

POLITECNICO DI TORINO  
Repository ISTITUZIONALE

Intelligenza artificiale e realtà aumentata per la condivisione del patrimonio culturale

*Original*

Intelligenza artificiale e realtà aumentata per la condivisione del patrimonio culturale / Spallone, R.; Palma, V.. - In: BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA. - ISSN 1721-971X. - ELETTRONICO. - 2:(2020), pp. 1-8.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2857933 since: 2020-12-15T12:31:42Z

*Publisher:*

Sifet

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# N. 2 (2020)



## Numero Speciale - Artificial Intelligence in Geomatics for Cultural Heritage

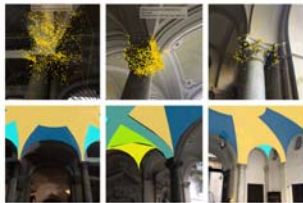
I contributi fanno parte del numero speciale AI4CH (Artificial Intelligence in Geomatics for Cultural Heritage) pubblicato in una rivista internazionale (Applied Geomatics) sottoposte a peer review, si presenta in questo numero la traduzione in Italiano.

DOI: <https://doi.org/10.1234/bsifet.vi2>

Publicato: 2020-12-09

are

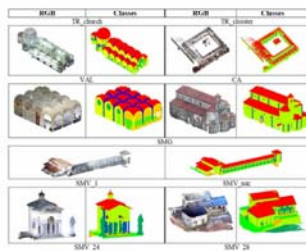
### Scienza



#### Intelligenza artificiale e realtà aumentata per la condivisione del patrimonio culturale

Roberta Spallone, Valerio Palma

[PDF](#)



#### Segmentazione semantica delle nuvole di punti utilizzando tecniche di apprendimento profondo per il patrimonio culturale

Roberto Pierdicca, Marina Paolanti, Francesca Matrone, Massimo Martini, Christian Morbidoni, Eva Malinverni, Emanuele Frontoni, Andrea Lingua

[PDF](#)



#### Un benchmark per la segmentazione semantica di nuvole di punti di beni culturali

Francesca Matrone, Andrea Lingua, Roberto Pierdicca, Eva Malinverni, Marina Paolanti, Eleonora Grilli, Fabio Remondino, Arnadi Muriyoso, Tania Landes

[PDF](#)



#### Apprendimento da dati sintetici di nuvole di punti per la segmentazione semantica di edifici storici

Christian Morbidoni, Roberto Pierdicca, Marina Paolanti, Raissa Mammoli, Ramona Quattrini

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE E REALTÀ AUMENTATA PER LA CONDIVISIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

R. Spallone <sup>a</sup>, V. Palma <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, viale Mattioli 39, 10125 Torino, Italy – roberta.spallone@polito.it

<sup>b</sup> Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, viale Mattioli 39, 10125 Torino, Italy – Torino, Italy -  
valerio.palma@polito.it

**PAROLE CHIAVE:** Intelligenza artificiale, realtà aumentata, *free and open source software*, patrimonio culturale, patrimonio architettonico, condivisione, salvaguardia, valorizzazione

**KEY WORDS:** Artificial intelligence, augmented reality, free and open source software, cultural heritage, architectural heritage, sharing, safeguard, enhancement

## RIASSUNTO

Le problematiche relative alla fruizione e condivisione del Patrimonio Culturale sempre più coinvolgono l'integrazione tra tecnologie digitali per l'analisi, l'interpretazione, la comunicazione, la diffusione. L'intreccio fra *artificial intelligence* (AI) e *augmented reality* (AR) si sta rivelando particolarmente interessante nella valorizzazione del patrimonio, grazie alle nuove possibilità di riconoscimento e ancoraggio fra prodotti digitali e consistenze fisiche, in altre parole tra virtuale e reale. L'idea che guida le differenti esperienze di seguito presentate è che libri, documenti, manufatti, edifici, città, nella loro consistenza fisica, possano essere una chiave d'accesso condivisa alla conoscenza del bene, per orientarsi tra piani di analisi e livelli informativi che si moltiplicano. Le scelte rispetto agli strumenti digitali impiegati sono state orientate a criteri di sostenibilità dei progetti e dei loro sviluppi, preferendo *free and open source software* (FOSS), o comunque *software* gratuito, per contenere i costi di implementazione e favorire l'interoperabilità dei risultati. Gli esperimenti che seguono, di carattere spiccatamente euristico, illustrano come, proprio a partire dallo spazio fisico, siano stati realizzati strumenti di espansione delle esperienze finalizzate alla condivisione del patrimonio e, in prospettiva, alla partecipazione della collettività alla sua salvaguardia.

## ABSTRACT

Problems related to the use and sharing of Cultural Heritage increasingly involve the integration of digital technologies for analysis, interpretation, communication and dissemination. Artificial intelligence (AI), augmented reality (AR) and their links are proving particularly interesting in the enhancement of heritage, thanks to new possibilities of recognition and anchoring between digital products and physical features, that is between virtual and real. The experiences presented below are based on the idea that books, documents, artefacts, buildings, cities, as physical assets, can be a shared access key to knowledge on heritage, in order to navigate through the spread of information layers and levels of analysis. The choice of the employed digital tools was based on sustainability criteria for project development and scaling, favoring free and open source software (FOSS) or otherwise free to use software, to reduce implementation costs and improve output interoperability. In the described experiments, which have a marked heuristic character, starting right from the physical space, tools have been developed to enhance the experience of sharing cultural heritage and subsequently foster collective participation and safeguard actions.

## 1. INTRODUZIONE

Le problematiche relative alla fruizione e condivisione del Patrimonio Culturale sempre più coinvolgono l'integrazione tra tecnologie digitali per l'analisi, l'interpretazione, la comunicazione, la diffusione.

Nello specifico, *artificial intelligence* (AI) e *augmented reality* (AR) si stanno rivelando particolarmente interessanti nella valorizzazione del patrimonio, grazie alle nuove possibilità di riconoscimento e ancoraggio fra prodotti digitali e consistenze fisiche, in altre parole tra virtuale e reale.

Nel campo dei Beni Culturali, il "diluvio di dati" (Anderson, 2008) riguarda in particolare le acquisizioni digitali, i modelli interpretativi e le elaborazioni spaziali, la modellazione informativa, nonché la digitalizzazione di archivi esistenti. Le sfide sulla valorizzazione di questa conoscenza riguardano la sua lettura, la diffusione e la permanenza del tempo. L'idea perseguita è che lo spazio fisico del costruito possa essere una chiave d'accesso condivisa alla conoscenza del bene, per

orientarsi tra piani di analisi e livelli informativi che si moltiplicano.

Nel seguito dell'articolo verrà descritta una serie di esperienze di carattere spiccatamente euristico, basate su esperimenti di introduzione, nei Beni Culturali e in sistemi già esistenti di gestione dell'informazione digitale ad essi relativa, di tecnologie digitali per il riconoscimento di oggetti, strumenti che, pur cominciando a relazionarsi con lo spazio costruito, hanno più spesso trovato affermazione in altri ambiti. Le esperienze descritte sono nate dal confronto e dagli intrecci fra gli specifici interessi di conoscenza dei due autori e dagli sviluppi di ricerche con altri studiosi.

## 2. SALVAGUARDIA E CONDIVISIONE DEL CULTURAL HERITAGE

Come si è sopra ricordato, l'entità, la quantità e l'eterogeneità di dati di conoscenza, di analisi, di interpretazione, raccolti,

elaborati e immediatamente disponibili vengono prodotti dalla collettività per le più disparate finalità. A questo si affianca l'altrettanto ampia quantità di beni materiali e immateriali che costituiscono un patrimonio culturale diffuso ed esteso, dal passato al presente (dunque analogici e digitali) il cui valore in molti casi è rappresentato dalla sommatoria di singoli beni che divengono sistema, anziché dall'eccezionalità di un singolo bene. Proprio per queste caratteristiche, tale patrimonio risulta spesso a rischio di obsolescenza. Il problema del riconoscimento di valore e della conservazione di tali beni si intreccia con le necessità della memoria, della comunicazione e della diffusione.

Non solo, la produzione di dati da parte degli utenti può entrare nel sistema virtuoso di un'informazione circolare. Un archivio multimediale e facilmente accessibile può infatti essere la base per un sistema di raccolta di informazioni *crowdsourced*, ovvero collezionate dagli utenti stessi del servizio, che comprendano documenti (ad esempio fotografie), dati di fruizione (per guidare manutenzione, organizzazione di servizi), *link* tra le diverse voci (per affinità di contenuti e caratteristiche, o in base agli interessi comuni degli utenti). Simili modalità di interazione con gli strumenti permettono di accrescere il patrimonio conoscitivo della collettività, suggerendo inedite interpretazioni, visioni, connessioni.

I modelli digitali possono quindi assumere il ruolo di efficaci database per raccogliere e sintetizzare sia le analisi degli studiosi, sia i *feedback* degli utenti. Inoltre, è stato osservato che tali modelli offrono possibilità di visualizzazione altrimenti impossibili nella realtà tangibile, che permettono l'integrazione dei frammenti, l'ispezione degli oggetti in tutte le loro coordinate fisiche: insomma, accrescono gli strumenti di analisi, di ricerca, di studio, ma allo stesso tempo anche quelli per la comunicazione delle informazioni (Irace, 2013).

### 3. AI E AR: TECNOLOGIE, METODOLOGIE E NESSI

Sistemi come audio-guide, pannelli informativi o codici QR già permettono di accedere a informazioni rilevanti all'interno di siti culturali. Tuttavia, queste soluzioni richiedono progetti *ad hoc* e possono prevedere infrastrutture costose, deperibili, poco inclini all'aggiornamento dei contenuti e a modalità di consultazione che si adattino a utenti con esigenze diverse.

Alcune tecnologie permettono però a strumenti diffusi come gli *smartphone* di connettere una posizione nello spazio, un'opera d'arte, un oggetto architettonico e le sue caratteristiche morfologiche a una selezione specifica di contenuti digitali.

L'AR mette a disposizione metodi intuitivi ed efficaci per l'accesso alle informazioni che hanno una relazione con lo spazio, abilitando l'interazione con oggetti virtuali in maniera più simile all'interazione col mondo reale.

I sistemi di *machine learning*, applicati ad esempio al riconoscimento di immagine, possono connettersi a estese basi di dati e reperire informazioni su un oggetto inquadrato con il dispositivo, o sulla categoria di oggetti a cui appartiene.

Una delle sfide che simili opportunità permettono di affrontare è l'ottimizzazione delle risorse investite nei beni culturali, poiché forniscono soluzioni a basso costo, facilmente scalabili, che valorizzano sia l'esperienza diretta di opere e siti, sia la ricerca e la documentazione che li raccontano.

In particolare, le *mobile computing technologies* si prestano a soluzioni sia per grandi siti molto frequentati, in cui fornire servizi adeguati al volume e alla varietà dell'utenza può richiedere interventi complessi e costosi, sia per siti minori e al

di fuori di *network* turistici consolidati, nei quali sorveglianza e manutenzione mancano spesso di fondi adeguati.

Negli esperimenti descritti, le applicazioni di AR e AI permettono di superare alcuni dei limiti delle soluzioni precedentemente adottate per fini analoghi, valorizzando l'esperienza dei siti culturali e rendendo le collezioni digitali più accessibili.

L'AR è una tecnologia che può rendere 'esplicite' delle informazioni associate a un oggetto fisico, attraverso la sovrapposizione alle immagini del mondo reale, ottenute tramite una videocamera, ad altre informazioni elaborate digitalmente, sull'interfaccia di un unico dispositivo e in tempo reale. Come sintetizzato da Amin e Govilkar (2015) i sistemi di AR si compongono delle tre fasi di *recognition*, *tracking* e *mixing* (Fig. 1). Diversi approcci basati su tecniche visuali permettono di individuare oggetti anche senza l'applicazione di specifici *marker* di riconoscimento, e di tracciare le posizioni relative dell'oggetto osservato e dell'osservatore (Yang et al., 2013; Younes et al., 2017). Questi strumenti sono oggi alla portata di molti dispositivi mobili, anche dotati di singola telecamera, grazie a diversi *software development kit* (SDK) per lo sviluppo di *app*. che permettono il riconoscimento e il tracciamento non solo di immagini, ma anche di oggetti tridimensionali, consentendo il diffondersi applicazioni che dialogano con uno spazio sempre più ampio e complesso.

Anche l'intelligenza artificiale (AI) – e più nello specifico il *deep learning* (DL) applicato alla *computer vision*, ovvero l'interpretazione automatica di immagini – è un campo tecnologico che interagisce sempre più da vicino con uno spazio di scala architettonica e urbana. Questo legame si è rafforzato in particolare con l'interesse nello sviluppo di auto a guida autonoma (Cordts et al., 2016). Tuttavia, in questi casi si tratta soprattutto di immagini del piano stradale, mentre sono ancora pochi gli studi che approfondiscono l'interpretazione dello spazio costruito, dell'architettura, della forma della città storica e contemporanea (Stathopoulou e Remondino, 2019).

Il DL (Goodfellow et al., 2016) è una classe di algoritmi di *machine learning* il cui recente sviluppo è legato alla potenza di calcolo oggi disponibile, nonostante gli strumenti siano basati su modelli elaborati sin dagli anni '40 del secolo scorso. Una spinta particolare allo sviluppo di questi algoritmi per la *computer vision* è arrivata con la disponibilità di grandi *data set* di immagini, e con lo sviluppo dei motori grafici, requisiti indispensabili per rendere efficienti i processi di *addestramento* dei modelli.

Quando il patrimonio culturale è incarnato dai beni architettonici, emerge la necessità che questi siano documentati attraverso acquisizione e trattamento rigorosi dei dati metrici, alla base dell'informazione spaziale delle applicazioni di tecnologie AR e AI. Un riferimento fondativo in questo senso risale al lavoro di Portales et al. (2009) che presenta un'applicazione AR a basso costo, basata su un software open-source, creata per mostrare la volta barocca sopra l'altare maggiore della Cattedrale di Valencia, di recente smantellata. L'esperimento si fonda su una documentazione metrica che integra la misurazione con laser scanner terrestre (TLS) ad alta risoluzione con la registrazione delle informazioni sulle *texture* e i dati radiometrici. Ricerche più recenti connettono i prodotti delle acquisizioni mediante TLS e *structure from motion* (SfM) con la comunicazione del patrimonio attraverso AR. È il caso dei lavori sul teatro Romano di Fano (Quattrini et al., 2016), in cui la tecnologia di AR viene utilizzata per visualizzare il modello virtuale ottenuto attraverso TLS, sul Santuario di Loreto, la cui digitalizzazione è collegata attraverso l'AR con il Libro I di Bramante (Clini et al., 2017) e sulla chiesa di

Sant'Antonio abate (RC), con l'acquisizione mediante TLS e aeromobile a pilotaggio remoto (UAV) del manufatto finalizzata alla visualizzazione *in situ* degli interni, mediante AR (Barrile et al., 2018).

Gli esperimenti che seguono illustrano una serie di applicazioni a casi studio di differente natura, dal materiale documentario e archivistico, agli apparati effimeri, al patrimonio architettonico e urbano e intendono mostrare la linea evolutiva della ricerca.

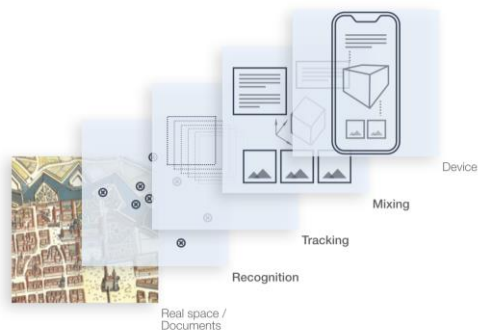


Figura 1. Schema delle fasi di recognition, tracking e mixing nelle applicazioni di AR basate su tracciamento di immagine.

## 4. ESPERIMENTI

### 4.1 Iconografie

Il primo esperimento, proposto nell'ambito del Convegno Internazionale FORTMED, tenutosi a Torino nel 2018, ha inteso applicare le potenzialità della AR per accrescere il dato informativo della mappa di Torino presente nel *Theatrum Sabaudiae* (1682). Precedenti studi sulle relazioni tra le mura, la Cittadella e le porte, avevano condotto alla raccolta di numerose iconografie e prodotto diversi disegni digitali interpretativi e modelli 3D, relativi all'andamento delle mura nelle differenti espansioni della città, al tracciamento e dimensioni della Cittadella e alle porte della città di impianto romano e barocco, trasformate o demolite (Spallone, 2017a; Spallone, 2017b; Vitali, 2015; Vitali, 2017).

L'associazione di documenti e fonti tradizionali con differenti elaborazioni in formato digitale ha richiesto nuove modalità di comunicazione rispetto agli archivi fisici e il supporto di media appropriati. Inoltre, ha posto il problema della gestione e dell'accessibilità alla quantità e qualità di dati oggi a disposizione.

A questo fine è stato sviluppato un prototipo di applicazione di AR per dispositivi mobili che ha permesso di interagire con la mappa del *Theatrum Sabaudie*, al fine di condividere con gli studiosi e il pubblico le fonti più importanti e i risultati delle precedenti indagini. I principali obiettivi perseguiti sono stati:

- rendere la mappa del *Theatrum* un primo punto di accesso alla ricerca svolta sulle tavole del libro;
- offrire a chi consulta il documento originale o riprodotto in formato cartaceo uno strumento di conoscenza approfondita;
- rendere espliciti i collegamenti tra i contenuti iconografici del *Theatrum*, e tra gli stessi e altre fonti;
- studiare l'interoperabilità e la scalabilità di soluzioni che uniscano archivio fisico e virtuale;
- valorizzare gli archivi fisici, attraverso la possibilità di avvicinare gli utenti ai documenti offerta da un sistema di servizi informativi in continuo sviluppo.

Gli strumenti digitali impiegati in questa esperienza sono stati scelti in base a criteri di sostenibilità del progetto e dei suoi

sviluppi, preferendo *free and open source software* (FOSS), o comunque *software* gratuito, per contenere i costi di implementazione e favorire l'interoperabilità dei risultati (Scianna et al., 2016). Il progetto di AR è stato sviluppato con l'impiego del *software* per la creazione di videogiochi Unity, integrato all'SDK Vuforia. I due programmi sono prodotti commerciali, ma offrono gratuitamente funzionalità complete per le fasi di sviluppo (esclusa distribuzione). Le applicazioni prodotte con Unity sono installabili su diverse piattaforme per dispositivi mobili. Nell'applicazione sviluppata, Vuforia gestisce i meccanismi di *recognition* e di *tracking* di immagini predeterminate, ovvero la ricostruzione in uno spazio tridimensionale della posizione dell'oggetto visualizzato. Le immagini sono registrate in un *database* contenuto nell'applicazione e sono individuate da un algoritmo attraverso *features* facilmente distinguibili. Queste immagini *target*, per essere efficacemente riconosciute e tracciate, devono rispondere a specifiche caratteristiche, quali un buon contrasto e l'assenza elementi geometrici ripetitivi che possono essere tra loro confusi. Una volta stimata la posizione dell'immagine *target*, Unity gestisce la fase di *mixing*. Il sistema di AR colloca un modello tridimensionale nello spazio virtuale, secondo una posizione definita in fase di programmazione in relazione a quella del *target*, e aggiornata dinamicamente. Anche i modelli tridimensionali sono memorizzati nell'applicazione.

Il riconoscimento dell'immagine, realizzato sulla riproduzione a colori, si è dimostrato efficace sia sull'immagine a colori che su quella al tratto, permettendo il funzionamento dell'*app* con le due versioni (Fig. 2). La mappa della città contenuta nel *Theatrum Sabaudiae* è infatti pubblicata da un originale del volume a colori, di cui una copia è custodita presso l'Archivio Storico della Città di Torino, e in un volume da incisioni su rame.

L'applicazione è stata completata con un *menu* da cui consultare una lista di immagini corrispondenti a documenti correlati al monumento osservato. Con questa funzione si è sperimentata una possibile estensione della rete di *link* tra documenti d'archivio e informazione digitale. Lo strumento si presenta quindi come un accesso interattivo e immediato a una lista di riferimenti. Le potenzialità di questa rete informativa sono state approfondite integrando all'applicazione la comunicazione con l'archivio digitale Cult (Bortot et al., 2017; Cecchini et al., 2018), un *database* geo-spaziale dotato di interfacce *online* per la gestione e di un servizio *web* per l'accesso ai dati.

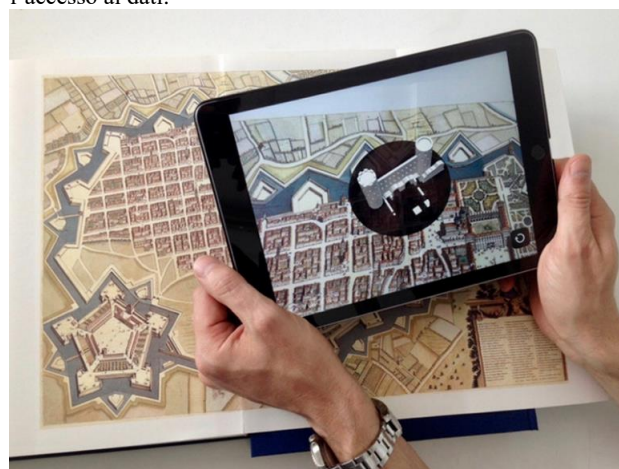


Figura 2. Visualizzazione in realtà aumentata del modello tridimensionale della Porta Palatina. L'immagine target è una riduzione in scala della mappa del *Theatrum Sabaudiae*. Immagine tratta da Palma et al., 2018.

## 4.2 Scenografie

Il secondo esperimento è consistito nell'elaborazione di applicazioni di AR per l'espansione dell'esperienza teatrale. Il progetto ha unito studiosi di Ispanistica e Tecniche Digitali di Rappresentazione con la Fondazione TPE (Teatro Piemonte Europa) e l'associazione Saveria Project. Quest'ultima, ha operato la riscrittura teatrale del Don Quixote di Cervantes per uno spettacolo tenuto dal 28 al 30 marzo 2019 nella Biblioteca Storica "Arturo Graf" dell'Università di Torino (Fig. 3), nell'ambito del programma Creative Europe (Culture): Q. THEATRE-Theatrical recreations of Don Quixote in Europe. Il concetto di Rappresentazione, come "spettacolo" e come "immagine" ha connesso il lavoro delle figure coinvolte, in un progetto che ha integrato la produzione teatrale con inedite esperienze di AR. Si è trattato dunque di reinterpretare il movente del romanzo, ossia il confronto tra un uomo e una tecnologia rivoluzionaria: il libro a stampa, come confronto tra uomo e nuovi media digitali.

Lo spettatore ha avuto accesso in AR a riproduzioni audio/video in streaming, a immagini digitali e modelli 3D che hanno esteso l'esperienza teatrale fino all'interazione con video, immagini e scenografie immersive. A tal fine è stata prodotta un'app per dispositivi mobili (*tablet* e *smartphone*) chiamata Dulcinea.

La sfida condotta dal gruppo multidisciplinare ha ambito a innescare nello spettatore riflessioni più profonde sull'essenza stessa di questa realtà "aumentata", così come Cervantes ha inteso portare il lettore a ragionare sul significato della strana e peculiare follia di chi crede incondizionatamente in quello che legge.

L'applicazione Dulcinea ha tracciato un percorso nella biblioteca le cui tappe sono state continuamente interrotte dagli interventi *live* di quattro attori chiamati a "fare qualcosa" sul Chisciotte e presentati dalla voce in cuffia come "le espressioni corporee della mia incorporeità".

L'AR ha consentito di visualizzare in tempo reale figure e modelli virtuali in corrispondenza di immagini di oggetti presenti nella biblioteca (scaffali, libri, poster, schermi...). Come nell'esperimento precedente, sono state sfruttate principalmente le funzioni di *recognition* e *tracking* di immagini.

Oltre ad abilitare l'accesso all'AR, l'applicazione ha assunto la funzione di riprodurre una voce narrante che ciascuno spettatore ha potuto ascoltare tramite auricolari. Gli spettatori sono stati accompagnati nelle diverse stanze dagli attori e guidati dalla voce in cuffia. Si è creata per il pubblico una doppia interazione: con lo spazio scenico e con i dispositivi digitali il



Figura 3. Particolare della "scenografia" in AR realizzata nell'ambito del programma Creative Europe (Culture): Q. THEATRE-Theatrical recreations of Don Quixote in Europe. Il target è una porzione di libreria, assimilata a immagine bidimensionale. Immagine tratta da Scamuzzi et al., 2019.

cui uso all'interno dello spettacolo ha simulato quello quotidiano, di acquisizione, invio, fruizione e condivisione di informazioni e prodotti multimediali svolto in maniera individuale anche in mezzo a molte altre persone. Così, la capacità propria dello strumento di costruire mondi virtuali e singolari ha permesso di enfatizzare il contrasto con lo spazio reale e con gli interventi degli attori.

Nelle diverse stanze lo spettatore è stato invitato a esplorare l'ambiente attraverso la videocamera, attivando diversi effetti di AR quali: l'alterazione animata di immagini bidimensionali, l'apparizione di modelli tridimensionali e l'avvio di video.

Anche in questo caso, l'app è stata programmata usando il motore Unity e installata su dispositivi con sistemi Android e iOS, mentre lo strumento impiegato per le funzioni di AR è Vuforia. Il plug-in AudioStream per Unity è stato usato per ricevere via streaming l'audio della voce narrante.

Per il broadcasting dell'audio sono stati adottati software open source di streaming, quali Icecast 2 e *broadcast using this tool*.

## 4.3 Architettura

Una terza esperienza ha approfondito la possibilità di interagire con le informazioni spaziali digitali in un ambiente di scala architettonica, sfruttando la diffusione di tecnologie di AR per dispositivi mobili che permettono il tracciamento di oggetti basato su modelli 3D piuttosto che immagini.

Il lavoro si è innestato su una ricerca dedicata agli atri barocchi torinesi, descritta in Spallone e Vitali (2017). Queste opere, caratterizzate da sistemi voltati complessi, sono un caso unico nell'architettura del tempo. Gli atri sono realizzati seguendo un particolare schema spaziale che presenta spazi unitari con assenza di sostegni intermedi e volte composite in muratura.

Sono tre i principali tipi di sistema voltato classificati: le volte "stellari", le volte "Planteriane" (dal nome del loro inventore Gian Giacomo Plantery) e le volte "a fascioni". Sono stati individuati oltre settanta atri rispondenti a queste caratteristiche, progettati da architetti noti a livello internazionale – come Guarini, Juvarrà, Vittone – e meno note figure che hanno contribuito alla definizione e alla diffusione di queste tipologie – come Garove, Baroncelli e Plantery.

Il valore, riconosciuto da critici e studiosi, di questo bene culturale contrasta con la scarsa attenzione rivolta da un pubblico più vasto, in particolare nella considerazione dell'insieme degli atri come un sistema urbano.

La ricerca ha prodotto una catalogazione di questi spazi che ha riferito ad una mappa le opere entro le mura della Torino di impianto romano e barocco, ha determinato le dimensioni degli atri e le proprietà geometriche dei sistemi voltati, e ha riportato il corpo di riferimenti bibliografici e archivistici connessi. Alcuni esempi paradigmatici sono stati inoltre approfonditi attraverso disegni bidimensionali e modelli interpretativi 3D (Fig. 4).

L'idea perseguita è stata rendere disponibili i risultati della ricerca sugli atri barocchi torinesi all'interno degli stessi spazi studiati, sfruttando la flessibilità crescente delle tecnologie di AR e ritenendo l'insieme degli atri un valido campo di prova, data l'omogeneità di alcune caratteristiche spaziali – si tratta di ambienti concavi, di dimensioni contenute, con superfici spesso decorate e simili condizioni di illuminazione.

Abbiamo condotto una rassegna degli strumenti di AR disponibili sul mercato e scelto per un primo test quelli del kit di sviluppo ARKIT di Apple. Quando questo esercizio è stato avviato, nei primi mesi del 2019, diversi sistemi commerciali iniziavano a offrire funzioni per il riconoscimento e il tracciamento di oggetti tridimensionali. Tuttavia, la maggior

parte degli strumenti era indirizzata ad applicazioni tabletop, ossia per l'ancoraggio degli strati digitali ad oggetti di piccole dimensioni. Il sistema scelto, come altre soluzioni di model tracking, ha richiesto la costruzione di nuvole di punti rade, come modelli di riferimento per l'ancoraggio. In diversi SDK questa operazione può essere realizzata attraverso app di supporto per la scansione di oggetti. Nel nostro caso, abbiamo impiegato una demo prodotta da Apple, modificata per consentire il rilevamento a una maggiore distanza.

L'uso dell'app di scansione è una procedura guidata che porta ad inquadrare l'oggetto di riferimento da diversi punti di vista, identificando i *feature points*, ovvero punti omologhi riconoscibili attraverso la sequenza di immagini della telecamera – scelti tra i soli punti contenuti in una *bounding box*, a sua volta in AR. Al termine del rilevamento, il *software* permette di verificare che l'oggetto rilevato sia riconosciuto e tracciato, e di posizionare manualmente l'origine del sistema di riferimento dello spazio virtuale costruito.

La nuvola di punti può quindi essere esportata nell'*app* prodotta per la visualizzazione in AR dei materiali informatici, nella quale sono inseriti modelli da visualizzare in corrispondenza degli oggetti riconosciuti. In particolare, abbiamo testato la sovrapposizione di quattro modelli geometrici prodotti nella ricerca sugli atri torinesi, corrispondenti alle volte dei palazzi Carignano (Guarino Guarini, 1679), Novarina (Gian Giacomo Plantery, primo decennio del XVII sec.), Cigliano (Plantery, 1707-08) e Coardi di Carpenetto (Amedeo di Castellamonte, non datato).

Le scansioni si sono rivelate più efficaci quando limitate a porzioni limitate di spazio e ricche di dettagli plastici, come capitelli e imposte delle volte (Fig. 5). La disponibilità, nell'*SDK*, di funzioni di "tracciamento esteso", basate su sensori di movimento e analisi visiva della scena, ha permesso comunque di ottenere la visualizzazione stabile *in situ* dell'intero modello geometrico di volta – anche quando la porzione di target risulta fuori dall'inquadratura – con un'accuratezza della posizione compatibile con le finalità e con il dettaglio dei modelli di ricostruzione realizzati. Il progetto non ha implementato un'interazione con dati accessibili via *web*, ma ha studiato la possibilità di inserire le informazioni sugli atri nella piattaforma Cult, già usata in progetti precedenti, stabilendo un punto di partenza per la scalabilità del progetto in futuri sviluppi. Tali sviluppi includono la strutturazione di percorsi tematici attraverso il centro storico di Torino come mezzo di scoperta e condivisione delle opere e dei materiali della ricerca, per cittadini e turisti

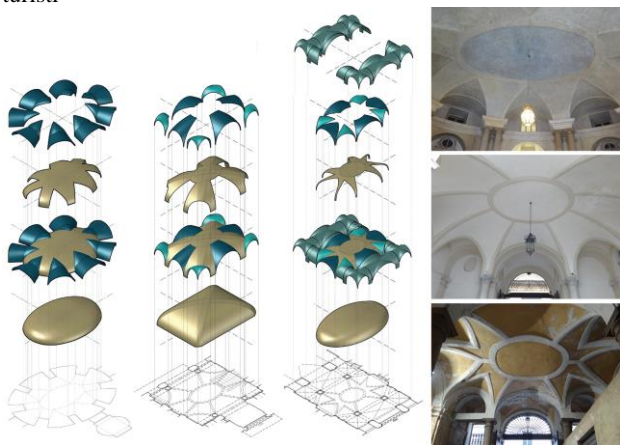


Figura 4. Sistemi voltati complessi negli atri barocchi torinesi: Palazzo Carignano, Palazzo Cigliano, Palazzo Novarina. Immagine tratta da Palma et al., 2019b.

L'interazione dell'AR con altri siti e con una più ampia dimensione urbana include sfide tecniche e concettuali sull'organizzazione dell'informazione spaziale e sull'accessibilità, non solo rispetto ai dati, ai metadati e ai documenti da consultare, ma anche per quanto riguarda la gestione di grandi *set* di modelli di riconoscimento e ancoraggio per rendere l'informazione fruibile secondo le modalità "aumentate" che stiamo studiando.

#### 4.4 Città

Il quarto progetto, ancora in corso, sviluppa l'idea di costruire un sistema per accedere in maniera intuitiva e rapida a un *database* di documenti multimediali, con testi, immagini, modelli tridimensionali, video e informazioni strutturate. Si tratta di archivi spesso già resi disponibili e in espansione nell'ambito dell'*heritage* – come visto nei progetti di ricerca precedenti e con la piattaforma Cult. Il progetto è portato avanti dal Centro Interdipartimentale *FULL* del Politecnico di Torino. Nei primi esiti della ricerca, è stata realizzata un'*app* che mette in comunicazione spazio fisico e spazio digitale usando tecnologie di DL per la *computer vision*.

I primi esperimenti hanno riguardato un prototipo per l'Area Archeologica Centrale di Roma, che include i Fori Imperiali, dove è forte l'esigenza pratica di un servizio informativo preciso e completo che possa essere fornito in lingue, a livelli di dettaglio e per tipi di visitatore diversi, ma con impatti limitati sul sito e sulla manutenzione. Il sistema sviluppato si compone di due parti principali. La prima è l'archivio digitale, accessibile via *web*, geo-spaziale, multimediale, per il quale è stato impiegata la piattaforma Cult, predisposta attraverso una campagna di raccolta ed elaborazione di contenuti informativi. La seconda parte è l'AI. Il modello impiegato appartiene alla classe delle reti neurali convoluzionali (*convolutional neural networks*, CNN), largamente impiegate in molti campi per gli specifici compiti della *computer vision* (Hosny et al., 2018; Webb, 2018). Il modello esegue il riconoscimento di immagine ed è installato direttamente sul dispositivo per funzionare anche senza una connessione a internet – necessaria solo per il primo *download* delle informazioni dal *database* e per l'eventuale aggiornamento. L'applicazione, attraverso un'interfaccia semplice ed intuitiva, permette di inquadrare i monumenti usando la telecamera e, a riconoscimento avvenuto, presenta un'etichetta con il nome relativo. Cliccando sulla schermata del riconoscimento, è avviata una *query* sul *database* locale; quindi, l'*app* mostra una seconda schermata con le informazioni sul monumento, come testi, immagini, dati schematici, il *link* a una mappa con la localizzazione e modelli 3D navigabili (Fig. 6).

Il prototipo principale funziona su piattaforme iOS, ed è stato sviluppato in ambiente Xcode usando il linguaggio SWIFT e la libreria ML Core per il *machine learning*. Un più semplice prototipo per Android è stato sviluppato in partenariato con l'università di Roma Tre, per testare la compatibilità con il modello di CNN. Quest'ultimo è sviluppato in Python attraverso le librerie Keras e TensorFlow per il DL. Come base è stato usato un modello MobileNet, particolarmente adatto allo sviluppo per dispositivi mobili (Howard et al., 2017).

All'attuale stato di sviluppo, l'*app* è in grado di riconoscere 46 monumenti che presentano una varietà di stati di conservazione, dimensioni, caratteri spaziali e punti di vista per gli osservatori. Per il *training* dell'AI è stato raccolto un *data set* basato su 50-100 fotografie per ogni monumento, appositamente scattate.

Le immagini sono state selezionate per ottenere una rappresentazione esaustiva del monumento, ponendo specifica



Figura 5. Applicazioni di AR basate su *model tracking*. Dalla colonna sinistra: Palazzo Novarina, Palazzo Coardi di Carpenetto, Palazzo Cigliano. Le immagini superiori mostrano le fasi di produzione della nuvola di punti per l'ancoraggio. Immagine tratta da Palma et al., 2019b.

attenzione alle viste più comuni per i visitatori e includendo dettagli, viste panoramiche e diverse condizioni di illuminazione (diurne).

Il *data set* è stato quindi ampliato a 600 immagini per monumento, attraverso tecniche di *augmentation* basate sulla manipolazione di immagine, e in particolare con l'uso della libreria Augmentor per il linguaggio Python. L'*augmentation* limita l'insorgenza di *overfitting* (l'aderenza eccessiva del modello di DL al *set* di dati di input, che ne impedirebbe il corretto funzionamento) nelle situazioni in cui la quantità di dati a disposizione per il *training* è ridotta (Perez e Wang, 2017). Il processo applica alle immagini originali trasformazioni come *cropping*, rotazioni, ribaltamenti, aggiunta di rumore e alterazioni del colore, ed è di documentata efficacia per i modelli di riconoscimento di immagine (Goodfellow et al.,

2016; Perez e Wang, 2017; Bloice et al., 2019). Delle 600 immagini ottenute, 100 sono state inserite in un *data set* per la validazione dei risultati.

Il *training* è stato infine condotto usando un cluster di GPU Nvidia Tesla. Il *training* per le 46 classi selezionate, effettuato attraverso 1000 *epochs* (le iterazioni attraverso cui l'allenamento della rete neurale ne altera i parametri sulla base del *data set* di *training*) ha permesso di ottenere una accuratezza del 99,88%, misurata sul *data set* di validazione (percentuale di immagini classificate correttamente).

Il modello risultante è stato verificato sul campo, dove si è dimostrato affidabile, pur con un'accuratezza minore di quella misurata sul *data set* di validazione, indicando che gli avanzamenti del lavoro dovranno apportare ulteriore varietà al *data set* di input (per esempio raccogliendo immagini in diverse

condizioni meteorologiche). Inoltre, il comportamento eterogeneo del sistema di riconoscimento rispetto ai diversi edifici ha suggerito, nelle fasi di correzione del *data set* e del modello, la suddivisione degli “oggetti” più grandi e complessi (e.g. la *Domus Augustana* sul Palatino) in più *classi* di riconoscimento che indirizzano alla stessa voce nel *database* di informazioni.

La rete neurale costruita occupa 13MB di spazio su disco, il che la rende ideale per il funzionamento, anche *offline*, sui dispositivi mobili.

La flessibilità degli strumenti e anche la struttura essenziale del sistema ne consentono la rapida estensione a nuovi siti, ed è già stata sviluppata un’applicazione per la città di Torino chiamata *ARCH-I Torino*, in grado di riconoscere circa 80 monumenti ed opere d’arte, già distribuita gratuitamente sul mercato digitale. In questo caso l’app sfrutta il *database* di MuseoTorino.it, un’infrastruttura tesa a realizzare un “museo diffuso della città” che raccoglie migliaia di schede informative dettagliate su monumenti e opere d’arte, prima accessibili solo attraverso un sito *web* e strumenti di *query* testuale o mappe.

Queste sperimentazioni nel campo dell’AI si sono basate sull’operazione ancora concettualmente semplice di associare alle immagini i nomi propri dei monumenti. L’interazione delle tecnologie di DL e delle discipline che si occupano dello spazio costruito può però prendere in analisi, in luogo dei singoli oggetti, il riconoscimento di categorie, ad esempio tipologie edilizie, caratteri costruttivi e stilistici, qualità dell’abitare (climatiche, visive, relative ai flussi) e altre forme di segmentazione dei materiali studiati. Alcuni di questi approfondimenti sono già in corso (cfr. Stathopoulou e Remondino, 2019), ma si può sottolineare la necessità ulteriori studi, nonché di *data set* per il *training*, che stimolino lo specifico sviluppo di modelli di DL per l’architettura, i beni culturali e l’interpretazione dello spazio urbano.

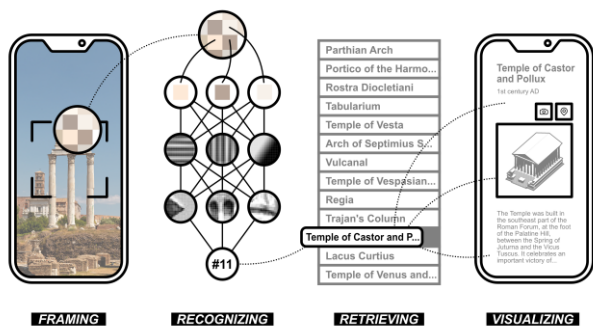


Figura 6. Schema del funzionamento dell’app per il riconoscimento di monumenti tramite DL. Immagine rielaborata da Andrianaivo et al. 2019 (fotografia del tempio di Castore e Polluce: hl\_1001 CC BY-NC 2.0).

## 5. CONCLUSIONI

Nelle diverse esperienze descritte emerge la comune sfida dell’interazione tra tecnologie e conoscenza del patrimonio culturale e architettonico. Una questione trasversale riguarda il modo in cui organizziamo, classifichiamo, visualizziamo le informazioni sullo spazio urbano: quali astrazioni utilizziamo, perché, e come queste sono definite. Attraverso tecnologie come quelle dell’AI, sempre più dispositivi sono in grado elaborare quantità enormi di informazioni sullo spazio costruito e sul patrimonio culturale. Resta, però, a chi svolge ricerca in questi campi il compito di definire le categorie, le classi, le “ontologie” che costituiscono le griglie concettuali entro cui ordinare i

materiali e con cui indirizzare la nostra conoscenza. Il tema della chiarezza e dello scopo delle astrazioni, delle convenzioni, degli standard è tanto più rilevante quanto è maggiore il volume di dati che siamo in grado di produrre, dati che spesso portano a confondere la quantità di informazioni con la conoscenza. Le ICT offrono possibilità di fruizione inedite, tra cui sistemi di visualizzazione interattivi e soluzioni per ricerche rapide e complesse. Non solo: i nuovi strumenti permettono di definire nuove reti di relazioni tra i documenti, e di ridefinirle dinamicamente in base ad esigenze e contenuti in aggiornamento. Gli esperimenti condotti studiano questa topologia dell’informazione estesa dagli archivi digitali, cercando e sottoponendo a *test* il ruolo dello spazio fisico come punto di riferimento per il coordinamento di informazioni e strumenti. L’AI, l’AR, i loro nessi e il rapporto con l’informazione spaziale si presentano come occasioni per riflettere sull’interpretazione dello spazio come chiave per la gestione e per l’accesso all’informazione digitale.

## 6. RINGRAZIAMENTI

Le sezioni 3, 4.3 e 4.4 sintetizzano ed elaborano gli esiti delle ricerche pubblicate in Palma et al., 2018, Palma, 2019, Palma et al., 2019a, Palma et al. 2019b, Andrianaivo et al., 2019.

La sezione 4.1 sintetizza ed elabora gli esiti della ricerca pubblicata in Palma et al. (2018). Il progetto Cult, citato nella sezione, è stato sviluppato presso il dipartimento ICEA dell’Università di Padova e coordinato da Luigi Stendardo e Andrea Giordano.

Il paragrafo 4.2 sintetizza ed elabora gli esiti della ricerca pubblicata in Scamuzzi et al. (2019).

Il progetto descritto nella sezione 4.4 è stato condotto presso il Centro FULL | The Future *Urban Legacy* Lab del Politecnico di Torino, da un team composto da Matteo Robiglio, Claudio Casetti, Francesca Frassoldati, Louis N. Andrianaivo e Valerio Palma, in partnership con Roberto d’Autilia. Désirée Adiutori, del Dipartimento di Scienze Computazionali dell’Università di Roma Tre ha contribuito allo sviluppo del prototipo dell’app per piattaforme Android.

Il presente articolo di cui gli autori hanno condiviso l’organizzazione, gli obiettivi e l’impostazione metodologica, è stato redatto da Roberta Spallone (sezioni 1, 2, 4.1, 4.2), Valerio Palma (sezioni 3, 4.3, 4.4, 5).

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Amin, D., Govilkar, S. (2015). Comparative Study of Augmented Reality SDK’s. *International Journal on Computational Science & Applications*, 5(1), 11–26.
- Anderson, C. (2008). The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete. *Wired*.
- Andrianaivo, L. N., D’Autilia, R., Palma, V. (2019). Architecture recognition by means of convolutional neural networks. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2-W15, 77–84.
- Barrile, V., Fotia, A., Bilotta, G. (2018). Geomatics and augmented reality experiments for the cultural heritage. *Applied Geomatics*, 10, 569–578.
- Bloice, M. D., Roth, P. M., Holzinger, A. (2019). Biomedical image augmentation using Augmentor. *Bioinformatics*.

- Bortot, A., Boscaro, C., Cecchini, C., Francesca, C., Cundari, M. R., Palma, V., Panarotto, F., Siviero, L. (2017). TU-CULT. Rivelazioni architettoniche nelle chiese di Santa Giustina e di Santa Maria dei Servi a Padova. In: Territories and frontiers of representation. 911–920.
- Cecchini, C., Cundari, M. R., Palma, V., Panarotto, F. (2019). Data, Models and Visualization: Connected Tools to Enhance the Fruition of the Architectural Heritage in the City of Padova. In C. L. Marcos (Ed.), *Graphic Imprints* (pp. 633–646). Springer International Publishing.
- Clini, P., Frontoni, E., Quattrini, R., Perdicca, R. (2017) Real/Not Real: Pseudo-Holography and Augmented Reality Applications for Cultural Heritage. In Ippolito, A., Cigola, M. (Eds.), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling* (pp. 201-227). IGI Global.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. W. L. (2018). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*, 18(8), 500–510.
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. *ArXiv:1704.04861 [Cs]*.
- Irace, F. (2013). The Animated Archive. In: Irace, F., Leyla Ciagà, G. (eds.) *Design & Cultural Heritage. Archivio Animato / Animated Archive*. Milano, Electa, pp. 10-14.
- Palma, V. (2019). Towards deep learning for architecture: A monument recognition mobile app. *ISPRS - International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 551–556.
- Palma, V., Lo Turco, M., Spallone, R., Vitali, M. (2018). Augmented Iconography. AR applications to the fortified Turin in the *Theatrum Sabaudiae. Defensive Architecture of the Mediterranean*, IX, 1053–1060.
- Palma, V., Spallone, R., Vitali, M. (2019a). Digital Interactive Baroque Atria in Turin: A Project Aimed to Sharing and Enhancing Cultural Heritage. In Y. Tang, Q. Zu, & J. G. Rodríguez García (Eds.), *Human Centered Computing* (pp. 314–325).
- Palma, V., Spallone, R., Vitali, M. (2019b). Augmented Turin baroque atria: AR experiences for enhancing cultural heritage. *ISPRS - International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 557–564.
- Perez, L., Wang, J. (2017). The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning. *arXiv preprint arXiv:1712.04621*.
- Portalés, C., Lerma, J. L., Pérez, C. (2009). Photogrammetry and augmented reality for cultural heritage applications. *The Photogrammetric Record*, 24(128), 316–331.
- Quattrini, R., Pierdicca, R., Frontoni, E., Barcaglioni, R. (2016). Virtual reconstruction of lost architectures: from the TLS survey to AR visualization. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B5, 383-390.
- Scamuzzi, I., Moretti, S., Spallone, R., Lo Turco, M., Palma, V. (2019). Augmented Don Quixote: Performance teatrali e nuovi media digitali / Augmented Don Quixote: Theatrical performances and new digital media. *RIFLESSIONI. L'arte Del Disegno. Il Disegno Dell'arte / I REFLECTIONS. The Art of Drawing. The Drawing of Art*, 1, 1367–1374.
- Scianna, A., Gristina, S., Sciortino, R. (2016). Integrazione di sistemi GIS FOSS e modelli dati 3D PDF per la fruizione multimediale di beni monumentali e archeologici: Il Castello di Maredolce a Palermo. In F. Stanco & G. Gallo (Eds.), *Proceedings of ArcheoFOSS: Free, libre and open source software e open format nei processi di ricerca archeologica*. Archaeopress.
- Spallone, R. (2017a) The 'Regular Fortress' by Guarini and the Citadel of Turin. *Nexus Network Journal*, 19 (2), 255-277.
- Spallone, R. (2017b) City Gates. Proportional criteria and shape models for the design of Baroque gates in Turin. In: Echarri Iribarren, V. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Vol. 5: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast*, 26-28 October, Alicante. Alicante, Universitat d'Alacant, pp. 143-150.
- Theatrum Sabaudiae. Teatro degli Stati del Duca di Savoia [1682]* (2000). Torino, Archivio Storico della Città di Torino.
- Spallone, R. and Vitali, M. (2017). Star-shaped and Planterian Vaults in Turin Baroque Atria. *Aracne*.
- Stathopoulou, E.-K., Remondino, F. (2019). Semantic photogrammetry – Boosting image-based 3d reconstruction with semantic labeling. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 685–690.
- Vitali, M. (2015) Digital 3D reconstruction for the multiscale investigation on the Drawing of the fortified wall of Turin. In: Rodríguez-Navarro, P. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Vol. 1: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Western Mediterranean Coast*, 15-17 October 2015, València. València, Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 329-336.
- Vitali, M. (2017) Digital models for the virtual reconstruction and the representation of the existing: the city gates of Turin. In: Echarri Iribarren, V. (ed.) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Vol. 5: Proceedings of FORTMED – Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast*, 26-28 October, Alicante. Alicante, Universitat d'Alacant, pp. 489-496.
- Webb, S. (2018). Deep learning for biology. *Nature*, 554(7693), 555–557.
- Yang, M.-D., Chao, C.-F., Huang, K.-S., Lu, L.-Y., Chen, Y.-P. (2013). Image-based 3D scene reconstruction and exploration in augmented reality. *Automation in Construction*, 33, 48–60.
- Younes, G., Asmar, D., Elhadj, I., Al-Harithy, H. (2017). Pose tracking for augmented reality applications in outdoor archaeological sites. *Journal of Electronic Imaging*, 26(1).