



Simone Garagnani

Ingegnere, assegnista post-Ph.D. in Ingegneria Edilizia e Territoriale presso l'Università di Bologna. Svolge ricerca sulla modellazione digitale in architettura, il Building Information Modeling e l'acquisizione di informazioni spaziali attraverso metodi range-based, tematiche per le quali ha curato diverse pubblicazioni scientifiche nazionali ed internazionali.

La riscoperta della stereoscopia per la rappresentazione dello spazio architettonico

Rediscovering stereoscopy to represent the architectural space

Il progressivo sviluppo dei metodi della rappresentazione grafica nel corso della storia è stato possibile in virtù di strumenti e tecniche appartenenti al loro tempo: questo progresso continuo delle modalità di "raccontare" l'architettura è tuttora in corso di evoluzione, costituendo il fondamento di ogni strategia informativa e di comunicazione del progetto.

Il sempre più pervasivo trattamento digitale dell'informazione, sia essa grafica che testuale, ha condotto ad una riscoperta di approcci tradizionali nella descrizione dello spazio costruito, declinandoli alle nuove tecnologie informatiche per amplificarne possibilità e valenze.

E' il caso della stereoscopia, diffuso metodo ottocentesco adottato in fotografia per rendere spaziale la percezione dell'immagine sfruttando la visione

binoculare; oggi i modelli tridimensionali e le immagini digitali catturate da apposite fotocamere rendono l'approccio stereoscopico di immediato utilizzo anche per i profani della rappresentazione, semplificando e rendendo trasparenti i concetti di geometria proiettiva alla base del metodo. Questo contributo intende indagare le funzionalità, i vantaggi e le criticità della tecnologia stereoscopica immersiva nella moderna comunicazione del progetto d'architettura.

The steady development of graphic representation's methods has been possible due to tools and techniques mostly belonging to their time: the evolution of the architecture "story telling" is still in progress, establishing the foundation of every

project information and communication strategy. The pervasive information processing operated by computers, through graphical and textual digital contents, led to a rediscovery of traditional approaches to depict the built space, declining them to new technologies in order to amplify their possibilities and values.

This happened to stereoscopy, common method adopted in photography since the 19th century to render the spatial perception through the binocular vision and today easily consistent with three-dimensional models and digital images captured by special cameras.

This paper aims to investigate the features, benefits and criticality of stereoscopic immersive communication in the modern architecture of the project.

LA TRADIZIONE DELLA STEREOSCOPIA

I viaggiatori del primo Ottocento, per documentare le proprie esperienze itineranti, trovavano nella tecnica nascente delle stampe fotografiche del dagherrotipo la soluzione ideale per testimoniare, al loro ritorno, le emozioni vissute.

Con l'ideazione nel 1832 dello stereoscopio da parte di sir Charles Wheatstone, questa tendenza di rappresentare lo spazio attraverso la fotografia subì un'evoluzione ancor più importante, permettendo la percezione della tridimensionalità con un'immediatezza che da allora fu sfruttata per molto tempo, fornendo elementi aggiuntivi di valutazione sensoriale, utili a garantire una maggior comprensione

del mondo reale (Wheatstone, 1838). In buona sostanza, lo stereoscopio era uno strumento ottico basato su specchi e prismi, che indirizzavano correttamente coppie di immagini acquisite da punti leggermente differenti, separandole per l'occhio destro e quello sinistro.

Giacomo Caneva, pittore e appassionato di fotografia, ebbe a scrivere in proposito: *"L'invenzione è bella e dilettevole ma non di molta utilità. Perché anche veduta sotto l'aspetto artistico non offre nulla di vantaggioso. Chè se l'artista deve ricordar come vede la natura per ridurla sulla carta o sulla tela, deve pure ricordare e non senza difficoltà anche ciò che vede collo stereoscopio.*

Per ora è un divertimento d'anticamera; fra

giorni sarà un divertimento di piazza" (Caneva, 1855). Furono in parte giudizi profetici, dacché la tecnica divenne ben presto così pervasiva che accanto alla produzione stereoscopica legata alla documentazione storica, all'architettura, ai panorami e all'arte, si ebbe una consistente diffusione commerciale della stereoscopia *"di genere"*, con la riproduzione d'immagini destinate principalmente all'intrattenimento (illustrazioni riferite a novelle o racconti, trasposizioni stereoscopiche di eventi teatrali, rappresentazioni e rievocazioni di vario genere).

I fratelli Alinari a Firenze assorbito ad esempio numerose collezioni d'immagini stereo, assumendo una posizione predomi-

nante particolarmente nella documentazione dell'architettura (Maffioli, 1999).

Questa tecnica è dunque retaggio di una cultura della rappresentazione radicata, attenta all'evoluzione tecnologica dei mezzi di comunicazione del tempo, portatrice di una replicazione del reale dove lo spettatore può letteralmente "entrare" nel racconto spaziale.

La stereoscopia, ovvero la visione di immagini a due dimensioni in grado di stimolare la percezione dello spazio da esse rappresentato, si presenta come una strategia ottimale per declinare i meccanismi della fisiologia umana al messaggio del progetto d'architettura.

Essa può essere adottata per descrivere un ambiente con connotazioni sensoriali im-

mersive, secondo varie modalità tra le quali l'anaglifo, l'immagine incrociata, l'immagine parallela, la coppia stereoscopica attiva o lo stereogramma.

I METODI PIÙ DIFFUSI DI PRODUZIONE STEREOSCOPICA

Il concetto comune che sta alla base di ciascun metodo è quello di "ingannare gli occhi", restituendo l'impressione di una fusione in un'unica rappresentazione di due viste da punti differenti (le stereocoppie o stereogrammi come in figura 1), evitando per quanto possibile il fenomeno della diplopia. E' quest'ultimo un caso di visione doppia (figura 5) che si manifesta quando i punti omologhi

di una coppia stereoscopica, che è tale quando le immagini differiscono per poco, rimangono distinti e non possono essere fusi dalla corteccia cerebrale in una singola immagine (Millodot, 2009).

Gli occhi umani sono infatti ravvicinati tra loro per una distanza di circa sei centimetri. A causa di ciò ogni oggetto che essi percepiscono presenta lievi differenze in termini di angolo visuale.

Produrre immagini, fotografiche o artificiali, in stereoscopia significa rappresentare i piani visivi di una stereocoppia con un angolo confrontabile a quello della distanza naturale degli occhi.

Dunque come nel caso dello stereoscopio,



Figura 1. Stereogramma o stereocoppia dell'abside esterno della basilica di San Francesco, complesso ecclesiale del XIII secolo a Bologna (scatto dell'autore, 2011). Le viste sono state ottenute mediante una coppia di scatti a distanza dei punti di stazione (baseline) di 6,5 cm. uno dall'altro.

la tecnica vuole che la stereocoppia venga opportunamente separata così che ad ogni occhio venga mostrata solamente l'immagine corrispondente, senza alterarne troppo la distanza (stereoscopia naturale).

A seconda di come questa associazione viene interfacciata agli occhi, i metodi assumono caratteristiche differenti, pur essendo tutti assimilabili al termine di stereogramma.

In origine questo termine definiva una immagine stereoscopica parallela, ovvero una stereocoppia visibile attraverso lo stereoscopio di Wheatstone o quello più evoluto di Brewster, più simile ad un binocolo, dove le due immagini stampate venivano affiancate parallelamente così che l'immagine destra fosse desti-

nata all'occhio destro e, viceversa, la sinistra all'occhio sinistro.

Si rileva che l'immagine stereoscopica destinata alla visione con stereoscopio può essere osservata anche ad occhio nudo, con la pratica della libera visione stereoscopica, imponendo cioè agli occhi di convergere in un punto posteriore al piano dell'immagine stessa quando questa è posta ad una distanza ragionevole dall'osservatore.

Analogamente l'autostereogramma, stereogramma a singola immagine convergente o divergente a seconda della posizione degli occhi, viene realizzato per creare una illusione ottica tridimensionale: in questo caso gli occhi devono superare il coordinamento di norma

automatico tra messa a fuoco e convergenza, restituendo la sensazione di oggetti posti nello spazio, di solito trattati mediante campiture variopinte che ne racchiudono i contorni ma non le caratteristiche fotografiche.

Più in generale, tutti i sistemi che non necessitano di uno strumento specifico per visualizzare le stereocoppie sono detti *autostereoscopici*, come evidenziato tra gli altri nella "fotografia integrale" di Lippmann, un sistema di lenti in grado di indirizzare l'immagine corretta all'occhio relativo (Roberts, 2003). Questo concetto è alla base dei moderni schermi tridimensionali a cristalli liquidi, dove viene concretizzato attraverso la barriera di paralasse, ovvero una griglia traslucida capace di



mascherare ad un occhio parti dell'immagine che devono essere percepite dall'altro.

Storicamente, è forse però l'anaglifo il sistema più utilizzato e conosciuto per descrivere contesti stereoscopici. Fu introdotto nel 1858 da D'Almeyda, anche se deve la propria popolarità ai lavori dei fratelli Lumière negli anni Venti (Valyus, 1966).

L'anaglifo combina in un'unica immagine composta due differenti viste che compongono una stereocoppia parallela, filtrate rispettivamente attraverso due colori primari complementari (figura 2): uno sottrattivo (solitamente proprio il ciano) e uno additivo (il rosso), che, unendosi, producono come risultante una dominante bianca.

Tramite semplici occhiali dotati di filtri colorati applicati alle lenti, corrispondenti ai colori complementari di sovrapposizione, è possibile apprezzare questa profondità, consentendo al singolo occhio di percepire solamente una delle due immagini composte; per convenzione si utilizza il filtro rosso per l'occhio sinistro mentre quello ciano per l'occhio destro.

Oggi è pratica comune quella di utilizzare modellatori digitali per descrivere le caratteristiche tridimensionali di un oggetto, ruotandolo ed esplorandolo in 3D, tuttavia sembra altrettanto interessante riutilizzare sistemi di visualizzazione tridimensionale "classici" per quei contesti che amplificano la loro funzione di "racconto" attraverso la percezione

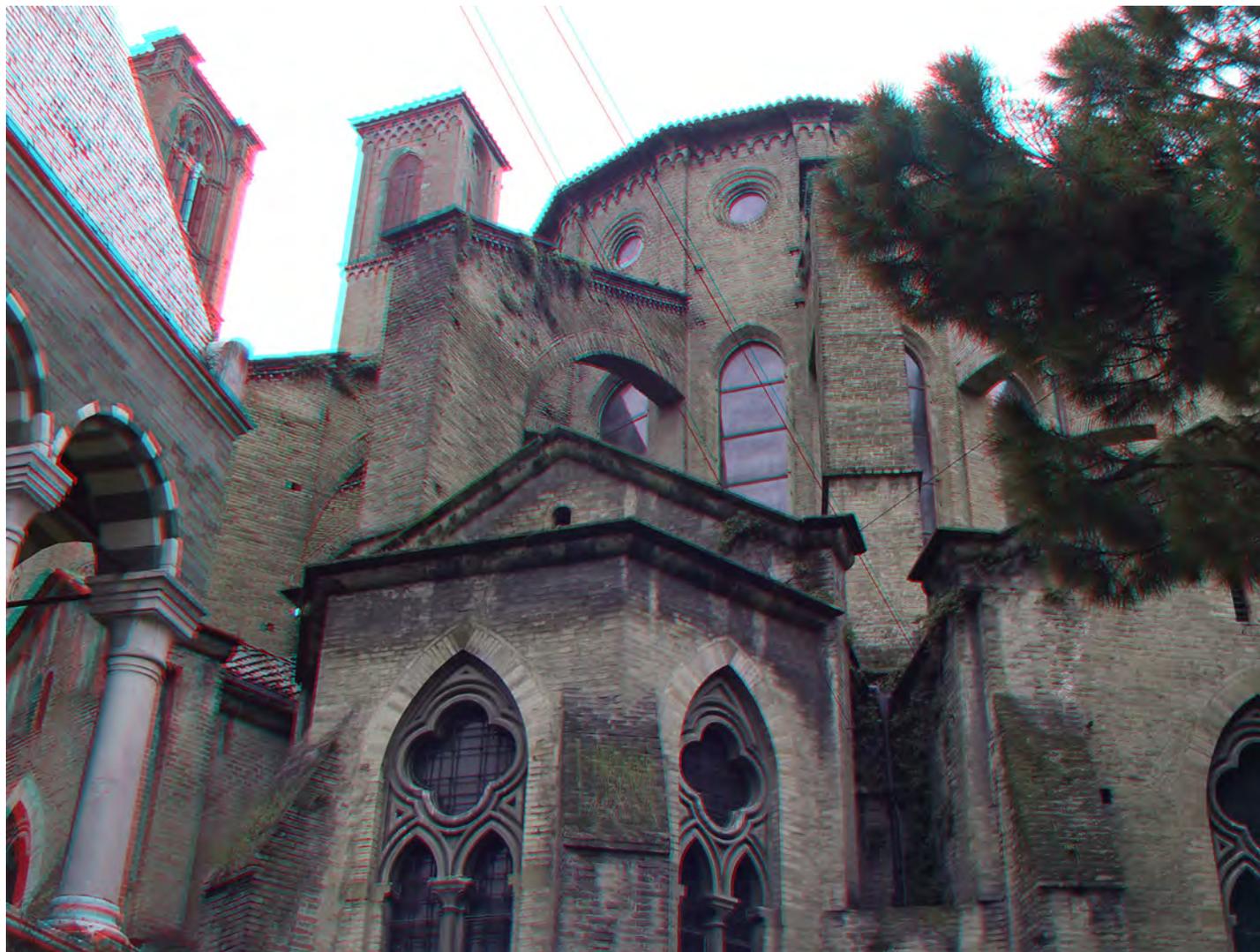
della profondità, come nelle forme dell'architettura. L'anaglifo è stato implementato nei motori di rendering dei più diffusi programmi di modellazione geometrica a questo scopo, consentendo la semplice realizzazione di stereogrammi a partire da immagini di sintesi e trovando un utilizzo di elezione in architettura e cinematografia.

Resta il fatto che un anaglifo non può essere percepito correttamente senza indossare occhiali filtranti (figura 3): per ovviare a questa criticità diverse tecnologie sono state nel tempo sperimentate. Tra queste, merita ricordare il ChromaDepth™, processo brevettato dall'azienda americana Chromatek attraverso il quale la profondità delle immagini viene ot-

Figura 2. Stereogramma o stereocoppia di figura 1, trattata mediante filtri cromatici rosso/ciano per illustrare il principio dell'anaglifo.

Indossando gli appositi occhiali dotati di lenti colorate, ogni occhio percepirà l'immagine ad esso dedicata; pertanto la lente rossa di sinistra renderà nera l'immagine addittiva ciano di destra e viceversa. Quando le due immagini sono fuse in un'unica vista nella quale sia ancora possibile distinguere i due canali (figura 3), appare lo sdoppiamento visivo che consente la percezione di una profondità.

Figura 3. Immagine anaglifa dell'abside esterno della basilica di San Francesco, complesso ecclesiale del XIII secolo a Bologna (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011).



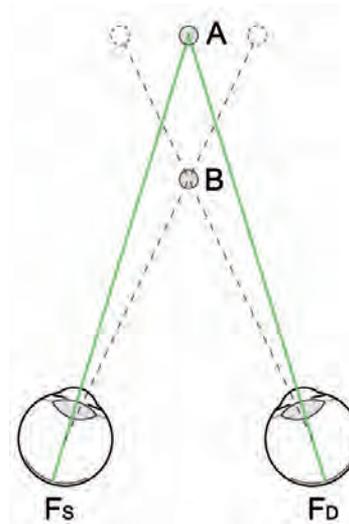


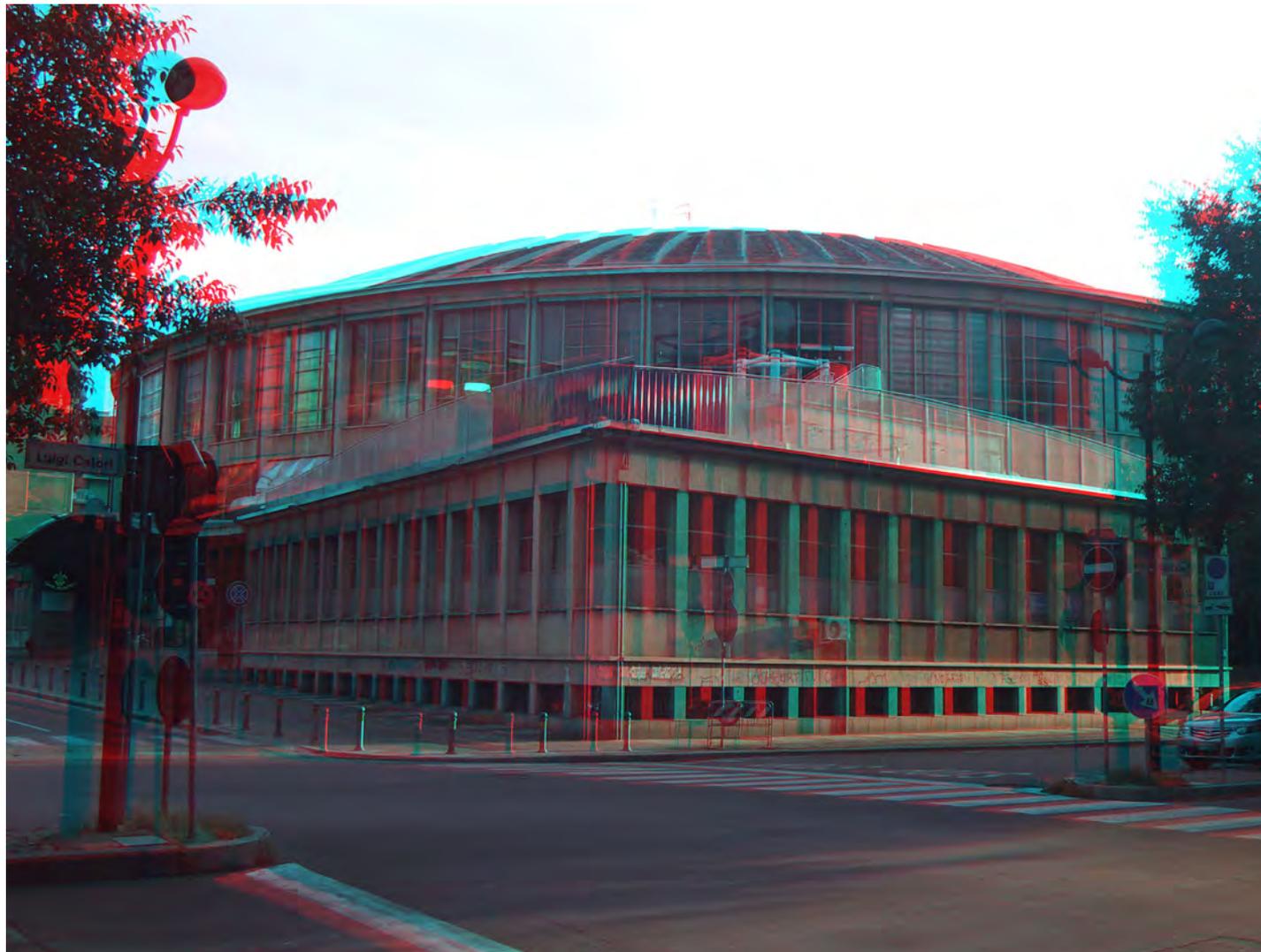
Figure 4 e 5. A sinistra, immagine anaglifca di Piazza Galvani, a Bologna, realizzata mediante un forte sdoppiamento delle viste pertinenti ai diversi occhi. Tale fenomeno, quando così fortemente accentuato, aumenta la percezione di profili doppi generando un disturbo visivo direttamente connesso alla "diplopia fisiologica". L'osservatore infatti osserva e mette a fuoco un oggetto distante in A (figura 5, a destra) ma se un altro oggetto si trova più prossimo all'osservatore in B appare in diplopia, quindi sdoppiato in posizioni che non sono reali (Fs e Fd sono rispettivamente le fovee di sinistra e destra).

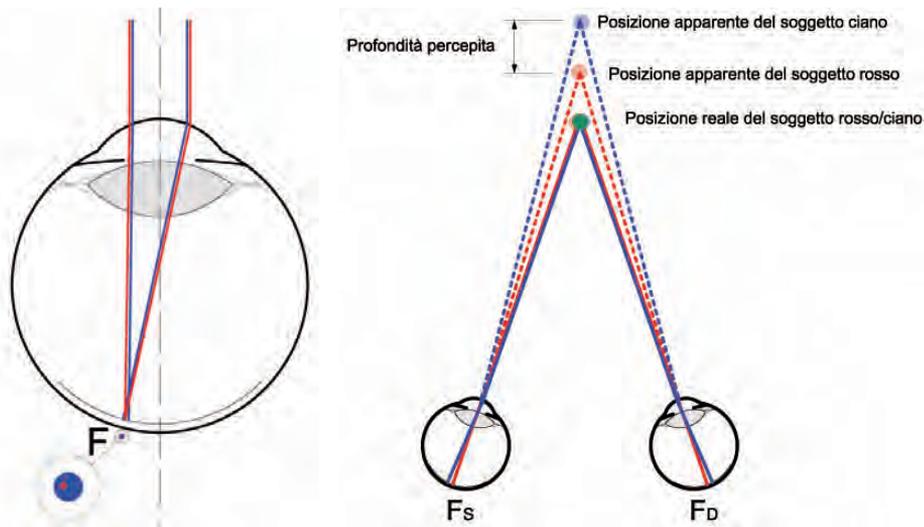
tenuta per mezzo di lenti prismatiche che separano i colori sfruttando un vizio fisiologico dell'occhio umano: l'aberrazione cromatica (figure 7 e 8). Infatti l'indice di rifrazione dei colori rosso e ciano attraverso la cornea è lievemente differente; ciò fa sì che ad esempio un punto rosso concentrico ad un cerchio ciano appaia come leggermente spostato. Estendendo questo slittamento virtuale alla percezione di entrambi gli occhi, si ottiene un'interpretazione cerebrale assimilabile ad una profondità (Fauster, 2007). Un'evoluzione dell'anaglifo, strumentalmente più praticabile rispetto al ChromaDepth, può realizzarsi mediante sistemi di stereoscopia attiva, sostituendo le lenti colorate con oc-

chiali dotati di filtri polarizzati, sincronizzati a schermi o video proiettori ad alta frequenza (Manferdini e Garagnani, 2011). Le viste delle stereocoppie vengono proiettate in veloce successione mentre i filtri (solitamente schermature a cristalli liquidi) occludono la visuale dell'occhio non interessato dall'immagine di riferimento. In tal modo si può favorire ulteriormente l'immersività nei luoghi rappresentati, consentendo di apprezzare quei colori che su disegni particolarmente ricchi di variazioni cromatiche andrebbero inevitabilmente a perdersi con l'anaglifo classico. E' però d'interesse rilevare che su schermi a bassa frequenza, come i dispositivi mobili

quali i tablet pc, i palmari o i telefoni cellulari, è ancora l'anaglifo il metodo più versatile di rappresentazione per gli stereogrammi, realizzabili anche a partire da singole immagini attraverso l'utilizzo di software specifici. Questi operano in generale utilizzando algoritmi di "depth mapping", ovvero mappature grafica a scala di grigi in grado di definire la profondità di ogni pixel e sovrapponibili all'originale con il fine di associare una discriminante di profondità agli elementi per consentire di fatto una separazione laterale (offset) variabile dei colori primari e simulare viste diverse. Nella mappa di profondità i pixel variano dal colore bianco puro (RGB = 255,255,255) al nero profondo (RGB = 0,0,0), a seconda che essi si

Figura 6. Immagine anaglica del Palazzo dello Sport di Piazza Azzarita a Bologna, costruito nel 1956 (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011).





trovino rispettivamente più vicini o più lontani rispetto all'osservatore: generalmente si considerano bianchi quei valori che dovrebbero *uscire dallo schermo*, ovvero generare un effetto molto accentuato di avanzamento verso il punto di stazione, mentre via via sempre sono più scure le porzioni di immagine arretrate. Una gamma molto ampia di grigi sottende un'estesa variabilità dei piani, rendendo il disegno più naturale e aderente alla realtà continua che vuole rappresentare.

La precisa sovrapposizione di una mappa di profondità (*depth map*) ad una sola immagine consente di operare uno sdoppiamento, in parte accentuato secondo la distanza del soggetto dal piano prospettico, per separare le

due viste necessarie a formare la stereocopia, filtrate poi singolarmente nel colore rosso e ciano. In software commerciali come ad esempio Photoshop™ di Adobe Inc. tale processo è realizzato tramite l'applicazione di un filtro di distorsione sulla base del livello a toni di grigi, con preventiva distinzione dei canali cromatici rosso e verde/blu.

LA STEREOCOPIA DIGITALE IN ARCHITETTURA

Nella prima metà del 1600 il matematico francese Desargues formula i principi fondamentali della teoria della prospettiva, aprendo le porte del disegno tridimensionale all'architettura. Le implicazioni che ne conseguono sono importanti, non solamente per la pittura ma

Figure 7 e 8. A sinistra, comportamento fisico delle frequenze luminose rosse e blu con indice di rifrazione differente nel cristallino con conseguente deviazione sulla superficie della retina. Un punto rosso concentrico ad un campo più ampio blu, viene percepito come leggermente fuori asse. A destra, questo comportamento unito all'elaborazione cerebrale della visione binoculare giustifica la percezione apparente dello spazio: questo fenomeno, detto di aberrazione cromatica, è alla base di immagini ottenute mediante sistema CromoDepth™, dove non vi sono sovrapposizioni di contorni ma i soggetti sono trattati con un

filtro cromatico che apposite lenti traducono in apparenti distanze. Lo stesso principio è alla base di programmi informatici che ricostruiscono stereocoppie a partire da un'unica immagine, operando su uno spostamento laterale di pixel i cui colori vengono opportunamente filtrati.

anche per quelle discipline che faranno delle scienze proiettive il fondamento dei propri assunti (Migliari, 2001).

E' il caso della fotogrammetria, sistema consolidato per valutare distanze e misurazioni attraverso immagini fotografiche, anch'esso drammaticamente evoluto in ragione delle tecniche informatiche. Secondo Fondelli la fotogrammetria "*rappresenta ormai uno strumento di acquisizione di dati metrici e tematici tra i più affidabili e più immediati, e va estendendo sempre più la sua diffusione e le sue applicazioni*" (Fondelli, 1992).

La fotogrammetria si avvale dunque di stereocoppie per ricavare dati dimensionali dalle immagini, di grande importanza in architettura.



Figura 9. Scorcio anaglifico della fontana del Nettuno e di Palazzo d'Accursio a Bologna, ripresi dall'arco interno di Palazzo Re Enzo (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011).

tura dacché consentono descrizioni grafiche e numeriche pertinenti, assicurando la possibilità di istituire periodici e sistematici controlli degli ammaloramenti ai fini della salvaguardia e della conservazione del patrimonio costruito. Elaborando informazioni numeriche quali la distanza tra gli obiettivi (*baseline*), la loro lunghezza focale e la correzione degli errori ottici, si possono applicare algoritmi di calcolo iterativo come il noto bundle adjustment per definire la posizione e l'orientamento degli apparecchi fotografici rispetto ai soggetti e conseguentemente distanze e angoli. Il calcolatore ha permesso ancora una volta di amplificare le potenzialità del metodo, ricavando dalle immagini dense nuvole di punti misurati,



Figura 10. Immagine anaglifca che ritrae la sommità della torre degli Asinelli a Bologna, inquadrata da via Castiglione (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011).

secondo un approccio impensabile fino a poco tempo fa (Remondino, El-Hakim et al., 2008). La visione diviene in questo modo strumento di valutazione preciso e disambiguo, ricavandone quello che Marco Frascari nel suo libro *Monsters of Architecture* definisce come un metodo antropomorfo in grado di relazionare l'uomo e la sua percezione allo spazio costruito, approccio fondamentale da tenere nella produzione della moderna architettura. Egli afferma che l'uomo dev'essere una presenza corporea interna all'idea di architettura stessa, anche quando questa è ancora nella fase concettuale, destinata ad essere poi formalizzata e sviluppata attraverso la pratica dei disegni architettonici successivi (Frascari, 1991).



Figura 11. Immagine anaglifca che ritrae il portico di via San Felice a Bologna (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011). Elementi contenenti vari piani prospettici in sequenza si prestano molto bene alla resa della profondità mediante l'anaglifo.

Nei lavori di stereoscopia di Char Davies invece, emerge un conflitto tra una sensazione corporea di uno spazio virtuale, immateriale e la rappresentazione visuale del contenuto stereoscopico. Nella loro consultazione infatti, è sotteso un processo di iscrizione contestuale dell'osservatore, processo che si verifica a livello inconscio, all'interno del quale chi osserva l'immagine è catturato dalla virtualità dei paesaggi ed è trasportato da essi senza la possibilità di partecipare realmente alle scene rappresentate. Tuttavia, sia la Davies che Frascari intendono condividere un desiderio comune di rendere visibile l'invisibile: l'uno promuove l'utilizzo del paradigma del corpo umano come componente integrale ed imprescindibile del processo di



Figura 12. Immagine anaglica dell' Arca di Ronaldino dei Romanzi, glossatore del 1200, presente all'esterno della Basilica di San Francesco a Bologna (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011).

creazione dell'architettura, l'altro introduce l'osservatore degli spazi costruiti come un'entità facente parte di un tutt'uno immutabile della scena e non un fruitore percettivo interagente (Jasmann e Andonian, 2003). Riscoprire così un metodo ben collaudato di rappresentazione come la stereoscopia, rivisitata seguendo algoritmi e processi propri del calcolatore, è di grande vantaggio dal momento che permette questa immedesimazione virtuale, con un impiego di risorse tutto sommato modeste per produrre le stereocopie.

CONCLUSIONI

Le tecniche di digitalizzazione codificate e la possibilità di presentare e catalogare grandi

quantità d'informazioni attraverso la rete internet, fanno della rappresentazione informatizzata un potente mezzo di condivisione della conoscenza architettonica e di comunicazione progettuale.

L'applicazione delle tecniche computazionali ad immagini volte a descrivere il paesaggio urbano o le emergenze architettoniche, coniate alle citate modalità di visualizzazione stereoscopica, costituiscono una reinterpretazione che della rete può fare largo utilizzo per la loro diffusione. Questo approccio contribuisce a rinnovare efficacia e l'interesse per una pratica, quella del disegno, la cui evoluzione può continuare a valorizzare ancora metodi basati su tecniche grafiche collaudate.

La visualizzazione stereoscopica di scenari complessi è capace di coinvolgere l'osservatore in modo percettivamente intenso, pur non ricorrendo alle sofisticate simulazioni tridimensionali dei moderni modelli virtuali e senza far uso di realtà aumentate in tempo reale dal computer. Il semplice anaglifo, ottenibile con facilità utilizzando applicativi software diffusi oppure fotocamere stereoscopiche digitali di semplice ed economica reperibilità, ha ancora un grande potenziale espressivo, in particolare se declinato alla moderna tecnologia mobile, dove può essere apprezzato su semplici apparecchi come telefoni cellulari, tablet pc o palmari senza implicare investimenti in tecnologie attive come esposte nel corso di questo contributo.



Figura 13. Immagine anaglifica della recente realizzazione "la Casa Bianca" di via Riva Reno a Bologna (scatto e successiva elaborazione dell'autore, 2011).

Una tecnica proiettiva che descrive lo spazio come l'anaglifo può documentare con efficacia l'esistente, anche in funzione di un controllo di qualità urbana che non sempre sembra progettato con consapevolezza.

BIBLIOGRAFIA

WHEATSTONE, Charles. 1838. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomenon of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 128. London.

CANEVA, Giacomo, 1855. Della fotografia, trattato pratico di Giacomo Caneva pittore prospettico. Roma.

VALYUS, Nikolai. 1966. *Stereoscopy*. Focal Press. London.

FRASCARI, Marco. 1991. *Monsters of architecture - Anthropomorphism in architectural theory*. Rowman and

Littlefield Publishers, Inc. Lanham, Maryland.

FONDELLI, Mario. 1992. *Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica*. Ed. Laterza. Roma.

MAFFIOLI, Monica, 1999. La stereoscopia nella produzione degli stabilimenti fotografici dei Fratelli Alinari e di Giacomo Brogi. *AFT, Rivista di storia e fotografia* (30).

MIGLIARI Riccardo. 2001. *Frontiere del Rilievo, dalla matita alle scansioni 3D*. Gangemi Editore. Roma.

SCHARSTEIN, Daniel e SZELISKI, Richard. 2002. *A Taxonomy and Evaluation of*

Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms. *IJCV* 47(1/2/3), pp. 7-42.

JASMANN, Schawn e ANDONIAN, Greg. 2003. *Architecture and the Stereoscopic Space of Experience*. Proceedings of the 7th Iberoamerican Congress of Digital Graphics SIGraDi. Rosario. Argentina.

ROBERTS, David. 2003. *History of Lenticular and Related Auto-stereoscopic Methods*. Leap Technologies. Hillsboro. pp. 16.

FAUSTER, Loris. 2007. *Stereoscopic techniques in computer graphics*. TU Wien.

REMONDINO, Fabio, EL-

HAKIM, Sabry F., ZHANG, Li e GRUEN, Armin. 2008. Turning images into 3-D models. *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 25, No. 4, pp. 55-64.

MILLODOT, Michel. 2009. *Dictionary of Optometry and Visual Science*. 7th edition. Butterworth-Heinemann. Oxford.

MANFERDINI, Anna Maria e GARAGNANI, Simone. 2011. Digital exhibition and fruition of archaeological finds. Proceedings of 4th International Workshop 3D-ARCH 2011 "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures". Trento.