

**Vincenza Garofalo**

Architetto, PhD in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente, è Ricercatore di Disegno (08-E1) presso il Dipartimento di Architettura della Scuola Politecnica dell'Università di Palermo. L'attività di ricerca riguarda prevalentemente l'analisi dell'architettura storica e moderna attraverso gli strumenti del rilievo e della rappresentazione e lo studio delle matrici dell'opera attraverso l'analisi grafica. vincenza.garofalo@unipa.it

In assenza di intervento. Rappresentazioni digitali di restauri virtuali

In absence of intervention. Digital representations of virtual restoration

La simulazione della realtà attraverso le tecniche di rappresentazione digitale viene oggi in aiuto dei restauratori poiché consente loro di verificare l'impatto di un restauro ancor prima di intervenire. Ciò può contribuire a evitare interventi troppo invasivi e a contenere errate pratiche che, a volte, irrimediabilmente cancellano le tracce originali. Il saggio analizza alcune esperienze di ricerca sull'illuminazione nei modelli virtuali che sono emblematiche di un approccio possibile.

Le ricostruzioni tridimensionali digitali analizzate forniscono non solo le informazioni spaziali e dimensionali ma anche gli aspetti cromatici e le caratteristiche di illuminazione di un'architettura.

Lo sviluppo di sistemi interattivi per la documentazione consente anche di visualizzare l'evoluzione temporale di un'architettura e di selezionare ipotetiche ricostruzioni alternative.

The simulation of reality through the techniques of digital representation helps restorers today as it allows them to verify the impact of a restoration even before intervening.

This can help to avoid restorations too invasive and to contain erroneous practices that sometimes delete irretrievably the original traces.

The paper analyzes some researches on lighting in virtual models that are emblematic of a possible approach.

The digital 3D analyzed reconstructions provide not only the spatial and dimensional information but also the chromatic aspects and the characteristics of illumination of an architecture.

The development of interactive systems for documentation also allows to visualize the evolution over time of an architecture and to select hypothetical alternatives reconstructions.

Parole chiave:

Modelli 3D, ricostruzione virtuale, restauro virtuale, illuminare il passato

Keywords:

3D models, virtual reconstruction, virtual restoration, illuminating the past

PREMESSA

L'impiego di metodi digitali per la misurazione e la rappresentazione dell'architettura permette ormai di produrre elaborazioni virtuali che documentano con accuratezza lo stato di un manufatto *ante operam* e che consentono una efficace divulgazione di contenuti scientifici.

Lo sviluppo di sistemi interattivi per la documentazione e l'interpretazione può consentire di visualizzare l'evoluzione temporale di un'architettura e selezionare ipotetiche ricostruzioni alternative per uno stesso arco temporale.

La capacità di simulare la realtà, propria delle tecniche di rappresentazione digitale, viene oggi in aiuto dei restauratori, consentendo di verificare l'impatto di un restauro ancor prima di intervenire. Ciò può contribuire a evitare interventi troppo invasivi e a contenere errate pratiche che, a volte, irrimediabilmente cancellano le tracce originali o falsano la percezione di un manufatto. Il caso, per esempio, dei restauri ancora in atto e da più voci contestati, della Cattedrale di Chartres, in cui la pietra è stata ricoperta da nuovi strati di intonaco e i capitelli dei pilastri sono stati dipinti di bianco brillante, induce a una riflessione. Il nuovo intonaco sulla pietra annerita altera la percezione spaziale dell'ambiente poiché comporta un notevole aumento della luce ambientale, riducendo sensibilmente anche la lettura della luce proveniente dalle vetrate.

Come si può, infatti, essere certi di riportare un monumento al suo stato "originale", quando spesso mancano non solo le "prove" ma anche gli "indizi" di ciò che esso è stato nel corso della sua vita? Restauri troppo radicali finiscono col diventare essi stessi la rappresentazione fisica di una ipotetica verità.

Le rappresentazioni digitali hanno, di contro, il vantaggio di mantenere la distanza fra ideale e reale e hanno un loro valore autonomo a prescindere dalla loro attuabilità. A queste, pertanto, può essere delegato anche il compito di controllare e raccontare virtualmente un restauro mantenendo una distanza dall'esito della realizzazione, evitando sperimentazioni dirette sui monumenti.

Nello stabilire preliminarmente il tipo di intervento da attuare è già possibile, attraverso le tecniche digitali, considerare anche l'aspetto percettivo originario ovvero l'influenza che l'illuminazione naturale e artificiale aveva nella percezione di un manufatto. Sotto condizioni di luce differenti dalle originali, infatti, le architetture storiche possono apparire totalmente

diverse rispetto al modo in cui sono state percepite e utilizzate in passato.

Gli strumenti digitali per la rappresentazione virtuale consentono oggi di riprodurre in maniera efficace diverse condizioni di luce. Le ricostruzioni virtuali realistiche vengono ormai ampiamente utilizzate in vari settori, dal cinema ai videogames, dai musei ai media, ma, affinché abbiano in ugual modo valore scientifico, è necessario che ricreino anche le condizioni di illuminazione in maniera fisicamente e storicamente accurata [1].

LA MODELLAZIONE DELLA LUCE

Alcune esperienze di ricerca sulla riproduzione dell'illuminazione nei modelli virtuali tridimensionali sono emblematiche di un approccio possibile.

Tra queste, lo studio condotto da Renata Holod (History of Art Department, University of Pennsylvania), con la consulenza digitale di Robert Martin, in collaborazione con The School of Engineering, Digital Media Design Group (University of Pennsylvania), ricostruisce virtualmente l'interno della Moschea di Cordova nel X secolo, all'epoca in cui fu ingrandita per volere di al-Hakam, e ne riproduce anche l'ipotetica illuminazione, ricreando una simulazione ad alta qualità degli effetti di luce indotti dai corpi illuminanti [2]. La ricerca parte dal presupposto che i rendering, realizzati per riprodurre scene architettoniche antiche, raramente descrivono la vera atmosfera dell'ambiente rappresentato. Ciò deriva spesso dalla difficoltà di rendere, attraverso le comuni tecniche di rendering, le caustiche complesse che vengono prodotte da corpi illuminanti vitrei con acqua e anche dalla eccessiva quantità di tempo che occorre per calcolare le elaborazioni virtuali [3].

Dato che i corpi illuminanti originali sono andati perduti, lo studio si basa sulla supposizione che la Moschea nel X secolo fosse illuminata da polycandelon [4] e che nelle arcate ci fossero delle lampade pendenti a vaso singolo, costituite, cioè, da un vaso di vetro riempito d'acqua sulla quale galleggiava uno strato di olio, nel quale era immerso lo stoppino che alimentava la fiamma [5].

Nella prima ricostruzione, il numero di luci adoperate era limitato a causa della potenza di calcolo e delle dimensioni del rendering. Questa limitazione lasciava alcune zone del modello in ombra o con un numero di lampade inferiore a quello desiderato. Nelle ricostruzioni successive sono state aggiunte luci in tutte le posizioni appropriate della struttura, cosicché

la luce dell'ambiente sembri più realistica.

Sono state effettuate prove di illuminazione considerando la posizione del sole in alcuni giorni precisi (21 marzo, 21 giugno, 21 settembre, 21 maggio) al tempo in cui al-Hakam ingrandì la moschea, ottenendo risultati differenti: ad esempio, il 21 marzo il sole a mezzogiorno è basso e illumina l'interno, il 21 giugno l'interno è più buio perché il sole è più alto. Sono state anche considerate diverse varianti di luce (generate da lampade con differenti combinazioni di forme di vetro, di livello d'acqua, di olio e di fiamma), poste ad altezze variabili dal pavimento e in funzione dei cicli rituali giornalieri, settimanali e annuali. È noto, ad esempio, che, in occasione del Ramadan, le lampade rimanevano accese in maniera continuata anche di giorno. Per modellare la luce irradiata dalle lampade la ricerca propone un nuovo metodo che adopera la tecnica dei "Coni Caustici", ovvero di quei gruppi di raggi con intensità variabile disposti come un cono. Ogni prova è stata ripresa da due macchine fotografiche e da una video camera che, catturando dati reali, hanno permesso di ottenere una serie di parametri che sono stati poi adoperati per generare una simulazione più accurata, attraverso la modellazione con Maya. Primo obiettivo è stato quello di modellare correttamente la caustica verso il basso, simulando anche il tremolio della fiamma. Successivamente sono state combinate più fonti luminose, i coni caustici e i polycandelon. Se si confronta la stessa prova di modellazione di una lampada a vaso singolo, ottenuta in tre modi diversi, ovvero adoperando la suite di strumenti di rendering Radiance, con la visualizzazione in Maya, o con l'applicazione della tecnica dei Coni Caustici, i risultati ottenuti dall'applicazione di quest'ultimo metodo appaiono più plausibili e accurati, se confrontati con una fotografia realizzata empiricamente [6]. Inoltre la velocità di calcolo è risultata notevolmente inferiore rispetto ad altri metodi di rendering. Mettendo a confronto il modello della Moschea illuminato dalla sola luce d'ambiente con quello realizzato utilizzando il metodo dei Coni Caustici, quest'ultimo appare più realistico e accurato [7]. Questo sistema può consentire agli archeologi di testare diverse ipotesi di illuminazione, variando i parametri. Lo studio ha evidenziato anche un altro risultato interessante: le lampade avevano questa struttura perché amplificava l'intensità dell'illuminazione.

I rendering della Moschea di Cordova, simulando le condizioni originarie di illuminazione, aiutano

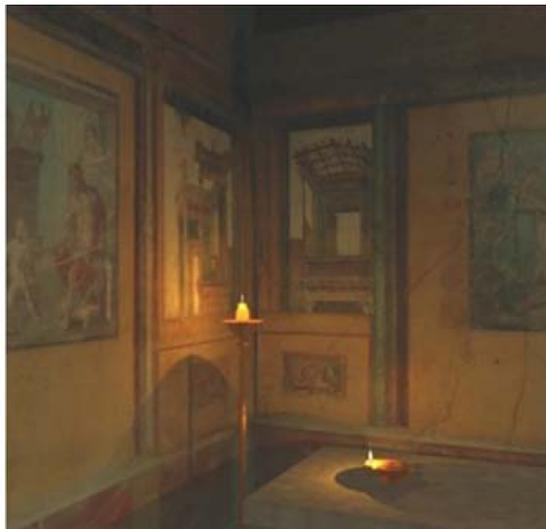
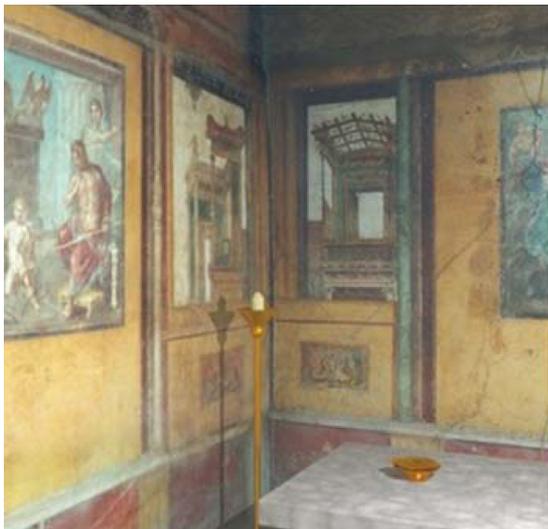


Fig. 1. Modello virtuale della casa dei Vettii a Pompei. (a sinistra) Simulazione di illuminazione con lampade moderne (Devlin, Chalmers, 2001), (a destra) simulazione di illuminazione con lampade a olio d'oliva (Devlin et al., 2002).

archeologi e storici dell'architettura a raggiungere nuove intuizioni sul modo in cui gli interni della moschea possano essere stati percepiti e vissuti nel passato. È noto, infatti che le antiche Moschee non erano solo luoghi per il culto, così questo studio può servire a comprendere anche le funzioni alternative che la Moschea di Cordova può avere rivestito in passato. Questo tipo di esercizio permette una esperienza quasi tattile del monumento, dei suoi archi intrecciati e delle superfici in mattoni rossi. Gli ultimi sviluppi del progetto vedono l'utilizzo di rendering con effetti di luce più complessi, che si avvalgono di diversi algoritmi di animazione (Light cache, V-Ray, irradiance e mentalray), i quali forniscono differenti tipi di luce ed effetti dei coni luminosi [8].

Il nostro modo di vedere è condizionato dagli attuali metodi di illuminazione sui quali si basano anche i software di modellazione tridimensionale. Molte simulazioni mostrano condizioni di illuminazione non attendibili, ma lo studio delle sorgenti luminose di una ricostruzione virtuale, condotta con intenti scientifici, dovrebbe considerare anche la riproduzione del tipo di combustibile adoperato e la sua corretta composizione:

ogni combustibile produce, infatti, una differente intensità luminosa e un diverso colore della luce.

Lo studio condotto da Devlin e Chalmers dell'Università di Bristol delle sorgenti luminose che illuminano la ricostruzione virtuale di un vano affrescato della casa dei Vettii a Pompei ha dimostrato che la percezione degli affreschi cambia se questi sono illuminati da lampade che simulano l'uso del combustibile ad olio d'oliva o se sono illuminati da lampade moderne [9] (Fig. 1). La luce della fiamma evidenzia in maniera particolare i rossi e i gialli [10]. Anche il *trompe l'oeil* viene percepito in maniera diversa; la luce delle lampade a olio ne amplifica la profondità e l'architettura rappresentata al di là delle finte finestre sembra quasi reale. Queste considerazioni possono aiutare gli storici dell'arte a comprendere ciò che gli artisti hanno visto, quando hanno dipinto, o il motivo che li ha guidati nella scelta dei colori.

Quando è stata costruita la diga di Assuan, in Egitto, diversi templi sono stati trasferiti dai siti originari e riasssemblati in altri luoghi, per evitare che venissero sommersi dalle acque del Nilo; tra questi anche il tempio di Kalabsha che in origine era situato a circa 50

km a sud di Assuan. La sua ricostruzione virtuale è stata elaborata da Sundstedt e altri considerando la posizione originale del tempio, che, secondo una consuetudine egiziana, fu scelta con cura, data l'importanza del sole per la religione e per i suoi riti [11]. Il modello 3D, simulando l'orientamento dei raggi solari nel 30 a.C., permette di visualizzare l'illuminazione naturale interna così come doveva essere nell'antichità e come ormai non può più essere percepita, dato che è mutata l'ubicazione del tempio.

Nella elaborazione dell'illuminazione, in uno dei tre vani interni del tempio, sono stati altresì simulati gli effetti che le particelle di polvere in sospensione, dovute all'ambiente esterno sabbioso, provocano nella percezione della luce dei raggi solari che entrano dalle piccole aperture in alto e si espandono (Fig. 2). Per illuminare, inoltre, l'interno di un vano, nelle cui pareti sono stati riprodotti geroglifici, è stata modellata la luce ottenuta dalla combustione di olio di sesamo [12]. Ciò ha rivelato che questo tipo di luce influenza la visualizzazione dei colori, dal momento che la vernice blu appare quasi verde (Fig. 3).



Fig. 2. Tempio di Kalabsha.
(a sinistra) immagine reale di un'apertura, (al centro) simulazione, (a destra) simulazione con particelle di polvere in sospensione. (Gutierrez et al., 2008, p. 12)

Fig. 3. Geroglifici del Tempio di Kalabsha in diverse condizioni di illuminazione simulata:
(a sinistra) luce moderna, (a destra) luce di lampada a olio di sesamo, (Sundstedt et al., 2004)



LA PROIEZIONE DELLA LUCE

Da un po' di anni a questa parte la Realtà Aumentata viene impiegata anche nel campo dei restauri virtuali. Tale metodologia permette di utilizzare la modellazione tridimensionale come base per la ricostruzione virtuale delle pitture in un monumento laddove il recupero non sia realizzabile. In questo caso, i modelli 3D di un monumento o di una sua parte, realizzati a partire da un rilievo scanner laser, vengono texturizzati, adoperando immagini 2D appositamente elaborate. Attraverso la proiezione in tempo reale del modello 3D sull'area equivalente del sito reale, è possibile visualizzare gli effetti di un restauro senza intervenire direttamente sul manufatto o mostrare una configurazione non più esistente o ipotetica.

Un esempio emblematico di tale approccio è il restauro virtuale del portico della Cattedrale di Santa Maria a Vitoria in Spagna di Peral, Sagasti e Sillaurren [13]. Il modello 3D di una scultura policroma, costruito a partire da una scansione laser della statua della Vergine originale, è stato proiettato in tempo reale sulla scultura (Fig. 4). In tal modo essa è apparsa con la stessa policromia che avrebbe avuto in passato, senza tuttavia subire alcun intervento diretto. In questo caso, rispetto ad altre applicazioni su superfici più semplici, la proiezione del modello 3D policromo avviene su una superficie geometricamente molto irregolare, il che implica il fatto che le textures del modello debbano combaciare perfettamente con l'oggetto reale; per questo motivo il processo inizia con la scansione laser della statua originale.

È stato possibile, interagendo con la proiezione, fruire l'opera in modo attivo e non invasivo, ovvero variare i parametri cromatici in tempo reale per provare diverse ipotesi e le differenti possibili colorazioni della statua nel corso dei secoli, senza danneggiarla. A tale scopo è stato adoperato un software che ha permesso di colorare direttamente il modello 3D e di fornire un'esperienza dinamica rispetto a un modello 3D già texturizzato o a un'immagine fotografica statica. La policromia ipotizzata è stata dedotta da alcuni frammenti colorati visibili sul petto della statua della Vergine.

Per proiettare il modello 3D sulla statua, sono stati adoperati più videoproiettori al fine di evitare zone in ombra o zone riceventi quantità di luce differente. Per studiare tipo e posizione dei proiettori, è stato realizzato il modello virtuale di tutto il portico che è

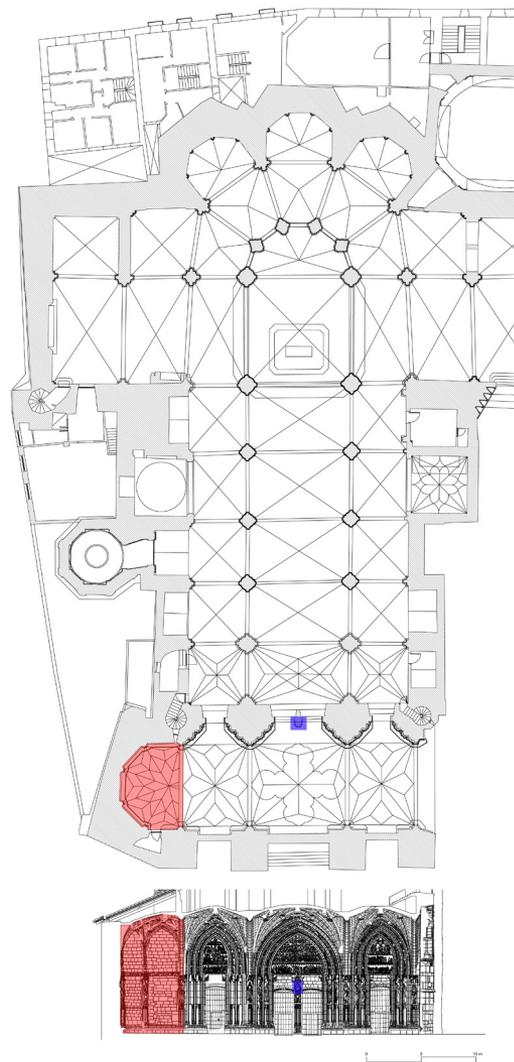


Fig. 6. Pianta della Cattedrale di Santa Maria a Vitoria e sezione del portico. Campitura delle aree interessate dalle video proiezioni: in rosso la Cappella Paternina, in blu la statua della Vergine. (Rielaborazione dell'autore dei disegni realizzati dagli Architetti Pablo Latorre e Leandro Cámara)

<http://disegnarecon.univaq.it#>

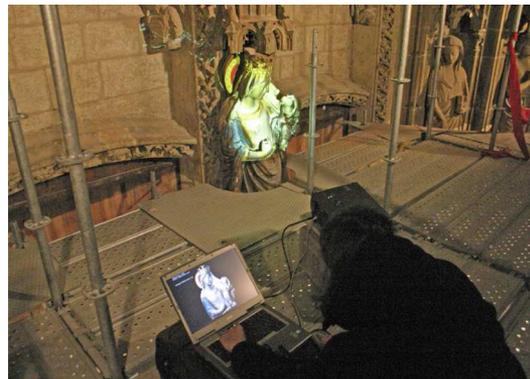


Fig. 4. Portico della Cattedrale di Santa Maria a Vitoria. Test di regolazione dell'applicazione. Proiezione policroma del modello 3D sulla statua della Vergine (Peral et al., 2005)



Fig. 5. Portico della Cattedrale di Santa Maria a Vitoria. Studio della posizione dei proiettori e dei fasci di luce nel modello 3D (Peral et al., 2005)



Fig. 7. Cattedrale di Santa Maria in Vitoria. Controllo delle policromie in situ (Koroso Arriaga, Muñoz Lozano, 2009)

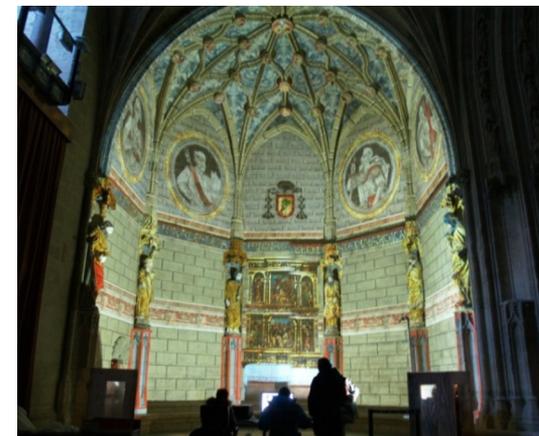


Fig. 8. Cattedrale di Santa Maria in Vitoria. Proiezione sulla Cappella Paternina che ricrea la policromia del XVI secolo (Koroso Arriaga, Muñoz Lozano, 2009)



Fig. 9. Chiesa di Santa Maria de Mave. Sovrapposizione di un'immagine del Cristo Pantocratore, elaborata virtualmente, alla scansione laser dell'abside centrale (Lerones et al., 2010, p.7)



Fig. 10. Chiesa di Santa Maria de Mave. (a sinistra) Proiezione dell'immagine del Cristo Pantocratore sull'abside, (a destra) variazione di luminosità della proiezione sull'abside per simulare il deterioramento cromatico della pittura romanica sulla superficie per effetto del tempo (Lerones et al., 2010, pp.10-11)

stato adoperato per simulare la proiezione virtuale e analizzare gli effetti di differenti possibili configurazioni (Fig. 5). In questo modo si sono ridotti gli errori di proiezione per distorsione che ci sarebbero stati con una proiezione diretta, perché sono stati corretti preliminarmente nel modello 3D.

Questa applicazione è stata adoperata anche come strumento visivo per le visite guidate.

La Fundación Catedral Santa María ha inoltre promosso lo sviluppo di un sistema di proiezione della luce volto alla ricostruzione storica dell'evoluzione cromatica dell'intero portico della Cattedrale [14]. Tale applicazione è stata finalizzata anche all'utilizzo della luce come metodo non invasivo di reintegrazione cromatica, dato che in molti casi non è rimasta alcuna traccia dell'antica policromia (Fig. 6).

Uno studio approfondito, durato 18 mesi e condotto da una squadra di restauratori, ha permesso di estrarre circa 3000 campioni di malta e frammenti policromi che sono stati schedati, generando una mappa che ha permesso di identificare ogni pigmento in base al periodo storico. Ciò ha permesso di ottenere la gamma cromatica da riprodurre con esattezza nelle proiezioni. Una delle condizioni da rispettare è stata, infatti, l'uguaglianza tra il colore della luce proiettata e quello

dei pigmenti estratti, affinché i visitatori potessero percepire i colori così come se li stessero osservando nella realtà e non attraverso una proiezione. Pertanto il colore definitivo è stato regolato direttamente *in situ*, con la supervisione del capo restauratore (Fig. 7).

Dato che applicare il sistema di proiezione studiato all'intero portico avrebbe richiesto l'impiego di un elevato numero di videoproiettori, in una prima fase la proiezione si è limitata alla Cappella Paternina, che è la zona del portico con la più ricca policromia. Il sistema di proiezione adoperato è costituito da 4 video proiettori, allineati in una posizione precisa, controllati simultaneamente da 4 computer e gestiti da un sistema di controllo *touchscreen*. Utilizzando i metodi propri del *videomapping* [15], è stato elaborato un modello della cappella Paternina, contenente tutte le informazioni geometriche dello spazio, direttamente *in situ*, utilizzando le stesse pareti della cappella come uno schermo su cui ridisegnare tutti i contorni che definiscono la geometria del portico. Le proiezioni permettono di visualizzare, sul monumento stesso e in maniera non invasiva, le variazioni cromatiche che questo ha subito nel corso dei secoli, tra il XVI e il XX secolo (Fig. 8). Questo sistema è tuttora fruibile durante la visita alla Cattedrale e consente al visitatore

una visione realistica delle differenti variazioni nella decorazione che vengono spiegate da una voce fuori campo [16].

Un'altra applicazione più recente è stata realizzata nella Chiesa di Santa Maria de Mave a Palencia in Spagna da un gruppo di ricerca della Fundación Cartif di Boecillo-Valladolid nell'ambito di un progetto finanziato dall'Agenzia per lo Sviluppo Economico (ADE), della Junta de Castilla y León [17]. Sulla superficie interna dell'abside centrale non si sono conservate le pitture, la cui assenza decontestualizza la percezione dell'aspetto originale. Il modello 3D dell'abside centrale, ottenuto dall'elaborazione dei dati provenienti dal rilievo laser scanner, è stato texturizzato con un'immagine del Cristo Pantocratore elaborata virtualmente e che non corrisponde alla situazione reale (Fig. 9). Il modello 3D ha permesso di stabilire preventivamente la posizione dei videoproiettori. Sono state fatte alcune prove di proiezione dell'immagine sull'abside, variando la luminosità per simulare il deterioramento cromatico della pittura romanica sulla superficie per effetto del tempo (Fig. 10). Nello stabilire il colore e l'intensità luminosa delle immagini da proiettare si è anche tenuto conto della luce naturale che filtra dalle finestre delle absidi e del colore della superficie sulla quale viene

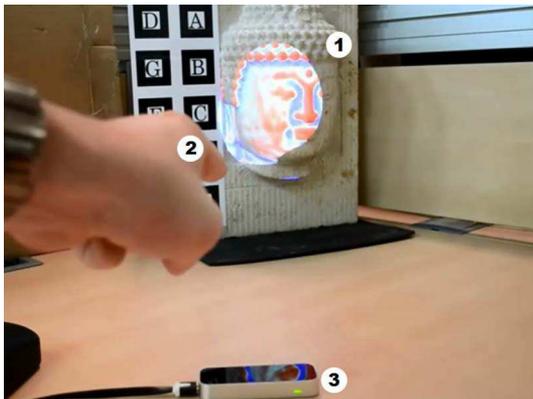


Fig. 11. (a sinistra) Tecnica di visualizzazione interattiva in realtà aumentata sperimentata dal Centre de Recherche Inria dell'Università di Bordeaux per il progetto *Revealing Flashlight* (Ridel et al., 2014, p. 7)

Fig. 12. (a destra) CNR ITABC, applicazione *Revealing Flashlight* sviluppata da INRIA Institute per la mostra *Keys To Rome* al Museo dei Fori Imperiali, Roma, 2014. Attraverso l'uso di sensori, il visitatore esplora la lastra del tempio di Marte nel Foro di Augusto, adoperando il dito per illuminare il frammento (CNR ITABC, 2014)

eseguita la proiezione, entrambi fattori che possono influenzare la percezione finale.

Una nuova tecnica di visualizzazione interattiva in realtà aumentata è stata recentemente sperimentata dal Centre de Recherche Inria dell'Università di Bordeaux per il progetto *Revealing Flashlight* [18]. Tale tecnica, permette, ad esempio, al fruitore di rivelare ed esplorare i dettagli cromatici di un'architettura o di un oggetto, usando il dito come se fosse una torcia, attraverso l'uso di sensori (Fig. 11).

Tale applicazione è stata adoperata anche per una installazione interattiva della mostra *Keys To Rome*, realizzata al Museo dei Fori Imperiali in occasione del progetto V-MusT.net, network europeo coordinato dal CNR ITABC [19] (Fig. 12).

Attraverso l'uso di sensori, tale applicazione consente al visitatore di proiettare, sopra una lastra del tempio di Marte nel Foro di Augusto, la ricostruzione cromatica del suo aspetto originario, puntando il dito verso l'oggetto.

Diverse applicazioni di visualizzazione interattiva sono state sperimentate per simulare i colori originali di un'architettura. Alcune tra queste sono state impiegate

recentemente anche in mostre e installazioni, come nel caso dell'evento *I colori dell'Ara Pacis*, durante il quale sono state proiettate, direttamente sulle superfici in marmo dell'altare, alcune ipotesi di colorazione originaria del monumento, al fine di ottenere l'effetto realistico della policromia originaria [20] (Fig. 13).

“La comunicazione in questo caso diventa spettacolo e veicolo di contenuti di alto livello, rivolta a tutti, ma realizzata con strumenti di grande valore scientifico, dove il legante rimane ancora una volta l'interdisciplinarietà ed il necessario dialogo dei saperi” [21].

CONCLUSIONI

Le ricostruzioni tridimensionali digitali, quali strumenti conoscitivi, forniscono non solo le informazioni spaziali e dimensionali, ma anche gli aspetti cromatici e le caratteristiche di illuminazione di un edificio. La rappresentazione virtuale è strumento di padronanza dell'architettura che si attua attraverso un percorso di conoscenza, il quale comporta un processo di astrazione, di sintesi, di scelta del segno, di gerarchia degli elementi da rappresentare. Utilizzare strumenti digitali per ricreare virtualmente

l'illuminazione o l'aspetto cromatico, consente una esperienza più completa dell'architettura e spesso permette, a chi la studia, di individuare i suoi plausibili usi nel corso della sua vita [22]. Le ricostruzioni di ambienti del passato dovrebbero sempre considerare anche l'aspetto percettivo derivante dalle condizioni di luce [23]. Ma quale luce naturale? Quali lampade? Quale combustibile? E ancora, in quale periodo storico è collocata temporalmente la ricostruzione?

Gli esempi qui presentati, nel testimoniare una buona pratica, vogliono essere l'invito a una riflessione attenta per non incorrere in errori: anche le ricostruzioni virtuali fotorealistiche e i rendering più scenografici e accurati dal punto di vista dell'esecuzione, se non sono supportati da una corretta analisi storica delle fonti e degli indizi e se non hanno fondamento nella realtà fisica e percettiva, invece di costituire delle possibili ipotesi, rappresentano delle soluzioni non attendibili. “However, if we are to avoid misleading representations of how a site may have appeared in the past, then the computer-generated environments should not only look real, they must accurately simulate all the physical evidence from the site” [24].



Fig. 13. Una immagine dell'evento *I colori dell'Ara Pacis*, Museo dell'Ara Pacis, Roma 2014

NOTE:

- 1- Cfr. Happa et al. (2010), p. 155.
- 2- I risultati della ricerca sono disponibili al link [http://cg.cis.upenn.edu/hms/research/Archaeology/Cfr.Kider.et.al.\(2009\)](http://cg.cis.upenn.edu/hms/research/Archaeology/Cfr.Kider.et.al.(2009)).
- 3- Le Caustiche sono concentrazioni di luce riflessa o rifratta da superfici curve che si generano quando la luce, che attraversa un volume di materiale trasparente, quale il vetro o l'acqua, viene deviata, concentrata o dispersa dal materiale stesso. Il saggio riporta un elenco di studi che in precedenza hanno affrontato il problema della modellazione delle caustiche. Ivi, p. 34.
- 4- Il polycandelon è un corpo illuminante sospeso da tre catene e costituito da un anello metallico con alloggiamenti per contenere lampade

de a forma di cono.

- 5- Tale ipotesi deriva dallo studio di modelli di lampade analoghe che si trovano ancora in altri siti e dalla rappresentazione di un interno di una moschea nel frontespizio di un Corano rinvenuto nella Grande Moschea di Sana'a, nello Yemen.
- 6- Per una maggiore comprensione del testo, si rimanda alla fig. 9 del testo originale che illustra lo studio delle caustiche delle lampade pendenti a vaso singolo mettendo a confronto la fotografia della lampada, il risultato da Radiance, il risultato da Maya e Mental Ray, il risultato ottenuto utilizzando la tecnica dei "Coni Caustici" Ivi, p. 38.
- 7- Si rimanda alle figure 11, 12 e 13 del testo originale che mettono a confronto i rendering della Moschea di Cordova illuminata dalla sola luce

d'ambiente, dalla luce generata dai Coni Caustici in una prima versione e dalla luce generata dai Coni Caustici in una vista più accurata. Ivi, pp. 38-39.

8- I recenti sviluppi del progetto, di prossima pubblicazione, sono stati anticipati da Renata Holod in occasione di The fifth biennial Hamad bin Khalifa Symposium on Islamic Art, God Is the Light of the Heavens and the Earth: Light in Islamic Art and Culture, Palermo 9-11 Novembre 2013.

L'intervento quasi integrale è visibile in <http://vimeo.com/84786442> (dal minuto 0:00 al minuto 17:00).

9- Cfr. Devlin, Chalmers (2001).

10- Cfr. Devlin et al. (2002).

11- Il progetto è stato elaborato da un gruppo di ricercatori delle Università di Bristol, Saragozza e War-

wick. Cfr. Sundstedt et al. (2004) e (2005), Gutierrez et al. (2008).

12- Cfr. Sundstedt et al. (2004).

13- Il progetto, realizzato da EUVE (European Virtual Engineering) con la collaborazione di SUBIPRO S.L. e della Fundación Catedral Santa Maria, è stato parzialmente finanziato dal Ministero Spagnolo dell'Educazione e della Scienza attraverso il programma FIT-410000-2004-44, "Visualization System for touristic installations based on Augmented Reality and Virtual Reality". Cfr. Peral et al. (2005).

14- Cfr. Koroso Arriaga et al (2009).

15- Il videomapping è una tecnologia di proiezione che permette di trasformare qualsiasi superficie in uno schermo sul quale proiettare immagini attraverso un videoproiettore. Attraverso l'uso di software ap-

propriati, l'ambiente reale sul quale si vuole proiettare viene ricostruito virtualmente e poi mappato.

16- http://www.catedralvitoria.com/ingles/visitas_programa.php?#VL

17- Cfr. Leronis et al (2010), (2012) e (2014).

18- Cfr. Ridel et al. (2014).

19- Cfr. Pescarin (2014).

20- Cfr. Foresta (2011).

21- Gabbellone et al. (2011), p. 132.

22- Cfr. Papadopoulos, Sakellarakis (2010).

23- Cfr. Bridault-Louchez et al. (2006).

24- Gutierrez et al. (2008), p. 2.

BIBLIOGRAFIA:

Carmo, Maria Beatriz; Claudi, Ana Paula (2013), *3D Virtual Exhibitions*, in *DESIGN-DOC Journal of Library & Information Technology*, 33, (3). <http://www.publications.drdo.gov.in/ojs/index.php/djlit/article/viewFile/4608/2709>

Bridault-Louchez, Flavien; Leblond, Michel; Rousselle, François (2006), *Enhanced illumination of reconstructed dynamic environments using a real-time flame model*, in *Proceedings of the 4th international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa*. ACM, pp. 31-40.

<http://xlim-sic.labo.univ-poitiers.fr/publications/files/publi1920.pdf>

Devlin, Kate; Chalmers, Alan (2001), *Realistic visualisation of the Pompeii frescoes*, in *Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics, virtual reality and visualisation. ACM*, 2001. p. 43-48.
<http://ivizlab.sfu.ca/arya/Papers/ACM/Computer%20Graphics,%20Virtual%20Reality%20and%20Visualisation/Realistic%20Visualization.pdf>

Devlin, Kate; Chalmers, Alan; Brown, Duncan (2002), *Predictive lighting and perception in archaeological representations*, in *UNESCO World Heritage in the Digital Age 30th Anniversary Digital Congress (October 2002), UNESCO World Heritage Centre*.
http://www.doc.gold.ac.uk/~mas01d1/CIS224b/unesco_paper.pdf

Foresta, Simone (2011), *La policromia dell'Ara Pacis e i colori del Campo Marzio settentrionale*, in (a cura di) Rossi, Maurizio, *Colore e Colorimetria Contributi Multidisciplinari*, VII A, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, n. 20, Santarcangelo di Romagna, pp. 333-340.

Gabellone, Francesco; Ferrari, Ivan; Giuri, Francesco; Limoncelli, Massimo (2011), *Virtual Hierapolis: tra tecnicismo e realismo*, in *VAR., Virtual Archaeology Review*, 2, (3), pp. 131-136.

Gutierrez, Diego; Sundstedt, Veronica; Gomez, Fermin; Chalmers, Alan (2008), *Modeling light scattering for virtual heritage*, in *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 1, (2), Article 8, pp. 1-15.
[http://giga.cps.unizar.](http://giga.cps.unizar.es/~diegog/ficheros/pdf_papers/PM_for_HF_cult_her.pdf)

[es/~diegog/ficheros/pdf_papers/2000952_LR.pdf](http://www.diegog/ficheros/pdf_papers/2000952_LR.pdf)

Happa, Jassim; Mudge, Mark; Debattista, Kurt; Artusi, Alessandro; Gonçalves, Alexandrino; Chalmers, Alan (2010), *Illuminating the past: state of the art*, in *Virtual Reality*, Springer-Verlag, 14, (3), pp. 155-182.
<http://ima.udg.edu/~aartusi/Publications/PDF-VIDEO/VR-Springer/2010/VR-STAR%20final.pdf>

Peral, Rosa; Sagasti, Diego; Sillaurren, Sara (2005), *Virtual Restoration of Cultural Heritage Through Real-Time 3D Models Projection*, in *Proceedings of the 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST*, Pisa.

Kider, Joseph T. Jr.; Fletcher, Rebecca L.; Yu, Nancy; Holod, Renata; Chalmers, Alan; Badler, Norman I. (2009), *Recreating early Islamic glass lamp lighting*, in *Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST 2009*, pp. 33-40.
<http://cg.cis.upenn.edu/hms/research/Archaeology/>

Koroso Arriaga, Iñaki; Muñoz Lozano, Oscar (2009), *Space throughout time, application of 3D virtual reconstruction and light projection techniques in the analysis and reconstruction of cultural heritage*, in *Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009 (ISPRS Archives)*, Trento, XXXVIII, 5/W1.
http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/5-W1/pdf/arriaga_lozano.pdf

Lerones, Pedro Martín; Fernandez, José M. Llamas; Garcia-Bermejo, Jaime Gomez; Zalama Casanova, Eduardo; Castillo Oli, Jesus (2010),

Restauración y Simulación Virtual de Policromías en Sta. Mª. de Mave: Un Ejemplo de Nuevas Formas de Explotación del Patrimonio, in *Bienal de la restauración y Gestión del Patrimonio 2010 (ARPA)*, 01.
http://www.romaniconorte.org/docftp/fi15435Publicacion_ARPA_2010.pdf.

Lerones, Pedro Martín; Fernandez, José M. Llamas; Perán González, Jose Ramón (2012), *Recuperación Virtual de Policromías Mediante Modelos 3D*, in *Innovación en el patrimonio. Actas VIII Congreso Internacional AR&PA, Valladolid. 24 - 27 mayo de 2012*, pp. 79-88.

Lerones, Pedro Martín; Fernandez, José M. Llamas; Garcia-Bermejo, Jaime Gomez; Zalama Casanova, Eduardo; Castillo Oli, Jesus (2014), *Using 3D digital models for the virtual restoration of polychrome in interesting cultural sites*, in *Journal of Cultural Heritage*, Volume 15, Issue 2, pp. 196-198.

Muñoz Lozano, Óscar (2012), *El pórtico de la luz: el espacio a través del tiempo. Aplicación de técnicas de proyección de luz para la reconstrucción de policromías*, in *Innovación en el patrimonio. Actas VIII Congreso Internacional AR&PA, Valladolid. 24 - 27 mayo de 2012*, pp. 281-292.

Pescarin, Sofia (2014), *Museums and Virtual Museums in Europe: Reaching expectations*, in *SCIRES-IT Scientific REsearch and Information Technology, Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione*, 4, (1), pp. 131-140.
<http://caspur-ciberpublishing.it/index.php/scires-it>

Papadopoulos, Constantinos.; Sakellarakis, Yannis (2010), *Virtual Windows to the Past:*

Reconstructing the 'Ceramics Workshop' at Zominthos, Crete, in *Proceedings of the 38th Conference on computer applications and quantitative methods in archaeology*, Granada.
http://www.costaspapadopoulos.com/resources/Virtual_Windows_to_the_Past.pdf

Ridel, Brett; Reuter, Patrick; Laviolo, Jeremy; Mellado, Nicolas; Couture, Nadine; Granier, Xavier (2014), *The Revealing Flashlight: Interactive spatial augmented reality for detail exploration of cultural heritage artifacts*, in *Journal on Computing and Cultural Heritage Association for Computing Machinery (ACM)*, 7 (2), New York, pp.1-18.
<https://hal.inria.fr/file/index/docid/989591/filename/article3medium.pdf>

Sundstedt, Veronica; Chalmers, Alan; Martinez, Philippe (2004), *High fidelity reconstruction of the ancient Egyptian temple of Kalabsha*, in *Proceedings of the 3rd international conference on computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa. ACM*, New York, pp. 107-113.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.103.8248&rep=rep1&type=pdf>

Sundstedt, Veronica; Gutierrez, Diego; Gomez, Fermin; Chalmers, Alan (2005), *Participating Media for High-Fidelity Cultural*, in *Proceedings of the 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST*, Pisa.
http://giga.cps.unizar.es/~diegog/ficheros/pdf_papers/PM_for_HF_cult_her.pdf