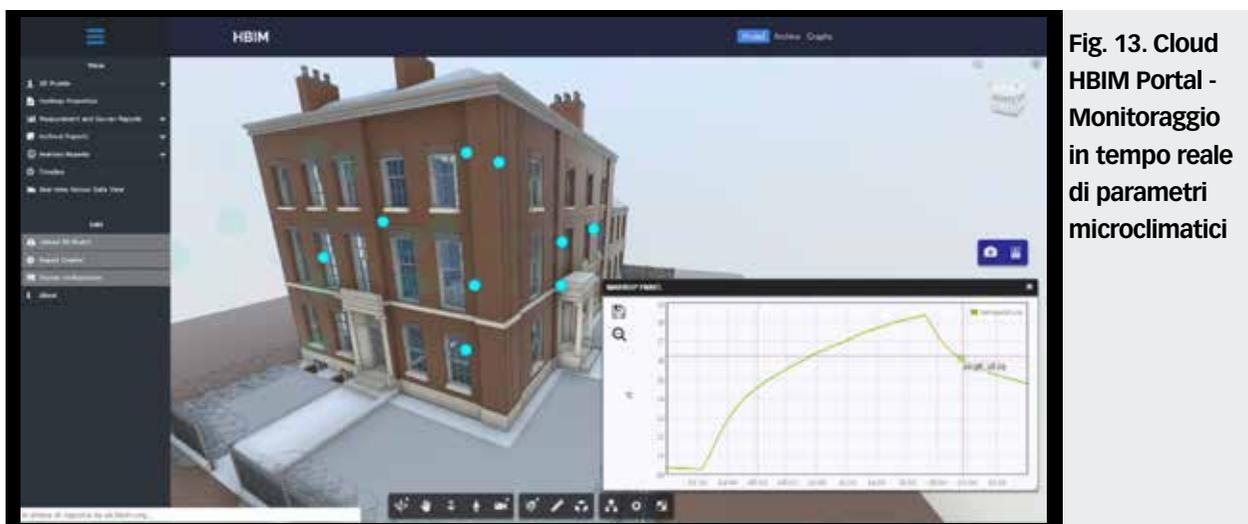


Fig. 13. Cloud HBIM Portal - Monitoraggio in tempo reale di parametri microclimatici