

Integrazione di building information modeling e realtà aumentata per migliorare l'indagine di edifici storici

Francesco Chionna, Francesco Argese, Vito Palmieri, Italo Spada, Lucio Colizzi

Centro di progettazione, design e tecnologie dei materiali (CETMA), Brindisi, Italia

Parole chiave: information modeling, realtà aumentata, ingegneria del software, visione artificiale

1. Premessa

Attualmente la conservazione degli edifici storici richiede studi ingegneristici strutturali durante il processo di valutazione e preservazione [1]. Inoltre, questo processo richiede una indagine preliminare dello stato strutturale, che coinvolge l'utilizzo di strumenti non invasivi e non distruttivi tra cui la termografia, la stratigrafia e la tomografia. Tipicamente, nella prima fase del processo di conservazione, conosciuto come fase della Conoscenza, un ingegnere strutturale acquisisce i dati sul sito e poi li analizza nel suo ufficio senza avere una vista contestualizzata dell'intero problema.

Negli ultimi anni abbiamo assistito alla nascita di nuove tecnologie, che consentono lo sviluppo di nuovi strumenti in grado di offrire un contributo alla semplificazione dell'accesso alle informazioni degli edifici storici. In particolare, la crescita di tecnologie per la modellazione delle informazioni di un edificio (Building Information Modeling, BIM) e per la Realtà Aumentata (AR) hanno aperto nuove prospettive per migliorare il tipico processo di indagine [2]: BIM offre una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di una infrastruttura [3], mentre AR offre strumenti per vedere un ambiente del mondo reale aumentato da informazioni generate tramite un computer [4].

Nell'ambito di tale scenario, questa pubblicazione presenta un lavoro sperimentale, che descrive il processo di sviluppo di uno strumento che mira a migliorare l'indagine di edifici storici. Il lavoro include:

1. Informazioni BIM basate sul formato di file IFC (Industry Foundation Classes);
2. Visualizzazione in AR di informazioni BIM tramite l'utilizzo di tablet ed occhiali 3D, contestualizzate allo scenario che l'utente sta guardando.

La maggior parte del lavoro in questa ricerca sperimentale è stato indirizzato a:

- Recuperare e sviluppare informazioni BIM correlate all'edificio storico integrando dati da strumenti non invasivi;
- Valutare AR come uno strumento di visualizzazione di dati BIM contestualizzati all'edificio che l'utente sta esaminando.

I risultati sono stati testati sul caso di studio Monastero Fortezza di Santo Spirito collocato ad Ocre nella provincia di L'Aquila in Italia.

2. Lavori correlati

Altri lavori correlati sono stati proposti sull'utilizzo di BIM ed AR per migliorare l'indagine di edifici, ciascuno relativo ad uno specifico aspetto del problema. Nelle sotto-sezioni che seguono è riportata una analisi dei lavori correlati a ciascun aspetto.

a. BIM

Building Information Modeling (BIM) è una tecnologia emergente nell'industria Architettura/Ingegneria/Costruzione (Architecture/Engineering/Construction, A/E/C). BIM è una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio, che possono essere utilizzate come una risorsa di conoscenza condivisa per le informazioni di un edificio. Essendo basato sulla semantica e su tecniche orientate agli oggetti, l'approccio della modellazione 3D di BIM semplifica l'accesso ai dati dell'edificio, includendo gli oggetti e le loro proprietà usate nelle fasi di progettazione, costruzione ed intervento [3]. In aggiunta, la capacità di progettazione

parametrica di BIM consente di apportare modifiche alla progettazione in maniera veloce, interattiva ed in tempo reale. BIM non è stato progettato in maniera dedicata per applicazioni negli edifici storici ma molti ricercatori hanno condotto ricerche per comprendere come BIM stesso o sue estensioni potrebbero essere utili in questo campo. In particolare, uno studio di ricerca condotto da Oreni et al. [5] illustra l'utilità di adattare un modello di contenuti 3D ad un modello di informazioni su edifici storici (Historic Building Information Modelling, HBIM) per supportare la conservazione e la gestione del patrimonio edilizio proponendo una libreria per l'analisi di volte e pavimenti in travi in legno. Un altro studio di Pauwels et. Al. [6] ricerca i vantaggi di un approccio alternativo a BIM, chiamato AIM (Architectural Information Modelling), per applicazioni nella documentazione degli edifici per il patrimonio virtuale, combinato con strumenti di analisi storica.

b. Realtà Aumentata

La realtà aumentata è un campo di ricerca finalizzato alla creazione di un ambiente nel quale contenuti informativi generati elettronicamente vengono inseriti all'interno della scena reale visualizzata dall'utente.

Essa ricopre un ruolo chiave nel migliorare ed arricchire la visualizzazione di oggetti collocati all'interno di specifici contesti. In letteratura sono presenti diverse tecnologie basate su differenti principi finalizzati alla implementazione della realtà aumentata ma, all'interno di questo documento, citeremo soltanto quelle riguardanti l'utilizzo della visione artificiale, data la loro peculiare caratteristica di non invasività.

La visualizzazione di oggetti 3D in realtà aumentata, basata sulla visione artificiale, prevede:

1. Riconoscimento di un marker (approccio marker-based) o di un oggetto all'interno della scena (approccio marker-less);
2. Applicazione di metodi dipendenti dal contesto per la visualizzazione in tempo reale di contenuti in realtà aumentata fruibili su dispositivi mobili.

Diversi studi riguardanti entrambi gli argomenti sono stati ben riassunti all'interno di una recente indagine condotta da Shoaib [7]. Entrambi gli approcci marker e marker-less sono stati proposti all'interno di diverse soluzioni commerciali pronte all'uso [8]; tuttavia l'utilizzo dell'approccio marker-less non è sempre possibile in quanto esso richiede sia specifiche condizioni di luce sia la presenza di peculiari caratteristiche identificabili all'interno della scena.

Lo sviluppo delle tecnologie concernenti la realtà aumentata è andato di pari passo con l'innovazione dei dispositivi mobili e spesso è tradotta in applicazioni software che possono essere fruite su smartphone, tablets o visori avanzati. Nonostante questo, la visualizzazione in tempo reale su dispositivi dotati di basse prestazioni può risultare problematica quando riguarda oggetti 3D complessi.

I temi più popolari riguardanti la realtà aumentata riguardano l'interazione e la Mobile Augmented Reality.

Feiner and Holler [4] hanno identificato sei componenti tecnologiche basilari per la realtà aumentata:

- Una piattaforma computazionale per l'analisi ed il calcolo di tutte le informazioni rilevanti finalizzate alla visualizzazione degli oggetti in realtà aumentata;
- Un display per la presentazione all'utente degli oggetti virtuali;
- Una fase di calibrazione. I parametri di calibrazione della telecamera e l'orientazione della testa rappresentano elementi utili al corretto allineamento dei contenuti in realtà aumentata nella scena reale;
- Tecnologie indossabili e d'interazione che permettano all'utente la mobilità e la collaborazione con altri utenti;
- Connettività wireless finalizzata alla comunicazione istantanea con altre persone e/o con una base di dati centralizzata;
- La memorizzazione dei dati ed una tecnologia accessibile che fornisca all'utente tutti i dati di contesto rilevanti per l'ambiente destinato alla fruizione in realtà aumentata.

c. Integrazione tra BIM ed AR

L'integrazione tra BIM ed AR è stata investigata in molti lavori di ricerca correlati alla gestione delle infrastrutture ed a strumenti per l'industria AEC. Koch et al. [10] hanno proposto un framework concettuale per supportare gli operatori di manutenzione dell'infrastruttura nell'esecuzione di lavori quotidiani in sito combinando BIM e marker naturali per fornire supporto alla manutenzione basata su AR. Irizarry et al. [11] hanno proposto InfoSPOT, uno strumento di AR mobile per accedere alle informazioni circa le infrastrutture di cui gestiscono la manutenzione. Woodman et al. [12] hanno proposto un sistema software per l'interazione con modelli BIM complessi tramite dispositivi mobili. Gheisari et al. [13] hanno esplorato i vantaggi di un approccio che utilizza BIM ed AR mobile nella gestione delle infrastrutture sottomettendo un questionario a dei manager per raccogliere dei feedback. Hakkarainen et al [14] hanno proposto un'architettura software per mettere a disposizione dell'utente mobile accesso in tempo reale ad informazioni CAD (Computer Aided Design) e BIM tramite la realtà aumentata nel sito di costruzione. El Ammari ha proposto un framework per offrire Mixed Reality collaborativa basata su BIM e marker-less (BIM3R) integrando CMMS (Computerized Maintenance Management Systems), BIM e tracking basato su video in una configurazione BIM 3R per recuperare informazioni basate su tempo e posizione dell'utente, visualizzare le operazioni di manutenzione e supportare la collaborazione tra gli operatori e l'ufficio per migliorare la scelta delle decisioni.

d. Il nostro contributo

Molti studi sono stati condotti su BIM applicato ad edifici storici, sull'AR e sull'integrazione di BIM ed AR per la gestione delle infrastrutture e non ci sono dubbi circa la loro utilità. A nostra conoscenza, non sono stati pubblicati lavori di ricerca che applicano tali tecnologie per migliorare l'indagine di edifici storici, un argomento che espone a nuove sfide dovute alla ridotta accessibilità ed all'utilizzo di strumenti non invasivi per l'analisi. Tale argomento può trarre beneficio dalla disponibilità di nuovi strumenti per integrare ed offrire una vista contestualizzata dei risultati da analisi con strumenti non invasivi direttamente sul sito. Tale sistema consente di indagare le seguenti problematiche:

1. Esplorare problemi di questo approccio applicato ad edifici storici e proporre soluzioni
2. Confrontare questo approccio con l'approccio tradizionale e valutare i vantaggi.

3. Panoramica del Sistema

Lo scopo principale del Sistema è creare uno strumento per migliorare l'indagine di edifici storici. Il Sistema è stato sviluppato in tre fasi principali:

1. Integrazione di dati diagnostici nella rappresentazione BIM dell'edificio storico;
2. Sviluppo di un modulo software per leggere dati BIM;
3. Sviluppo di un modulo di Realtà Aumentata per individuare le caratteristiche di una parte dell'edificio o di marker all'interno dell'edificio storico ed aumentare la visualizzazione dell'edificio storico utilizzando dati BIM.

Il progetto include un dispositivo per visualizzare una vista aumentata in tempo reale durante l'indagine, che deve essere usata dall'ingegnere o dall'architetto durante l'analisi all'interno dell'edificio storico.

La Figura 1 rappresenta l'architettura logica del sistema completo. Questa pubblicazione descrive solo i moduli relativi alla rappresentazione BIM dell'edificio, l'integrazione dei dati diagnostici nel BIM e la tecnologia di Realtà Aumentata adottata. Nelle sotto-sezioni che seguono è riportata una descrizione di ciascun modulo sviluppato per questo lavoro di ricerca.

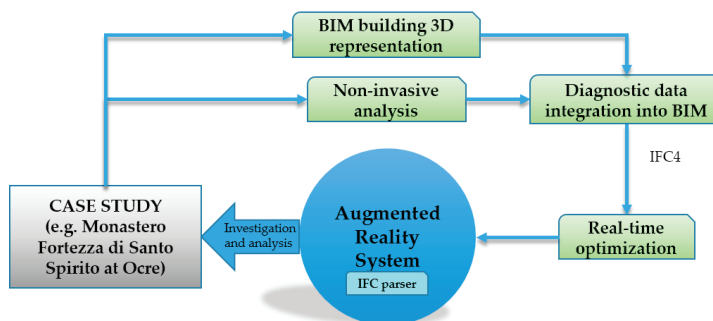


Figura 1. Architettura logica del sistema

a. Integrazione di dati diagnostici in BIM

L'integrazione dei dati diagnostici in BIM è cruciale per il sistema descritto perché consente di aggiungere informazioni a ciascuna sezione, mantenendo il valore semantico della rappresentazione BIM. Durante la fase di sviluppo di questo modulo, il nostro focus è stato principalmente sulla fusione di differenti tipologie di informazioni semplificando l'accesso per l'utente finale. Per raggiungere tale obiettivo è stato adottato un flusso di lavoro personalizzato che include tre fasi principali: la rappresentazione BIM dell'edificio, l'integrazione di dati diagnostici in BIM e l'implementazione di un parser per leggere i dati dal BIM. Nelle sotto-sezioni che seguono è riportata una descrizione di ciascuna fase.

Rappresentazione dell'edificio tramite BIM

In questo step, è stata sviluppata una rappresentazione 3D dell'edificio storico utilizzando il software commerciale Archicad. Il risultato è una rappresentazione BIM dell'edificio che include molte parti con riferimenti semantici. Il software offre molti formati di esportazione tra cui alcuni proprietari ed altri non proprietari. Uno dei formati non proprietari più adottati è IFC (Industry Foundation Classes) [3], uno standard open che definisce un modello di dati, sviluppato dall' International Alliance for Interoperability (IAI).

La scelta del modello di dati IFC consente di esportare la geometria dell'edificio e le informazioni sulle proprietà dei materiali utilizzando uno strumento di authoring BIM; essendo uno standard aperto può essere esteso con nuove funzionalità per aggiungere nuove informazioni nel caso in cui siano richieste. In particolare, lo standard adottato per la rappresentazione BIM è IFC-SPF: si tratta di un formato di testo definito da ISO 10303-21 ("STEP-File") che ha estensione di file ".ifc". La struttura di base di SPF divide ciascun file in due sezioni: una sezione header ed una sezione data. La sezione header contiene le seguenti informazioni:

- La versione di IFC utilizzata;
- l'applicazione con cui è stato esportato il file;
- la data e l'orario in cui è stato esportato il file;
- il nome, l'azienda e la persona che ha creato il file (spesso opzionale).

Di seguito è riportato un esempio di header di un file IFC.

```

HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('IFC 2x platform'),'2;1');
FILE_NAME(
'Example.ifc',
'2005-09-02T14:48:42',
('The User'),
('The Company'),
'The name and version of the IFC preprocessor',

```

```
'The name of the originating software system',
'The name of the authorizing person');
FILE_SCHEMA(('IFC2X2_FINAL'));
ENDSEC;
```

La sezione data contiene tutte le istanze per le entità della specifica IFC. Queste istanze hanno un unico STEP Id (all'interno della visibilità del file), il nome del tipo di entità ed una lista di attributi espliciti. Nel testo che segue è riportato un esempio di una sezione data di un file IFC.

```
DATA;
#4= IFCPERSON($,'Non definito',$,$,$,$,$);
#6= IFCORGANIZATION($,'Non definito',$,$,$);
#10= IFCPERSONANDORGANIZATION(#4,#6,$);
#13= IFCORGANIZATION('GS','Graphisoft','Graphisoft',$,$);
#14= IFCAPPLICATION(#13,'18.0.0','ArchiCAD-64',
'IFC2x3 add-on version: 3006 ITA FULL');
#15= IFCOWNERHISTORY(#10,#14,$,ADDED,$,$,$,1425638738);
#16= IFCSIUNIT(*,LENGTHUNIT,.,MILLI,.,METRE.);
#17= IFCSIUNIT(*,AREAUNIT,.,SQUARE_METRE.);
#18= IFCSIUNIT(*,VOLUMEUNIT,.,CUBIC_METRE.);
```

Integrazione dei dati diagnostici in BIM

L'integrazione di dati diagnostici in BIM richiede l'utilizzo di un approccio personalizzato in quanto, al momento, il software adottato non supporta tale funzionalità in maniera nativa. Come anticipato, l'utilizzo di IFC offre la possibilità di aggiungere nuovi campi per estendere il formato di file con altre caratteristiche. Per ciascuna parte della rappresentazione, sono stati utilizzati gli studi effettuati con strumenti non invasivi utilizzando un campo personalizzato del BIM. In Figura 2 è riportata un'analisi fatta con la camera termica (immagine a sinistra) e la pianta dell'edificio con l'indicazione (in rosso) della posizione correlata al dato acquisito.

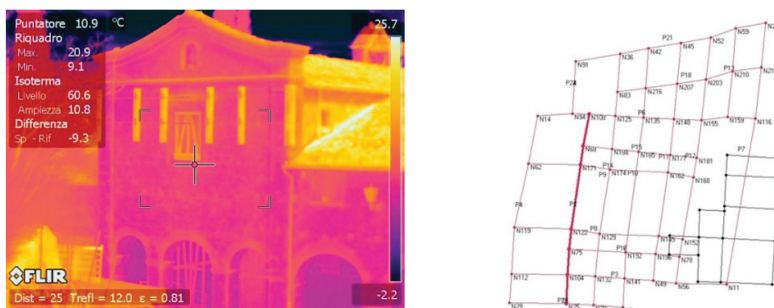


Figura 2: Immagine acquisita tramite termocamera e pianta dell'edificio

Per estendere la struttura dati principale con nuova informazioni, sono state utilizzate le proprietà *IfcProperty* ed *IfcPropertySet*. In Tabella 1 è riportato un esempio correlato alla definizione di un insieme di proprietà per l'immagine dell'edificio storico acquisita tramite termocamera.

Tabella 1: Proprietà utilizzate per la termografia

Indagine	Termografia
	Termografia edificio
	Property name
	filename
	note
	author
	date
	scale
	camera model
	spatial resolution
	Thermal resolution
	accuracy
	Spectral range
	FPA
	Sensor resolution
	Measuring range

IFC parser implementation

Per implementare l'integrazione del file risultante ifc con il resto del sistema, è stata utilizzata una libreria C++ per ifc. Tra i vari strumenti commerciali ed open source per lavorare con dati IFC [17], la nostra scelta è ricaduta su *IfcPlusPlus*, una libreria C++ open source che offre alcune classi per semplificare la lettura e la scrittura di file IFC in formato STEP. Le caratteristiche principali della libreria sono: la disponibilità di strumenti per la gestione della memoria facili ed efficienti; la disponibilità di un reader parallelo che consente il parsing in maniera molto veloce sfruttando le GPU (Graphics Processing Unit) multi-core e l'integrazione con il motore di rendering *OpenSceneGraph* [15] per scopi di visualizzazione.

b. Architettura software

Come riportato in Figura 3, il sistema è modulare per consentire il riuso di componenti ed include quattro moduli principali:

- Il software **BIM Module**, che è responsabile della gestione e dell'accesso ai dati BIM includendo le informazioni geometriche del modello ed i dati diagnostici;
- Il software **ArModule**, che è utilizzato per il riconoscimento di oggetti e per il tracciamento. E' basato su algoritmi marker e marker-less in base alle caratteristiche dello scenario di riferimento. Gli algoritmi di tracciamento sono stati implementati utilizzando la libreria *OpenCV* [16] mentre la visualizzazione è stata implementata con la libreria *OpenSceneGraph* [15];
- Il **GUI Module**, che mette a disposizione una interfaccia utente per sfogliare e visualizzare i dati, gestire l'interazione utente attraverso differenti tipologie di widget;
- Il **DB Module**, che è responsabile di gestire ed accedere ai dati del profilo utente ed è stato sviluppato utilizzando la libreria *Soci* [18].

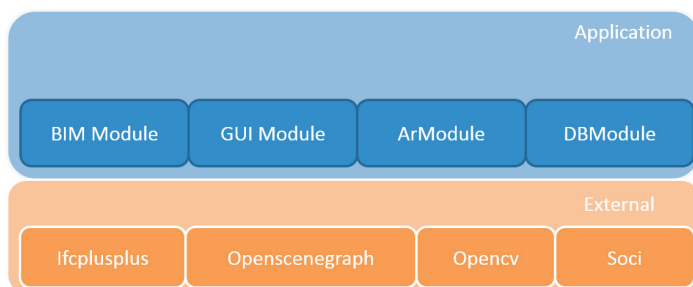


Figura 3: Architettura software

c. AR visualization

Hardware

Lo sviluppo del modulo relativo alla realtà aumentata ha richiesto l'utilizzo di un visore 3D e di un PC-tablet, mostrati in Figura 4. Le sottosezioni seguenti presentano una descrizione dettagliata di entrambi i dispositivi e le motivazioni che hanno portato alla loro scelta.

Vuzix Wrap™ 920AR: Il visore Vuzix Wrap 920AR è composto da due sottosistemi: Un sistema di telecamere stereo per l'acquisizione video;

Un display che fornisce all'utente l'equivalente visivo di uno schermo da 67 pollici, ad una distanza di 10 piedi (3m)

Il sistema di telecamere di cui è dotato il dispositivo prevede due sorgenti video discrete, ciascuna riconosciuta da un PC come una videocamera standard USB. Ogni telecamera cattura video in formato 640 x 480 ad una velocità di 30 fotogrammi al secondo. Le funzionalità di visualizzazione del 920AR Wrap possono essere sfruttate su qualsiasi dispositivo composito compatibile. Per l'utilizzo come sistema di realtà aumentata, è stato collegato ad un personal computer basato su Windows (desktop, notebook o laptop) tramite l'adattatore VGA incluso. L'immagine prodotta dal visore, visualizzata in standard 2D o 3D, può essere arricchita con potenzialmente qualsiasi forma di dati generati da computer in forma di testo, immagini fisse o anche video.

Asus Eee Slate EP121: Il tablet ASUS Eee Slate EP121 è un dispositivo dotato di elevate prestazioni e portabilità, equipaggiato con un processore Intel® Core i5™, un ampio schermo wide touchscreen ultrasensibile (12.1", 1280 x 800 pixel) utilizzabile a mano libera o con input di precisione mediante pennino. È equipaggiato con sistema operativo Windows 7 Home Premium 64 bit, ha un peso di 2.5 lbs e la sua autonomia arriva fino a 3.5 ore.

Il dispositivo utilizza una memoria SSD per la memorizzazione anziché un tradizionale hard disk meccanico, aumentando le performance del software sviluppato e garantendone una fruizione in tempo reale. Il dispositivo può essere connesso al visore selezionato mediante le due porte USB, l'adattatore wireless Atheros WiFi 802.11b/g/n ed la porta mini-HDMI di cui è dotato. Tali caratteristiche rendono questo dispositivo adatto al supporto per l'analisi video delle campagne esplorative. Collegandolo al visore Vuzix Wrap 920AR tramite porta USB, è in grado di garantire l'acquisizione diretta della scena inquadrata dall'utente che li indossa e l'elaborazione in tempo reale della scena.

Come alternativa all'uso del pennino in dotazione per il controllo del tablet PC, abbiamo sperimentato l'uso di un telefono cellulare come emulatore di mouse. In particolare, il nostro sistema sperimentale utilizza la comunicazione Bluetooth per il controllo del tablet PC mediante il touch screen dello smartphone, permettendo all'utente di selezionare una particolare regione di interesse (ROI) sullo schermo al fine di elaborare solo una determinata area specifica della scena.



Figura 4: Dispositivi utilizzati per il Sistema Sperimentale

Metodi Software e tecnologie per il tracciamento non invasivo

Nel tracciamento visivo, il sistema deduce la stima della posa sulla base di osservazioni dirette della scena. In un ambiente privo di caratteristiche robuste per il riconoscimento è impossibile riconoscere le caratteristiche di un modello predefinito basandosi esclusivamente su osservazioni visive della scena. Una soluzione per ovviare a tali impedimenti è quella di aggiungere un'immagine predefinita facilmente rilevabile all'interno dell'ambiente ed utilizzare tecniche di visione artificiale per rilevarla. Un cosiddetto "marker" è un'immagine che un sistema informatico è in grado di rilevare all'interno di un flusso video utilizzando tecniche afferenti all'elaborazione delle immagini, al riconoscimento di modelli predefiniti e a tecniche di visione artificiale. Effettuato il riconoscimento, viene definita la stima della posa: questo approccio è definito marker-based.

Un altro approccio per il tracciamento visivo è rappresentato dall'utilizzo di metodi basati sull'individuazione di punti di interesse caratteristici, che presenta un modello della scena o parte della scena (ad esempio, una immagine modello). Esso mette a confronto le osservazioni visuali con il modello e ne calcola la migliore corrispondenza, definendo così la stima della posa. Nel tracciamento basato su punti di interesse peculiari all'interno della scena, il sistema rileva le caratteristiche ottiche nelle immagini e acquisisce informazioni sull'ambiente sulla base del tracciamento dei movimenti tra i frame.

Nella nostro ArModule, il tracciamento basato su caratteristiche della scena e il tracciamento basato su marker sono mutuamente non esclusivi. Infatti i metodi basati su marker offrono prestazioni migliori di metodi basati su caratteristiche in alcuni casi (ad esempio ambienti con grandi muri bianchi hanno pochissime caratteristiche per il riconoscimento e, quindi, il tracciamento marker-less è impossibile o, per lo meno, poco affidabile) mentre l'approccio marker-less è utilizzato per il tracciamento visuale in ambienti riconoscibili.

Il modulo che implementa la realtà aumentata è stato suddiviso nelle seguenti macro fasi (Figura 5):



Figura 5. Macro fasi del modulo AR

- **Acquisizione:** la prima fase concerne l'acquisizione video in tempo reale della scena effettuata mediante il visore Vuzix Wrap 920AR, utilizzato nel sistema sperimentale realizzato e descritto nel paragrafo successivo;
- **Pre-elaborazione:** tutte le operazioni in questa fase mirano a migliorare le caratteristiche dell'immagine, sopprimendo le distorsioni indesiderate e/o migliorandone alcune caratteristiche, utili per successive fasi di elaborazione;
- **Rilevamento:** in questa fase viene applicato sia un rilevamento delle caratteristiche distintive della scena sia un algoritmo di estrazione di tali caratteristiche;
- **Riconoscimento:** a valle della generazione delle caratteristiche distintive della scena da parte della fase di rilevamento, viene utilizzato un algoritmo di

matching per l'individuazione delle corrispondenze di tali caratteristiche con un database di caratteristiche note;

- **Tracciamento:** questa fase usa algoritmi per il tracciamento tramite localizzazione, che permette di tenere traccia dei modelli noti attraverso un'analisi di rilevamento su fotogrammi in sequenza;
- **Visualizzazione:** i dati raccolti nei passi precedenti vengono utilizzati per arricchire la scena aggiungendo informazioni riguardanti l'oggetto di analisi identificato nella scena. Ad esempio, le informazioni su proprietà contenute in un BIM potrebbero essere aggiunte alla scena nel momento in cui viene identificato un affresco.

Le fasi di riconoscimento e tracciamento includono anche una stima della posa, che permette di derivare la relazione spaziale tra il punto di vista dell'utente e l'oggetto virtuale mediante una identificazione nella scena di caratteristiche comuni (punti, linee, macchie) ed attraverso la conoscenza di tali caratteristiche in termini di aspetto, dimensioni e posizione nello spazio 3D. Il risultato è una misura qualitativa in 6DoF (gradi di libertà) della posa dell'oggetto nella scena reale, che è cruciale durante la fase di visualizzazione del contenuto in realtà aumentata permettendone un posizionamento ed orientamento coerente rispetto alla scena.

La struttura del modulo software che gestisce la stima della posa, può essere concettualmente suddivisa in due fasi: fase di apprendimento e fase di rilevazione. La prima fase prevede una preliminare fase di calibrazione della fotocamera, necessaria per evitare problemi legati a distorsioni nelle immagini derivanti dall'ottica utilizzata. Nella prima fase si ottiene da parte del sistema l'apprendimento del pattern da identificare nella scena estraendone e memorizzandone i descrittori dei suoi elementi strutturali; nella seconda fase tali elementi memorizzati vengono utilizzati al fine di effettuare un matching con i relativi elementi caratteristici individuati nella scena in tempo reale; a valle di tale processo si ottiene la stima della posa dell'oggetto 3D di riferimento. In Figura 6 vi è un diagramma di flusso che rappresenta le due fasi.

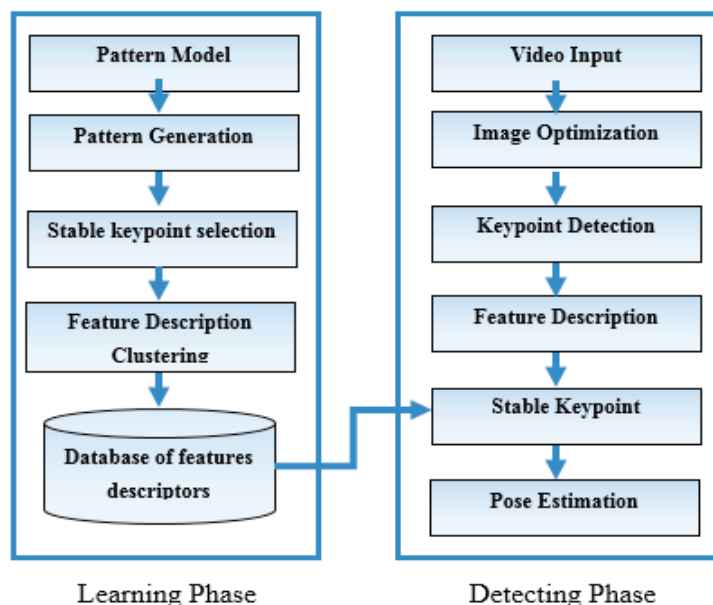


Figura 6 – Diagramma di flusso della fase di apprendimento e della fase di tracciamento

Al fine di indirizzare la ricerca e lo sviluppo verso algoritmi utili all'estrazione di punti caratteristici, alla loro descrizione ed accoppiamento, sono state testate differenti tecniche di visione artificiale.

In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti algoritmi:

- **Speeded-up Robust Features (SURF)**: SURF è stato presentato da Bay et al [19]. È un robusto estrattore e descrittore di caratteristiche locali di una immagine che si basa su un'approssimazione della matrice Hessiana mediante l'utilizzo di box filter. Il descrittore raccoglie la distribuzione della risposta alla wavelet di Haar all'interno di un intorno del punto di interesse. Il descrittore può essere inoltre ottenuto come il vettore che si basa sulla distribuzione di intensità di regioni interne alla immagine centrate nei punti di interesse. Estrattore e descrittore SURF fanno ricorso ad immagini integrali al fine di ridurre la complessità computazionale, rendendoli quasi tre volte più veloci dei corrispondenti estrattore e descrittore SIFT. Questa tecnica assicura la robustezza dei punti individuati rispetto a trasformazioni di scala e rotazione.
- **Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)**: SIFT è stato proposto da David Lowe [20]. Il primo stadio dell'algoritmo prevede la ricerca dei minimi e massimi locali della funzione differenza delle Gaussiane (DoG) che vengono utilizzati per l'identificazione di potenziali punti di interesse invarianti alla scala ed alla rotazione. Successivamente, i punti che presentano un basso contrasto o che risultano scarsamente localizzati sui bordi vengono eliminati dalla lista dei punti di interesse. Presi in considerazione i punti rimanenti, viene assegnata loro una orientazione. In seguito alla localizzazione dei punti caratteristici ed alla attribuzione di orientazioni dominanti, vengono calcolati i vettori caratteristici. Questa tecnica permette di identificare in maniera robusta modelli anche in presenza di occlusioni, in quanto il descrittore SIFT risulta invariante rispetto a trasformazioni di scala e rotazione, e parzialmente invariante a distorsioni affini e cambi di illuminazione.
- **Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB)**: ORB si basa sul descrittore BRIEF [21] (Binary Robust Independent Elementary Features) e sull'estrattore di punti di interesse FAST [22] con diversi miglioramenti. Entrambe queste tecniche sono interessanti per le loro buone prestazioni ed il basso costo computazionale. In una prima fase, viene utilizzato FAST per l'individuazione dei punti di interesse; in seguito si applica il riconoscimento di angoli di Harris al fine del calcolo e della eliminazione di potenziali punti marginali. A questo punto, viene stimato l'orientamento di ciascun punto angolare sulla base dell'intensità del centroide delle regioni centrate nei punti identificati come angoli. Al fine di migliorare l'invarianza rispetto alla rotazione vengono calcolati i momenti centrali rendendo in tal modo il descrittore ORB invariante alla rotazione. Inoltre, un altro vantaggio nell'utilizzo dell'estrattore e descrittore ORB è rappresentato dall'efficienza computazionale rispetto agli estrattori e descrittori SIFT e SURF.
- **Features from Accelerated Segment Test (FAST)**: FAST è stato proposto da Rosten and Drummond [22]. Si tratta di un metodo di rilevamento degli angoli che può essere utilizzato per estrarre punti caratteristici e di conseguenza per monitorare e mappare gli oggetti in differenti ambiti concernenti la visione artificiale. La procedura di rilevamento di FAST comprende due fasi principali: nella prima fase, i potenziali punti angolari di un'immagine vengono classificati con un test di segmentazione; nella seconda fase, viene calcolato un valore da attribuire come punteggio ad ogni potenziale punto angolare. I valori di punteggio vengono usati in una fase successiva per rimuovere i falsi angoli classificati nella fase precedente. In generale, il vantaggio più promettente del rivelatore di angoli FAST è la sua efficienza computazionale. Esso risulta essere veloce, anzi è il più veloce rispetto a molti altri metodi ben noti di estrazione, quali la differenza di gaussiane (DoG) utilizzata da SIFT e Harris. Per le sue caratteristiche, questa tecnica risulta essere particolarmente adatta per applicazioni finalizzate all'elaborazione video in tempo reale.

Per valutare le prestazioni di estrattori e descrittori, sono stati analizzati parametri quali la velocità e la quantità di punti di interesse estratti da ciascun metodo unitamente alla precisione, alla velocità di estrazione ed alla congruenza dei descrittori. Tutti i valori sono stati ottenuti con parametri di default definiti dalla loro configurazione standard. Al fine di valutare le prestazioni dei vari algoritmi in termini quantitativi sono state selezionate diverse immagini di modelli e scenari. In particolare, abbiamo utilizzato una dimensione del pattern di 347x246 pixel, che era stato identificato in una immagine di dimensione 640x480.

Per ciascun algoritmo abbiamo estratto il numero di punti di interesse, il numero di match corretti ed il tempo di elaborazione; al termine è stata calcolata la media relativa a tutti gli insiemi di pattern ed immagini. I risultati ottenuti sono sintetizzati in Tabella 2.

Tabella 2: Prestazioni algoritmi

Localizzatore	Descrittore	Punti interesse pattern	Punti interesse scena	Match corretti	Riconoscimento punti interesse (ms)	Estrazione descrittori (ms)	Match Descrittori (ms)	Tempo Totale (ms)
SURF	SURF	169	1014	158	53	52	3	112
SIFT	SIFT	408	2312	322	167	241	14	425
ORB	ORB	408	500	24	8	6	3	20
FAST	ORB	1102	5226	960	3	13	58	78

Ogni coppia localizzatore-descrittore ha mostrato risultati diversi. Nei punti che seguono vi sono alcune considerazioni e confronti sulle prestazioni ottenute dagli algoritmi nelle loro differenti fasi:

- *SIFT*: la fase più esigente in termini temporali in *SIFT* riguarda l'estrazione dei descrittori dei punti caratteristici, seguita dalla loro localizzazione all'interno della scena. Data l'elevata complessità di calcolo, *SIFT* occupa la maggior parte del suo tempo nell'estrazione dei descrittori dei punti caratteristici. Il processo di corrispondenza termina in breve tempo e gli algoritmi di corrispondenza per i vettori di descrittori risultano essere efficienti.
- *SURF*: *SURF* termina la fase di localizzazione e di estrazione dei descrittori in tempi quasi uguali. Rispetto a *SIFT*, il tempo di elaborazione è significativamente ridotto. La fase di corrispondenza impiega anch'essa un tempo abbastanza breve.
- *FAST* è uno dei localizzatori di punti di interesse più efficienti, ma proprio a causa dell'elevato numero di punti caratteristici rilevati porta ad un cospicuo consumo di tempo nel processo di elaborazione delle corrispondenze, nonostante *ORB* sia un descrittore binario che consente quindi una elevata velocità nell'individuazione delle corrispondenze.
- *ORB*: tutte e tre le fasi di cui è composto *ORB* richiedono quasi tutte lo stesso tempo e terminano l'elaborazione in un tempo abbastanza breve. Rispetto ad altri descrittori testati, in questa fase di testing, *ORB* si distingue per prestazioni migliori rispetto agli altri algoritmi.

Il vantaggio in termini di velocità di elaborazione dovuto alla sua natura di descrittore binario è chiaramente dimostrato in questo caso.

L'applicazione elabora la scena in tempo reale, fotogramma per fotogramma, e solo quando l'intera elaborazione è stata effettuata sull'immagine corrispondente al fotogramma corrente, viene elaborato il fotogramma successivo. Questo meccanismo provoca un ritardo nella visualizzazione quando il processo di determinazione delle corrispondenze richiede più tempo rispetto al frame rate dell'acquisizione video. Tale ritardo è particolarmente evidente in *SIFT*. Anche se la soluzione *ORB FAST* ottimizza alcuni passaggi, non è tuttavia in grado di raggiungere i requisiti stringenti delle applicazioni in tempo reale.

La velocità di elaborazione della soluzione *ORB – ORB* è abbastanza elevata, non vi è alcun ritardo di visualizzazione e la sequenza video viene riprodotta senza problemi. Nel processo di determinazione delle corrispondenze, *SIFT* e *SURF* mostrano prestazioni ottimali, un numero considerevole di punti caratteristici rilevati ed il calcolo delle corrispondenze è preciso e robusto. Sebbene la soluzione *ORB-ORB* localizzi un minor numero di punti di interesse rispetto a *SIFT*, *SURF* e *FAST*, esso tuttavia ottiene un numero sufficiente di corrispondenze corrette.

In conclusione, nonostante l'elevata precisione e robustezza, le soluzioni *SIFT* e *SURF* non risultano adatte per un utilizzo all'interno di una applicazione in tempo reale a causa dell'eccessivo tempo di elaborazione. La soluzione data da *ORB – ORB* soddisfa gli stringenti requisiti delle applicazioni in tempo reale, mostrando buone prestazioni ed il miglior compromesso in termini di accuratezza e prestazioni compatibili con l'esecuzione in tempo reale.

d. Integrazione AR e BIM

Per integrare le tecnologie AR e BIM ciascun pattern identificabile attraverso AR è stato connesso ad un identificatore specifico disponibile nel modello BIM. In questo modo, utilizzando il reader BIM, AR può recuperare informazioni aggiuntive correlate al pattern identificato e può mostrarle all'utente sovrapposte alla visualizzazione in tempo reale negli occhiali.

In Figura 7, è riportato il sistema sperimentale in cui l'utente indossa gli occhiali 3D ed è in grado di vedere tutte le informazioni correlate all'edificio storico attraverso gli occhiali e può interagire con l'applicazione utilizzando uno smartphone per cambiare le tipologie di dato da visualizzare.

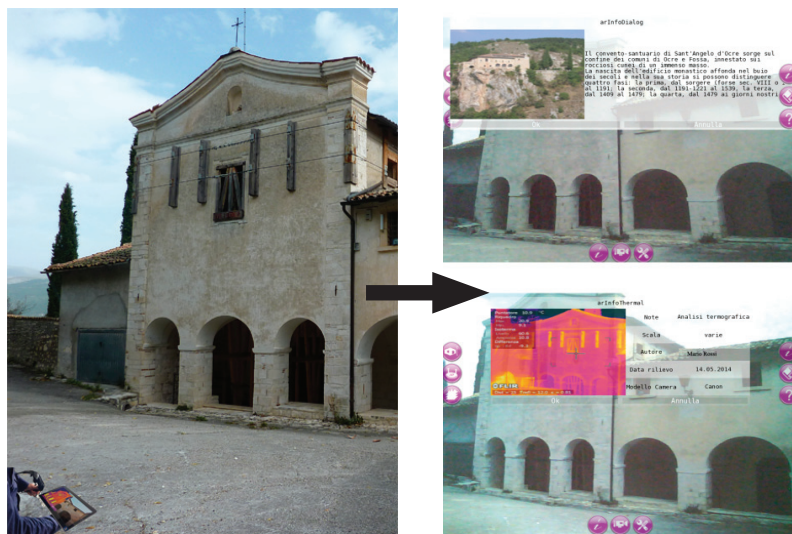


Figura 7: Sistema sperimentale che mostra i dati relativi all'edificio ed i dati della camera ad infrarossi

4. Conclusioni e sviluppi futuri

Con il presente lavoro è stato sviluppato un sistema sperimentale per migliorare l'indagine di edifici storici ponendo attenzione ai seguenti aspetti

Rappresentazione BIM;

Integrazione di output da strumenti non invasivi in BIM;

Visualizzazione in Realtà Aumentata

I numerosi test eseguiti da ingegneri ed architetti hanno dimostrato che tale sistema può migliorare l'indagine di edifici storici. Il sistema è stato rilevato essere utile per contestualizzare informazioni per l'analisi all'interno dell'edificio e per semplificare l'accesso alle informazioni BIM.

Ulteriori studi di ricerca sono richiesti per consentire di evitare completamente l'utilizzo di marker per la Realtà Aumentata nei casi in cui non siano presenti abbastanza caratteristiche 2D e per standardizzare il processo di un nuovo formato BIM (o estensioni) che includano l'output da strumenti non invasivi. Per migliorare il riconoscimento in condizioni particolari, ulteriori ricerche devono essere condotte nell'ambito del riconoscimento di caratteristiche 3D che, nei prossimi mesi, sarà supportato dal rilascio di nuovi dispositivi mobili che integrano una camera RGB-D (ad esempio dispositivi con tecnologia Intel Real Sense, Microsoft HoloLens ed il progetto Google Tango). Tali tipologie di camera consentono di modellare ambienti 3D indoor [23] aprendo nuovi scenari per il riconoscimento di caratteristiche 3D

per la fase del riconoscimento in Realtà Aumentata con dispositivi mobili. Inoltre, la standardizzazione e l'integrazione di nuovi dati in BIM o la nascita di un nuovo standard per i beni culturali potrebbe semplificare la riusabilità dei dati acquisiti e degli edifici ricostruiti.

Ringraziamenti

Le attività di ricerca di questa pubblicazione sono parzialmente finanziate dal programma di ricerca PONREC PROVACI Tecnologie per la PROtezione sismica e la Valorizzazione di COMplessi di Interesse culturale Grant Cod. PON01_02324.

Note biografiche

Francesco Chionna è un ingegnere informatico. Ha molti anni di esperienza come ricercatore e 4 anni come manager di altri ingegneri e scienziati. Ha gestito progetti di ricerca industriali e militari lavorando allo sviluppo di software e sistemi per applicazioni di realtà virtuale e aumentata attualmente utilizzati in alcune università e società private. Ha esperienza nella gestione di tutte le fasi dello sviluppo di sistemi, tra cui la definizione di requisiti, la progettazione, l'architettura, lo sviluppo, il test e la consegna al cliente. La sua ricerca è orientata principalmente alle innovazioni ICT per applicazioni nel mondo delle Costruzioni che include tecnologie di visualizzazione, elaborazione di immagini e machine learning.

Francesco Argese è un ingegnere informatico. In seguito al conseguimento della laurea magistrale presso l'Università del Salento, inizia a lavorare come ricercatore presso la Divisione di Ingegneria Informatica presso il Consorzio CETMA, Centro di progettazione, design e tecnologie dei materiali. Negli anni matura importanti esperienze nei campi ICT dell'Ingegneria del Software, della Realtà Virtuale, della Realtà Aumentata e dei sistemi collaborativi conducendo attività di ricerca e conseguendo risultati di interesse su diversi progetti di ricerca di rilevanza nazionale.

Vito Palmieri è un ingegnere informatico. Dopo aver conseguito la laurea presso il Politecnico dell'Università di Bari, comincia a lavorare come ricercatore nella Divisione di Informatica del Consorzio CETMA, Centro di progettazione, design e tecnologie dei materiali. I suoi interessi di ricerca sono orientati principalmente sulla Realtà Virtuale, Realtà Aumentata, Interazione Uomo-Macchine e Visione artificiale.

Italo Spada è ricercatore senior presso il Consorzio CETMA nel campo dei nuovi media ed interazione applicati ai beni culturali, progettazione industriale, ricerca scientifica e addestramento. Attualmente sta coordinando progetti nazionali ed internazionali dedicati alle nuove tecnologie, intrattenimento, archeologia virtuale ed interazione. In particolare opera nelle seguenti aree: tecnologie per edifici 3D (off-line e real-time), gestione luci ed oggetti virtuali in tempo reale, metodologie e strumenti per l'ottimizzazione di pattern geometrici complessi differenti, progettazione di spazi immersivi ed interattivi, tracciamento in tempo reale dinamico del corpo umano e rigging 3D, applicazioni mobili di realtà aumentata ed interazione con contenuti digitali dinamici 3D.

Lucio Colizzi è un ingegnere informatico. Dopo molti anni di esperienza nel settore ICT, robotica, realtà virtuale ed elaborazione dei dati e modellazione, nel 2001 diventa Direttore del Dipartimento ICT del CETMA. Fino ad ora ha coordinato i più importanti programmi di ricerca nazionali e negli ultimi dieci anni ha coordinato diversi progetti nel campo dello sviluppo delle tecnologie per i beni culturali. Ha ottenuto molte qualificazioni post-laurea: BPR, Concurrent Engineering e Quality Function Deployment, STEP-ISO 10303, Simple ++, eM-Plant, eM-Planner, Informix Dynamic Server Administration e Performance Tuning, Design For Manufacturing & Assembly, Object Design Oriented con UML, Microsoft certificazioni: C#, ADO.NET, ASP.NET, servizi Web XML NET; PROJECT MANAGEMENT (Università Bocconi). Come risultato di molteplici interessi, ha insegnato "Project Management e dinamiche di gruppo", come Professore Aggiunto presso le Università di Bologna e Lecce.

Summary

This paper describes an experimental system to support investigation of historical buildings using Building Information Modeling (BIM) and Augmented Reality (AR). The system requires the use of an off-line software to build the BIM representation and defines a method to integrate diagnostic data into BIM. The system offers access to such information during site investigation using AR glasses supported by marker and marker-less technologies. The main innovation is the possibility to contextualize through AR not only existing BIM properties but also results from non-invasive tools. User evaluations show how the use of the system may enhance the perception of engineers during the investigation process.

Riassunto

Questa pubblicazione descrive un sistema sperimentale per supportare l'indagine di edifici storici utilizzando Building Information Modeling (BIM) e Realtà Aumentata (AR). Il sistema richiede l'utilizzo di software off-line per realizzare la rappresentazione BIM e definisce un metodo per integrare dati diagnostici in BIM. Il sistema offre accesso a tali dati durante l'indagine del sito usando occhiali AR supportati dalle tecnologie marker e marker-less. L'innovazione principale del sistema è la possibilità di contestualizzare attraverso AR non solo le proprietà BIM esistenti ma anche dati da strumenti non-invasivi. Valutazioni utente mostrano come l'utilizzo del sistema possa migliorare la percezione degli ingegneri durante il processo di indagine.

Résumé

Cette publication décrit un système expérimental pour étayer l'étude de bâtiments historiques par modélisation des informations sur les constructions (Building Information Modeling, BIM) et réalité augmentée (Augmented Reality, AR). Le système implique l'utilisation de logiciels hors-ligne pour réaliser la représentation BIM ; la méthode permettant d'intégrer les données diagnostiques dans le système BIM est également définie. Ce système rend accessibles ces données pendant l'étude du site, par des lunettes de réalité augmentée bénéficiant de technologies avec et sans marqueur (marker et markerless). La nouveauté principale du système est la possibilité de mettre en contexte, au moyen de la réalité augmentée, non seulement les informations BIM existantes, mais aussi des données obtenues par des instruments non invasifs. Les appréciations des utilisateurs montrent que l'utilisation de ce système peut améliorer la perception des ingénieurs pendant le processus d'étude.

Zusammenfassung

Diese Veröffentlichung beschreibt ein experimentelles System zur Unterstützung der Untersuchung von historischen Gebäuden unter Verwendung des Building Information Modeling (BIM) und der Erweiterten Realität (AR). Das System erfordert den Einsatz von Offline-Software für die BIM-Darstellung und bestimmt eine Methode zur Integration diagnostischer Daten in das BIM. Unter Verwendung von AR-Brillen, die durch Marker- und Markerless-Technologien unterstützt werden, bietet das System während der gesamten Untersuchung vor Ort Zugang zu diesen Daten. Die wichtigste Innovation dieses Systems ist die Möglichkeit, durch AR nicht nur die vorhandenen BIM-Informationen, sondern auch Daten aus nicht invasiven Instrumenten in Zusammenhang zu bringen. Anwenderbewertungen zeigen, dass die Verwendung dieses Systems die Wahrnehmung der Ingenieure während des Untersuchungsprozesses verbessern kann.

Resumen

Esta publicación describe un sistema experimental con el que prestar apoyo al estudio de edificios históricos utilizando la tecnología BIM (*Building Information Modeling*) y la Realidad Aumentada (RA). El sistema requiere el empleo de programas informáticos *offline* para realizar representaciones con BIM y define un método con el que integrar datos diagnósticos al BIM. El sistema brinda acceso a dichos datos durante el estudio de la estructura gracias al uso de gafas de RA, que emplean la tecnología *marker* y *markerless*. La innovación principal del sistema reside en la posibilidad de contextualizar a través de la RA, no solo los datos BIM existentes, sino también información obtenida mediante instrumentos no invasivos. Las evaluaciones de los usuarios muestran cómo el uso del sistema puede mejorar la percepción de los ingenieros durante el proceso de estudio.

概述

这篇文章介绍以建筑信息模型 (BIM)和增强现实(AR)为支持, 进行历史建筑检查的实验

系统。该系统使用离线软件来实现BIM显示, 同时确定特定算法以便于将诊断数据集成在BIM系统中。配合有marker (标识) 和marker-less (隐藏标识)技术支持的 AR眼镜的使用, 在进行建筑测试时, 可通过系统获得上述诊断数据。该系统的主要创新之处在于, 通过AR技术, 不仅已有的BIM信息可以获得具象化, 同时非侵入性的工具数据也可以获得具

象化。用户评估显示, 该系统可以加强工程师在测试过程中的感知。

Резюме

Эта публикация описывает экспериментальную систему, помогающую в исследованиях исторических зданий, используя Building Information Modeling (BIM, информационное моделирование зданий) и Realtà Aumentata (AR, дополненная реальность). Система требует офлайн-использования ПО для создания отображения BIM и определяет метод для интеграции диагностических данных в BIM. Система предлагает доступ к этим данным во время изучения места, используя очки AR с поддержкой маркерных и безмаркерных технологий. Основной инновацией системы является возможность рассматривать в контексте через AR не только существующую информацию BIM, но и данные неинвазивных средств. Оценки пользователей показывают, как использование системы может улучшить восприятие инженеров во время процесса изучения.