

Arte e tecnica dei ponti romani in pietra

a cura di
Carlo Inglese e Leonardo Paris



Arte e tecnica dei ponti romani in pietra

a cura di
Carlo Inglese e Leonardo Paris



SAPIENZA
UNIVERSITÀ EDITRICE

2020

Il presente volume è stato pubblicato grazie al finanziamento
Progetto di Università Medio - Anno: 2015 - prot. C26A15SRLR

Gli elaborati grafici, le cui dimensioni e alta risoluzione
non sono compatibili con il formato della presente pubblicazione,
sono reperibili al seguente link: <http://www.editricesapienza.it/node/7935>

Copyright © 2020

Sapienza Università Editrice

Piazzale Aldo Moro 5 – 00185 Roma

www.editricesapienza.it

editrice.sapienza@uniroma1.it

Iscrizione Registro Operatori Comunicazione n. 11420

ISBN 978-88-9377-150-4

DOI 10.13133/9788893771504

Pubblicato a luglio 2020



Quest'opera è distribuita
con licenza Creative Commons 3.0
diffusa in modalità *open access*.

Cura redazionale: Monica Filippa

Impaginazione/layout a cura di: Carlo Inglese, Leonardo Paris, Monica Filippa

In copertina: Il Ponte di Augusto a Narni (elaborazione grafica di Leonardo Paris)

*L'eurythmia o armonia è quella bellezza
dell'insieme che risulta dal perfetto accordo
delle parti.*

*Si ottiene quando tutti i dettagli dell'opera
si corrispondono simmetricamente
in altezza, larghezza e lunghezza.*

MARCO VITRUVIO POLLIONE
De Architectura, Libro I, cap. II

Indice

Presentazione	1
<i>Carlo Bianchini</i>	
I ponti lapidei di epoca romana. Ricerca e sperimentazione interdisciplinare	3
<i>Carlo Inglese, Leonardo Paris</i>	
Prima parte	
Rilievo e modellazione digitale: acquisizione, elaborazione, interpretazione	15
<i>Carlo Inglese, Leonardo Paris</i>	
Fonti iconografiche per lo studio dei ponti di Roma: il Ponte Emilio e il Ponte Fabricio	29
<i>Paola Quattrini, Monica Filippa</i>	
Rappresentazione multimediale e interattiva per i ponti romani	59
<i>Tommaso Empler, Adriana Caldarone</i>	
La raccolta dati in ambiente QGIS per un modello territoriale nazionale dei ponti antichi	77
<i>Francesca Pierdominici</i>	
Analisi formale, costruttiva e dimensionale dei ponti romani lapidei	101
<i>Carlo Inglese, Leonardo Paris</i>	

Seconda parte

Ponte Emilio a Roma	117
<i>Giulia Umana</i>	
Ponte Fabricio a Roma	137
<i>Carlo Inglese, Daniele Maiorino</i>	
Ponte di Augusto a Narni	153
<i>Maria Laura Rossi</i>	
Ponte romano a Rieti	173
<i>Leonardo Paris</i>	
Ponte romano ad Alcántara in Spagna	189
<i>Carlo Inglese, Antonio Pizzzo, Roberto Barni</i>	
Bibliografia generale	205
Autori	215

Rappresentazione multimediale e interattiva per i ponti romani

Tommaso Empler, Adriana Caldarone

1. Introduzione

È stata fino ad oggi rivolta grande attenzione verso le tecniche finalizzate alla conservazione dei Beni Culturali e la loro “preservazione a futura memoria”. Molto meno è stato fatto per estrarre da questo patrimonio un valore sia culturale e formativo che economico. Forse a causa dell’abbondanza di opere, architetture, siti archeologici, importanti mete di turismo culturale che il nostro Paese ospita, difficilmente ci si è preoccupati di come comunicarle e fruirle efficacemente. Questa visione del patrimonio culturale comporta svantaggi a lungo termine per il patrimonio stesso. Se è vero, infatti, che la fruizione “consuma” il bene, è altrettanto vero che per mezzo dell’estrazione di flussi economici, esso autofinanzia, almeno in parte, gli interventi restaurativi e conservativi necessari.

Valorizzare il patrimonio artistico e culturale significa anche connetterlo a un tessuto sociale quanto più ampio possibile, raggiungibile soprattutto con nuove strategie di promozione e comunicazione che utilizzano canali differenti da quelli tradizionali. È per questo motivo che i musei, spesso visti solo come meri contenitori che custodiscono ed espongono oggetti, negli ultimi anni stanno mettendo in atto una trasformazione.

Tra le possibilità più importanti introdotte dall’applicazione del digitale (ICT - *Information and Communications Technology*) nell’ambito del *Cultural Heritage*, c’è sicuramente quella di poter elevare il visitatore da semplice spettatore, che osserva passivamente le informazioni che vengono proposte, a membro partecipante che può incidere con le sue scelte, prendendo quindi parte attivamente al processo di esposizione dei Beni Culturali, filtrando, nascondendo,

approfondendo, effettuando connessioni. Contrapposta quindi a una fruizione “passiva” se ne ha una “attiva”, mediante la quale il destinatario ha la possibilità di interagire e modificare il messaggio che riceve. Appartengono alla prima categoria tutte quelle operazioni che mirano al solo esporre, seppur in modo accattivante. Ne sono un esempio tutti i testi, le immagini e i materiali audiovisivi, anche se fanno uso di innovazioni tecnologiche come la stereoscopia o la computer grafica. Tra gli elementi appartenenti alla seconda categoria si possono riconoscere la realtà aumentata e i *serious game*.

Per tale motivo, la ricerca scientifica nel campo della fruizione dei Beni Culturali è oggi orientata verso la trasposizione della realtà in ambiente virtuale e verso la realizzazione di modelli tridimensionali che possano poi essere percepiti dagli utenti come spazi reali. Le soluzioni grafiche devono, oltre a trasmettere informazioni storiche e scientifiche, creare differenti forme di comunicazione che creano molteplici reazioni e stati d'animo nel pubblico.

La parte di computer grafica che si occupa di tale branca si distingue dalla visualizzazione scientifica di modelli tridimensionali per la finalità di rendere credibile l'esperienza dell'utente, secondo diversi gradi di realismo. La resa dell'ambientazione virtuale non è solo un problema di tecnologia impiegata o di modalità di accesso alle informazioni, ma deve concentrarsi anche sulla composizione dell'immagine, perché è questa a portare con sé il messaggio comunicativo.

Si ipotizza un'applicazione di ICT, come caso esemplificativo, su uno dei ponti romani ancora oggi presenti, anche se con una sola arcata, a Roma: Ponte Emilio o Ponte “Rotto”. L'ipotesi è quella di consentire la visualizzazione del ponte e delle sue trasformazioni nel tempo attraverso una APP per “portable devices” (smartphone e tablet) di proprietà dei visitatori/turisti/studiosi/curiosi. Le possibilità offerte dalla *Virtual e Augmented Reality* permettono di visualizzare sull'oggetto inquadrato dalla fotocamera del “device” ipotesi ricostruttive statiche e dinamiche.

Prima di definire l'applicazione del caso studio su Ponte Emilio, il presente contributo si pone anche l'obiettivo di analizzare lo stato dell'arte in termini di soluzioni adottate, verificare le procedure d'interazione a disposizione, le caratteristiche delle modellazioni 3D per ricostruzioni virtuali e le modalità e gli strumenti per la fruizione.

2. Stato dell'arte e soluzioni adottate nel settore del Cultural Heritage

2.1 Il Foro di Augusto 2000 anni dopo e il Foro di Cesare

Nel 2014, in occasione del bimillenario della morte di Augusto (19 agosto del 14 d.C.), Zètema Progetto Cultura ha prodotto una video installazione celebrativa¹, che si è andata a inserire in un più ampio intervento di valorizzazione dei Fori Imperiali. L'iniziativa, replicata ogni anno, ha ricevuto un grande consenso di pubblico generando un notevole valore economico e culturale per la città di Roma. Si tratta di una proiezione mappata sui resti del Foro di Augusto che illustra, mediante l'uso di ricostruzioni in computer grafica, come si presentassero questi luoghi all'epoca dell'Impero Romano. Si viene guidati nelle vicende del Foro e della Roma antica da una narrazione, affidata alla voce di Piero Angela, ascoltabile tramite delle cuffie senza fili. Il tutto è osservabile dalle tribune disposte per l'occasione sul marciapiede di via Alessandrina, proprio di fronte al sito archeologico. Gli spettacoli si svolgono in orario serale per permettere di vedere la proiezione e, essendo all'aperto, vengono effettuati solamente nei mesi tra aprile e ottobre escluse le giornate di pioggia. Nonostante queste limitazioni l'iniziativa sta avendo molto successo perché riesce a mettere a confronto, con coinvolgente chiarezza, ciò che è e ciò che è stato, risvegliando l'interesse non solo dei più appassionati ma anche di semplici curiosi.

Nel 2016 il programma si è arricchito di un nuovo viaggio nella storia dell'antica Roma, che propone, secondo le stesse modalità del Foro di Augusto, un affascinante percorso nella storia del vicino Foro di Cesare.

2.2. Paris 3D saga

Il progetto, prodotto da Dassault Systemes, inizia con un enorme lavoro di ricostruzione 3D di Parigi² e dei suoi principali monumenti in varie epoche. Tutto ciò permette di intraprendere un viaggio virtuale per la città, in parte seguendo una narrazione e in parte navigando liberamente, attraverso i vari momenti storici, a partire dal periodo gallico fino ad arrivare a vedere i diversi stadi costruttivi della Torre Eiffel tra il 1886 e il 1889.

Questo lavoro viene sfruttato in diverse declinazioni sulla maggior parte delle piattaforme possibili: tablet, navigazione online, realtà aumentata, libri, filmati. Tuttavia l'utilizzo più interessante è senz'altro

l'installazione interattiva, tramite la quale il "viaggiatore" viene immerso nel mondo virtuale, proiettato su pareti e pavimento, che può navigare con l'aiuto di un sofisticato *joystick*. Per aumentare il coinvolgimento, tutto questo è osservabile anche in stereoscopia; un sistema di tracciamento che utilizza telecamere a infrarosso, infatti, rileva la posizione dell'utente modificando la visuale di conseguenza.

3. Procedura d'interazione

3.1. Interfaccia

Parlando d'interazione si deve, prima di tutto, definire il concetto di interfaccia, che letteralmente significa "ciò che sta in mezzo" ovvero l'ambito delle possibili interazioni tra due entità qualsiasi.

Mihai Nadin nel 1988 fornisce una definizione: «L'interfaccia, di qualunque tipo, specifica l'insieme ottimale di segni per l'interazione tra due entità, sia animate che inanimate. In senso stretto, l'interfaccia utente specifica l'azione che un utente deve compiere per accedere alle diverse parti di un sistema, secondo l'organizzazione del modello concettuale su cui si basa il sistema stesso»³. Questa definizione fornisce anche delle linee guida per una corretta progettazione di un'interfaccia; infatti, occorre: organizzare i contenuti in strutture opportune; scegliere la metodologia di presentazione dei contenuti e in generale stabilire il "*look and feel*" dell'interfaccia; definire il modello concettuale su cui basare le regole di interazione; definire le azioni ed il linguaggio di interazione.

La differenza fra l'interazione tradizionale e quella naturale sta proprio nel metodo di applicazione di tali linee guida.

L'*interaction design* viene definita come l'arte di facilitare, istigare e guidare⁴ i comportamenti attraverso la realizzazione di stimoli.

L'interazione naturale è definita in termini di "esperienza": le persone comunicano in maniera naturale tramite espressioni vocali, gestuali ed emotive, esplorando gli ambienti attraverso la visione e la manipolazione di oggetti fisici. La chiave di volta per permettere loro di interagire con la tecnologia nello stesso modo in cui interagiscono fra loro nella vita di ogni giorno⁵.

Fare ricerca nell'ambito dell'interazione naturale significa lavorare a livello multidisciplinare coinvolgendo ambiti di studio quali l'*interaction design* e l'HCI (*Human-computer interaction*), l'ergonomia, la *computer science*, le scienze cognitive e della comunicazione, l'arte visiva, la creatività.

3.2. *Interfacce multimodali*

Per lungo tempo l'interazione uomo-macchina è stata limitata all'uso di un display grafico, di una tastiera e di un mouse. Recentemente la disponibilità di tecniche di riconoscimento visivo, sonoro e della parola, insieme a sistemi di proiezione e ad altri dispositivi multimediali, hanno suggerito lo sviluppo di una più ricca e multimodale interazione tra l'uomo e l'elaboratore elettronico. A tale scopo è sorta una nuova area di studio della *Human Computer Interaction*, quella sulle interfacce multimodali, il cui obiettivo è quello di consentire una migliore comunicazione tra l'uomo e il computer attraverso una sorta di "antropomorfizzazione" di quest'ultimo.

Si parla di multimodalità quando un qualsiasi tipo di interazione coinvolge più di un canale percettivo (o *input* di comunicazione); l'esempio più eclatante è senz'altro la comunicazione umana: durante una conversazione vengono stimolati contemporaneamente la vista, l'udito, il tatto e anche l'olfatto.

Rimanendo nell'ambito della *Human Computer Interaction*, una definizione di multimodalità è la seguente: la comunicazione con sistemi di computer attraverso le modalità di *input* percettivi comunemente utilizzate dall'uomo per interagire con il mondo. Si parla quindi di un'interazione non più ristretta all'uso della tastiera o del mouse, ma che avviene attraverso la parola, i gesti o la scrittura.

Nonostante le modalità di interazione siano molto evolute e continuano a perfezionarsi, esse comunque non raggiungono ancora i livelli del linguaggio naturale. Ciò non significa che sia necessario soppiantarle totalmente, anche perché studi in merito hanno evidenziato l'efficacia non solo del linguaggio sia scritto che parlato, ma anche delle indicazioni grafiche e delle selezioni via mouse sul video⁶. Piuttosto ci stiamo muovendo verso un arricchimento della comunicazione in cui il miglioramento della qualità dell'interazione uomo-macchina sia rivolto anche alle persone poco esperte o ai disabili, che pur conoscendo molto bene gli standard attuali, hanno problemi di tipo fisico che impediscono loro di interagire correttamente con il computer.

L'utilizzo del linguaggio naturale potrebbe abbattere questi ostacoli. Per raggiungere un tale obiettivo, l'interfaccia tra l'utente e l'ambiente intelligente dovrebbe essere completamente trasparente e la comunicazione dovrebbe appunto essere multimodale come quella tra esseri umani. Certi livelli potranno essere raggiunti solo quando il computer avrà "imparato" piuttosto bene il linguaggio dell'utente. Per questa ragione

stanno proseguendo gli studi nel campo del riconoscimento vocale e nella comprensione artificiale dei linguaggi umani (verbali e non).

Naturalmente l'uso di sistemi multimodali comporta alcuni problemi tecnici non trascurabili. Ricordiamo che il supporto indispensabile alla multimodalità è sicuramente la multimedialità, ovvero la presenza contemporanea di più meccanismi di output (audio, video, etc.).

3.3. *Natural Human Computer Interaction*

Il concetto di *Natural Human Computer Interaction* (NHCI) è nato alla fine degli anni Novanta come possibile soluzione per eliminare lo scarto fra uomini e sistemi computerizzati. Reclama l'introduzione di interfacce utilizzabili in modo naturale e intuitivo, sfruttando risultati e sviluppi in tema di *pattern recognition e image and speech under standing*⁷. Le principali tecniche artificiali utilizzate per la comprensione del linguaggio umano riguardano appunto l'espressività verbale e gestuale.

3.4. *Interaction Design*

Creando relazioni significative tra le persone, i prodotti e i servizi che utilizzano, dai computer ai dispositivi mobili, la *User Interface Design* (UI) è una parte della *User Experience*. È il mezzo attraverso cui l'utente interagisce con il sito o l'applicazione. È importante che la UI sia fatta secondo gli standard di usabilità "massima praticità".

I principi dell'*Experience Design* possono essere riassunti in: non essere invadenti; creare una gerarchia che soddisfi i bisogni della gente; limitare le distrazioni; fornire informazioni interessanti; fornire indicazioni e spunti; fornire un contesto; usare costrizioni adeguatamente; rendere le azioni reversibili; fornire una risposta; fare una buona prima impressione.

Siamo entrati nell'era della gestualità interattiva. La facilità d'uso di un *touchscreen* si è ottenuta grazie al professore Ben Shneiderman dell'Università del Maryland. La manipolazione diretta è la capacità di muovere oggetti digitali su uno schermo senza l'uso di comandi; per esempio si trascina un file in un cestino sul desktop, invece di digitare il comando specifico. I *touchscreen* e le interfacce gestuali portano la manipolazione diretta a un alto livello. Ora, gli utenti possono semplicemente toccare la voce che vogliono manipolare direttamente sullo schermo, spostandolo, rendendolo più grande e così via. La manipolazione diretta usa il corpo per controllare il digitale (e talvolta anche lo spazio fisico) che ci circonda. La manipolazione indiretta utilizza invece interfacce gestuali eliminando il contatto diretto dell'utente.

4. Modellazione 3D per ricostruzioni virtuali

La creazione di ambienti tridimensionali virtuali permette all'utente di interagire in modo dinamico con lo spazio o l'oggetto ricostruito. Le soluzioni grafiche devono essere accurate così che l'utente possa poi vivere tali ambienti come spazi "reali", devono trasmettere informazioni storiche e scientifiche creando diversi livelli di comunicazione. Il pubblico interagisce in modo dinamico con lo spazio ricostruito, arricchisce la propria conoscenza e, tramite la sua "experience", arricchisce lo studioso di informazioni che permetteranno di aumentare la precisione e veridicità della ricostruzione nelle elaborazioni successive.

Una piattaforma multimediale così costituita non ha solo scopi comunicativi: contribuisce a salvaguardare il patrimonio architettonico, archeologico e ambientale innescando processi economici di sviluppo sostenibile⁸; diventa strumento di ricerca alimentando il dibattito critico riguardante i gradi di affidabilità della ricostruzione, l'interpretazione dei dati di partenza, la gestione delle fonti⁹, quindi l'intero percorso ricostruttivo dello studioso. Il modello tridimensionale diventa dunque piattaforma e interfaccia di accesso ai contenuti culturali e contenitore stesso di informazioni, caratterizzandosi come modello informativo e interrogabile.

La trasposizione di un oggetto in ambiente virtuale o la riproduzione digitale di un bene di valore storico per la creazione di piattaforme multimediali è innanzitutto un "processo" in cui, attraverso la grafica digitale, si realizza uno spazio percorribile in tre dimensioni, visualizzato in "prospettiva dinamica interattiva"¹⁰. Tale processo di analisi, sintesi, registrazione, ricostruzione, comunicazione, segue un *workflow* che, riassuntivamente, passa per i seguenti step¹¹:

- acquisizione dei dati tramite tecniche integrate di rilievo;
- rielaborazione e interpretazione dei dati per la costruzione di un modello NURBS o poligonale dell'oggetto esistente;
- ricostruzione tridimensionale dell'oggetto nella sua interezza tramite ipotesi interpretative sulla base di proprietà geometriche, comparazione e analisi storiche;
- texturizzazione del modello tridimensionale ottenuto;
- renderizzazione e creazione dell'ambiente virtuale;
- ottimizzazione dei file digitali per la fruizione *real time*.

Negli anni le metodologie di rilievo sono giunte via via a seguire procedure consolidate nei processi di acquisizione dei dati, tramite l'utilizzo di tecniche fotogrammetriche (o più in generale

image-based), di strumentazione *range-based*¹² come stazioni totali, laser scanner, georadar, ecc.) e il più tradizionale rilievo diretto. Nessuna tecnica presa singolarmente risulta essere esaustiva e sufficiente tale da ottenere un rilievo geometricamente accurato, al contrario risulta necessario prevedere un utilizzo complementare di metodologie e strumentazioni adottando di volta in volta scelte che ottimizzino i processi di acquisizione e restituzione.

La modellazione 3D, in particolare nel campo della ricostruzione virtuale di un oggetto archeologico, comporta la ricostruzione dell'architettura originaria tramite i dati forniti dal rilievo. È dunque compito del modellatore effettuare una "scelta" tra le misure rilevate e ricostruire criticamente la forma in termini di affidabilità e completezza. Le ipotesi costruttive dovranno essere avvalorate da ricerca storica e confrontate con elementi rapportabili ad esso per similitudine.

Il modello risultante deve definire l'oggetto in diversi livelli di dettaglio e, tramite i *rendering*, simularne percettivamente le caratteristiche materiche. L'operatore, tanto nella costruzione del modello quanto nella sua visualizzazione, deve considerare le limitazioni derivanti dai sistemi software e hardware a sua disposizione. Ciò è particolarmente evidente in caso di applicazioni di realtà virtuale dove bisogna considerare facilità di navigazione, capacità del modello di registrare contenuti informativi, memoria dei dispositivi, capacità comunicative, affidabilità della ricostruzione, etc. Anche in questo caso l'operatore dovrà effettuare delle scelte a monte che possano prediligere, nel risultato, il fotorealismo o la scientificità, l'accuratezza di dettaglio, la leggerezza del file.

Le scelte dunque dipendono dai più disparati fattori, sia nelle fasi di rilievo che in quelle di restituzione, interpretazione e ricostruzione. Alcuni sono tecnici e metodologici, altri logistici, altri ancora derivanti da tempistiche o fattori economici, altri infine dettati dal fruitore finale del modello. Risulta dunque necessario stabilire a monte gli obiettivi a cui un modello deve rispondere¹³.

4.1. Procedure di modellazione 3D per la fruizione real time

Qualora lo scopo delle ricostruzioni virtuali sia quello di creare animazioni o applicazioni di VR, o quello di rendere tale modello fruibile e navigabile on line, è necessario ricorrere ad accorgimenti che ottimizzino la visualizzazione e la fruizione da parte degli utenti. In questo contesto è possibile parlare di *real time rendering*. Il termine

si riferisce alla capacità di un processore grafico di generare immagini in modo veloce da permettere una visualizzazione fluida da parte dell'osservatore. Quest'ultimo è quindi in grado di interagire con l'ambiente virtuale e non percepisce alcun ritardo tra i comandi di avvio e le risposte del sistema. Nonostante l'aumento delle potenze dei processori per l'elaborazione dati, si ricorre spesso a diverse tecniche che alleggeriscano i file digitali di partenza.

Una prima azione per ridurre la pesantezza dei file, ancor prima di passare alla fase di *rendering*, consiste in una tecnica denominata *retopology*: l'oggetto modellato in *mesh* (o in esse convertito) subisce delle trasformazioni che modificano la sua topologia senza variarne la forma. Lo scopo è quello di ridurre il numero di poligoni che compongono l'elemento passando da un modello *hi-poly* a un modello *low-poly* prima dell'esportazione in un software di renderizzazione. Questo permette un alleggerimento sia a livello di RAM che di calcolo del motore di *rendering* nella fase successiva. Esistono ad oggi diversi software che attuano una procedura semiautomatica come Z-brush, Topogun, Blender¹⁴.

La tecnica del *retopology* spesso riduce le caratteristiche percettive globali di una scena virtuale, in particolare relativamente a ricostruzioni archeologiche e alla visualizzazione di elementi scultorei complessi. Per poter rappresentare tali oggetti senza appesantire i motori di renderizzazione, è possibile procedere per livelli di dettaglio o LOD (*Level Of Detail*)¹⁵. Ad esempio gli elementi scultorei vengono descritti da superfici con un alto livello di poligoni e si inseriscono in una o più versioni del modello complessivo *low-poly* o "modello master". In questo modo nascono diversi "modelli derivati" e gerarchici, la cui complessità poligonale e il cui caricamento varia a seconda della distanza dal punto di vista dell'osservatore nella scena. Si crea una "scena organizzata" a seconda degli oggetti visibili nella "piramide di visualizzazione" in modo da non processare inutilmente poligoni di oggetti non visibili a grande distanza. Ulteriore ottimizzazione del carico per l'hardware si ottiene attraverso una tecnica denominata "*culling*": se l'elemento non è visualizzato nella scena, pur facendone parte, i suoi poligoni non vengono caricati e renderizzati nell'immagine.

L'aggiunta di particolari geometrici sulla superficie di un oggetto risulta comunque spesso proibitiva per i processori grafici ma, senza agire direttamente sul modello, è possibile in fase di renderiz-

zazione ricorrere ad alcune tecniche, quali ad esempio *texture mapping*, *bump mapping* o tecniche di *baking*, operabili sia attraverso i più comuni software che attraverso *plug-in* degli stessi. Tali espedienti procedurali agevolano la fruizione della scena virtuale, ottimizzando la visualizzazione e raggiungendo buoni livelli fotorealistici. Le scelte non sono funzionali soltanto al risultato della rappresentazione, al fotorealismo e alla velocità di interazione, ma si configurano anche in base a finalità comunicative e scientificità delle informazioni.

5. Modalità e strumenti per la fruizione

Si sente oggi sempre più spesso parlare di “*Virtual Reality*” nei più disparati ambiti, come quello dell'intrattenimento e dei videogame, del marketing pubblicitario e del commercio, dei Beni Culturali. L'obiettivo principale, in linea generale, è quello di comunicare all'utente attraverso la sovrapposizione di diversi livelli informativi e multimediali che trascendano l'esperienza “reale”. Tuttavia in tale contesto si assiste all'uso improprio dell'accezione di “Realtà Virtuale”, in quanto la sempre più stretta contaminazione tra reale e virtuale ha indotto a una distinzione tra diverse applicazioni e modalità di accesso: *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR), *Mixed Reality* (MR).

Con il termine *Virtual Reality* si indica una simulazione che si avvicina a essere percepita come una realtà effettiva. Si tratta di un sistema di interazione *stand-alone*, il soggetto fruitore si sente introdotto in una realtà altra e può osservare lo spazio digitale nel quale è immerso. Nell'ambito dei Beni Culturali, a livello percettivo e comunicativo, l'introduzione di un utente ad esempio in uno spazio archeologico ricostruito è sicuramente di grande impatto, ma anche fonte di alcune criticità, diverse per natura: in primo luogo, l'utente rischia di concentrarsi unicamente su ciò che viene definito dall'*experiential marketing* il “*wow factor*”, derivante dall'uso della tecnologia in sé, lasciando in secondo piano i contenuti informativi; in secondo luogo, l'accesso facilitato alla realtà virtuale indipendentemente dal luogo in cui l'utente si trovi, potrebbe diminuire il grado empatico con il luogo e il manufatto, la percezione del contesto storico o la consistenza materica dei reperti; infine sono ben tangibili le problematiche legate all'immagine e al “cortocircuito” che si crea, derivante dal contrasto tra i segnali visivi e la percezione del movimento, tali da creare il cosiddetto *motion sickness*. Al fine di evitare tale fenomeno è necessario: porre

attenzione a incongruenze tra i movimenti reali dell'utente rispetto a quelli del virtuale; curare l'ottimizzazione in modo da assicurare almeno 60 fps (*frame per second*) sulla piattaforma di sviluppo; non costringere l'utente a dover girare più volte su se stesso concentrando i contenuti all'interno dei 180°.

Con il termine *Augmented Reality* si indica generalmente la sovrapposizione di elementi virtuali rispetto alla realtà che circonda un osservatore. Il soggetto fruitore si muove in uno spazio reale che si amplia grazie all'introduzione di informazioni digitali aggiuntive. Nel campo della comunicazione dei Beni Culturali un utente, osservando uno spazio composto da elementi reali e virtuali, può inoltre accedere automaticamente a differenti tipologie di contenuti (testuali, audio, video, di indicazione o orientamento) riguardanti quello stesso spazio.

Il termine *Mixed Reality* si riferisce all'unione tra l'immersività tipica della VR e il contatto con lo spazio reale caratteristico dell'AR. La MR permette di superare e aumentare le informazioni recepite dai soli dati percettivi visivi, a differenza della realtà virtuale non provoca effetti di *motion sickness* e non altera la percezione del contesto. Si tratta di un livello più avanzato di AR nel quale sono maggiori gli elementi virtuali rispetto a quelli reali. Il soggetto fruitore si muove in uno spazio ibrido e può interagire con gli elementi virtuali.

I principali problemi tecnici, riguardanti sia la realtà aumentata che la *Mixed Reality*, nascono dalle difficoltà di costruire una realtà "ibrida" integrando la visione reale con quella virtuale e sono relativi al perfetto *overlap* tra le immagini proiettate virtualmente e gli oggetti reali. Per ovviare a tali problematiche risulta necessario conoscere lo spazio su cui verrà sovrapposta la scena virtuale in modo accurato e il centro di proiezione delle immagini digitali stesse (che generalmente corrisponde a un dispositivo in possesso dell'utente). Per fare ciò è dunque indispensabile conoscere la posizione dell'osservatore nello spazio reale e in quello digitale. Per tale motivo esistono, oltre alla geolocalizzazione tramite sistemi di posizionamento globale (GPS), due principali modalità di tracciamento della posizione dell'osservatore: riconoscimento di marcatori e tracciabilità dello spazio.

Nel primo caso è possibile parlare di sistema passivo: è l'impulso fornito dal marcatore esterno che permette di calcolare la posizione dell'osservatore. Nella scena viene posto un *marker* (bidimensionale o tridimensionale), l'utente ha a disposizione un visore o un *device* for-

nito di telecamera. Il processore del visore o del dispositivo interpreta il flusso video proveniente dalla telecamera sul visore, riconosce il *marker* nella scena e calcola la trasformazione di coordinate tra la telecamera e il mondo reale. Una volta che si conosce la reale posizione della telecamera e dei visori, è possibile avviare il processo di collimazione ottica e i modelli 3D digitali vengono proiettati sul marcatore reale. In questo modo il punto di vista e il centro di proiezione sono vincolati e preferenziali. Si dividono in: sistemi di *ARTag* (sono basati sul riconoscimento di *pattern* bidimensionali generalmente stampati e preimpostati nel dispositivo di riconoscimento); *marker* geometrici (sono basati sul riconoscimento di forme tridimensionali, preimpostate nel dispositivo atto alla loro individuazione).

Si possono distinguere due diverse tipologie di tracciabilità spazio: sistema passivo e sistema attivo. Nel primo caso si prevede un sistema di triangolazione a stretto raggio basato su tecnologia *bluetooth*, in grado di sfruttare la posizione del dispositivo impugnato dal visitatore per attivare di volta in volta i vari contenuti in AR e sovrapporli in maniera puntuale all'oggetto reale anche in assenza di *marker*. Nel secondo caso è possibile parlare di sistema attivo in quanto è la telecamera del dispositivo posseduto dall'utente a riconoscere l'ambiente circostante e mappare la posizione degli oggetti al suo interno. Il sistema è ancora in fase di sperimentazione e si basa su due tecniche differenti portate avanti l'una da Microsoft, l'altra da Google.

I sistemi *real time* sono in grado di offrire differenti livelli di interazione, da quelli più ridotti (come i sistemi creati con software QuickTime VR) a quelli che permettono un'elevatissima interazione tra soggetto e dato, come nel caso di giochi *multiplayer* di ultima generazione.

I sistemi di interazione tra uomo e ambiente virtuale si attuano attraverso le seguenti e principali modalità:

- *raycasting*: tecnica che si basa sul calcolo del percorso fatto dai raggi di luce che tracciano un percorso da un fonte emittente a una superficie. Sia il raggio che il *collider* si trovano in ambiente virtuale. Generalmente utilizzata nei dispositivi ottici (visori), le funzioni interattive si attivano quando lo sguardo dell'utente (lenti come fonte di emissione dei raggi) individua un oggetto virtuale specifico identificato come *collider*;

- *controller*: si tratta di dispositivi aggiuntivi e *plug-in*, utilizzati in ambito *gaming*. Forniscono input come il movimento in ambiente virtuale o l'attivazione di funzioni interattive tramite pulsanti;

- *kinect*: si basa sul tracciamento dei movimenti dell'utente tramite telecamera a infrarossi o scanner 3D a luce strutturata. Una volta individuata la posizione dell'utente, i suoi movimenti verranno trasposti nello stesso sistema di coordinate riferite all'ambiente virtuale. Il soggetto fruitore può interagire con gli oggetti e gli spazi virtuali senza l'uso di mezzi altri;

- *leap Motion 3D*: utilizza telecamere e led infrarossi progettata per identificare dita (o oggetti simili come una penna) con una precisione di 0,01 mm. Funzionamento simile alla *kinect*, si differenzia da quest'ultima per l'area di funzionamento più piccola e per la migliore precisione.

Ad ogni modalità di accesso ad AR, MR e VR corrispondono dispositivi differenti per tecnologia e funzionamento.

I principali apparecchi presenti sul mercato sono: Google cardboard; Samsung Gear VR; Oculus rift; Microsoft HoloLens; Google Tango Project. I primi due sono forniti di uno *slot* per *smartphone* che utilizzano come schermo. Danno all'osservatore la possibilità di muoversi nello spazio (limitatamente alle condizioni di *motion sickness* e di spazio fruibile) e di interagire con gli oggetti pur se in modo superficiale, offrono una bassa qualità dell'esperienza sia in VR che in AR o MR e sono compatibili solo con alcuni dispositivi. Gli Oculus rift al contrario offrono una qualità dell'esperienza elevata in VR, ma necessitano del collegamento a un computer tramite cavo. La mobilità dell'utente è limitata in quanto è necessario che rimanga in una posizione fissa. I Microsoft HoloLens sono dispositivi di nuova generazione per quanto riguarda la MR. Riescono a ovviare al punto di vista vincolato sfruttando il principio dell'ologramma: il sistema di proiezione dell'immagine è interno e non ha bisogno di marker esterni. Il riconoscimento dell'ambiente circostante avviene tramite una fotocamera digitale interna, secondo un sistema "attivo" (la telecamera traccia l'ambiente). L'ologramma viene così "disegnato" internamente in tempo reale sugli oggetti tracciati e di cui il visore conosce la posizione. Un sensore a infrarossi, ancora interno ai visori, figlio della tecnologia *kinect*, rileva i movimenti e guida l'interazione uomo-oggetto virtuale. Tuttavia l'utente non è libero di muoversi nello spazio tridimensionale in quanto il processore dovrebbe ricalcolare e ri-mappare l'ambiente per poter proiettare nuovamente un'immagine con una frequenza di aggiornamento di molto elevata. Generalmente funzionano in ambienti chiusi e per spazi limitati.

Project Tango (attualmente disponibile solo per *device* e presto anche per visori) è una recente tecnologia sviluppata da Google. Nasce come dispositivo mobile in grado di tracciare con un sensore di profondità la morfologia dello spazio circostante l'osservatore. Lo spazio tridimensionale viene mappato e registrato in una nuova di punti integrata di valori RGB in tempo reale. Il dispositivo restituisce dunque un modello tridimensionale digitale, contenuto nella memoria interna, nel quale inserisce gli oggetti virtuali. L'utente può muoversi nello spazio circostante reale nel quale gli oggetti virtuali sono inseriti e nello stesso tempo interagire con gli elementi proiettati che variano la propria prospettiva in relazione alla posizione dell'utilizzatore. Questo è possibile in quanto gli oggetti digitali vengono inseriti direttamente nel modello tridimensionale virtuale dell'ambiente reale. È dunque l'utente stesso a tracciare la posizione degli oggetti reali e non viceversa, inserendo tutto in un unico sistema di riferimento. Tale sistema può quindi considerarsi "attivo". Osservatore, oggetti virtuali e reali sono inseriti nel medesimo sistema di coordinate tridimensionali. L'utente può quindi interagire con essi grazie ai sistemi di *leap motion* integrati direttamente nel dispositivo.

6. Il caso studio: il Ponte Rotto a Roma

Nel contesto sopra descritto si è voluto mettere a punto un prodotto multimediale e un'applicazione per smartphone, e più in generale per *portable device*, per la valorizzazione e la divulgazione dei ponti sul fiume Tevere a Roma.

La tecnologia scelta si basa sulla *Mixed e Augmented Reality*. Google Project Tango offre la possibilità di sovrapporre elementi virtuali ad elementi dello spazio reale senza grossi problemi relativi all'*overlap* delle due immagini, utilizzando una semplice telecamera del proprio dispositivo (ad oggi disponibile solo per dispositivi Android). L'utilizzo di tale tecnologia permette anche di superare i problemi relativi alla tracciabilità dell'utente, in particolare negli spazi esterni, e dunque alla riconoscibilità del centro di proiezione delle immagini digitali come già precedentemente descritto (Fig. 1).

L'applicazione consente di accedere a diversi livelli informativi e la distribuzione delle informazioni avviene secondo dei blocchi logici.

Primo livello e menù principale: mappa schematica rappresentante i ponti e la loro localizzazione lungo il fiume Tevere. Ogni elemento è cliccabile e consente l'accesso ai successivi livelli. Un elenco paralle-



Fig. 1. Immagine reale e immagine virtuale sono sovrapponibili grazie ad algoritmi di marker tracking.

lo suddivide i ponti secondo l'epoca di costruzione¹⁶ classificandoli secondo: 1. ponti romani; 2. ponti della Roma papale; 3. ponti moderni; 4. ponti contemporanei.

I livelli successivi possono considerarsi blocchi logici paralleli e approfondiscono le tematiche riguardanti il singolo ponte. Nello specifico il caso studio ha affrontato il *Ponte Aemilius*, detto anche Ponte Rotto, posto poco più a sud dell'isola Tiberina. Nel menù successivo sono visualizzabili e cliccabili le seguenti opzioni:

- realtà aumentata
- storie e folklore
- particolari architettonici.

Nella prima opzione, il sistema consente di visualizzare diversi livelli di informazioni tridimensionali. L'utente, posto in una posizione predeterminata e preferenziale, tramite telecamera del proprio dispositivo inquadra l'oggetto. Un *marker* geometrico tridimensionale preimpostato riconosce la forma su cui proiettare gli oggetti virtuali. Il ponte viene ricostruito virtualmente in sovrapposizione all'immagine attuale visualizzabile sul *display*. Una *timeline* permette di navigare nelle ricostruzioni delle diverse fasi storiche: romana, rinascimentale e ottocentesca (Figg. 2, 3).

Nella seconda opzione l'utente ha la possibilità di accedere a contenuti informativi in forma audio-visiva. Una serie di video animati riferiscono notizie storiche e leggende sul ponte tramite i



Fig. 2. Modello ricostruttivo rinascimentale e linea del tempo selezionabile.



Fig. 3. Modello ricostruttivo relativo all'epoca ottocentesca e linea del tempo selezionabile.

personaggi che lo hanno attraversato o le vicende a cui è stato sottoposto. Sono state individuate sette differenti *storyboard* divise per epoca storica: Roma antica, Medioevo e Rinascimento, Ottocento. Degli elementi testuali approfondiscono alcune curiosità come ad esempio il Ponte Rotto nell'arte e nel cinema (Fig. 4).

Infine nella terza opzione, un'interfaccia che rappresenta lo stato attuale del ponte, permette all'utente di cliccare su alcuni elementi evidenziati e di accedere a notizie relative a particolari architettonici e dettagli tecnici (Figg. 5, 6).

La piattaforma multimediale così studiata combina contenuti scientifici, ludici, narrativi alternando diversi registri: emotivo, riflessivo, di istruzione. L'utente vive un'esperienza didattica e immersiva grazie ai diversi livelli di comunicazione. I contenuti testuali han-



Fig. 4. *Storie e folklore. Filmato animato che riproduce leggende dell'epoca romana.*

no la capacità di essere facilmente percepibili e comprensibili da un pubblico vasto. Le ricostruzioni tridimensionali, visualizzabili tramite realtà aumentata, uniscono aspetti ricreativi e trasmettono, tramite un'unica interfaccia, tutto il processo di analisi / sintesi, registrazione / interpretazione e ricostruzione a monte dell'operazione. I contenuti audio e visivi legano la narrazione, anche di leggende e curiosità ai contenuti scientifici. Lo *storytelling* gioca un ruolo fondamentale nella trasmissione delle informazioni, stimola curiosità e genera maggiori facoltà di apprendimento. È possibile dunque comunicare non solo raccolta, analisi e interpretazione dei dati, ma anche storie, culture, vicende unendo aspetti sociologici e antropologici a quelli storico-scientifici che più accrescono la curiosità degli utenti¹⁷.

¹ <<http://www.viaggioneifori.it/>> [dicembre 2019].

² <<http://paris.3ds.com>> [dicembre 2020].

³ MIHAI NADIN. Interface design: A semiotic paradigm. *Semiotica* 69 (3-4), January 1988, p. 272.

⁴ SAFFER 2006.

⁵ NORMAN 1998.

⁶ NORMAN 1999.

⁷ MARSIC ET AL. 2000.

⁸ TOSTO 2010.

⁹ BORGHINI 2011.

¹⁰ MIGLIARI 2008.



Fig. 5. Il Ponte Rotto nello stato attuale, a cui sono sovrapposti elementi grafici che evidenziano oggetti intelligenti.



Fig. 6. Modello 3D del particolare architettonico. Il modello è navigabile e dà accesso a ulteriori informazioni.

¹¹ EMLER 2017.

¹² MESCHINI 2011.

¹³ DEMETRESCU 2011.

¹⁴ ALIPERTA 2015.

¹⁵ PESCARIN 2011.

¹⁶ I modelli ricostruttivi delle diverse epoche e dei particolari architettonici del Ponte Rotto, qui di seguito mostrati, sono stati realizzati da Giulia Umana. Il rilievo da cui è stato ricavato il modello è stato eseguito da Leonardo Paris e Maria Laura Rossi tramite strumentazione LS del Critevat, Sapienza Università di Roma. Le immagini finali sono invece state realizzate nell'ambito di una tesi di laurea del Corso di Laurea Magistrale in Design Comunicazione Visiva e Multimediale, Facoltà di Architettura, Sapienza Università di Roma, candidati: Huijie Xu, Hairuo Liu.

¹⁷ DE FELICE 2016; FERDANI 2016.

I Romani furono maestri nell'edificazione dei ponti in pietra a partire soprattutto dall'età augustea. Il nostro territorio è costellato da numerose presenze archeologiche riconducibili a ponti lapidei romani, alcuni dei quali ancora funzionanti, nonostante le modificazioni susseguitesesi nei secoli; tra questi il ponte augusteo di Narni rappresenta ancora oggi una delle opere di ingegneria più imponenti. Numerosi esempi si trovano anche nelle Province dell'Impero, segni tangibili di un approccio culturale fondato anche sulla diffusione dell'arte e della tecnica delle costruzioni.

Il volume raccoglie gli esiti di una ricerca finalizzata alla definizione di un quadro metodologico per l'implementazione di una piattaforma informativa multidisciplinare e multiscalare condivisa. I cinque casi di studio – i ponti Emilio e Fabricio a Roma e di Augusto a Narni, i ponti romani di Rieti e di Alcántara (Spagna) – si basano su un'attività di rilievo digitale e di ricerca storico-documentale e soprattutto di analisi critica e di approfondimento tecnico-costruttivo sulle caratteristiche principali del progetto, della sua realizzazione e della sua trasformazione nel corso di ben due millenni di storia.

Il volume diventa così l'occasione per intraprendere un affascinante viaggio nel tempo, per immergersi con l'immaginazione nel pieno di un periodo, quello dell'Impero Romano, sempre affascinante, coinvolgente e a volte misterioso.

Carlo Inglese, architetto, PhD, professore associato della Sapienza Università di Roma. Si occupa delle discipline della rappresentazione e rilievo in ambito architettonico e archeologico, attraverso l'applicazione delle nuove tecnologie informatiche al rilievo integrato complesso. Ha realizzato numerose campagne di rilievo ed è autore di pubblicazioni inerenti il *Cultural Heritage*.

Leonardo Paris, architetto, PhD, professore associato della Sapienza Università di Roma. La sua attività di ricerca è incentrata sullo studio della forma e della geometria nell'architettura, nell'ingegneria e nel design. Si occupa da anni di rilievo digitale integrato e modellazione tridimensionale. Ha curato numerosi rilievi nell'ambito dei Beni Culturali.

ISBN 978-88-9377-150-4



9 788893 771504

