



Ramona Feriozzi
Dottore di Ricerca in "Scienze della Rappresentazione e del Rilievo". Gli interessi di ricerca, oltre a riguardare aspetti operativi e teorici nel campo del disegno e del rilievo d'architettura, sono incentrati in particolare sullo studio del parametricismo per la generazione automatica di spazi virtuali destinati all'esposizione.



Graziano Mario Valenti
Professore Associato della Sapienza "Università di Roma". La sua attività di ricerca è focalizzata sulle applicazioni delle nuove tecnologie alle discipline del rilievo del disegno e della comunicazione visiva. Relatore e revisore per conferenze internazionali, è autore di diversi contributi nell'ambito del rilievo e della modellazione digitale.

Procedure parametriche per la conformazione di musei virtuali pluridimensionali

Parametric Procedures to Create Multi-dimensional Virtual Museums

La parola museo ha assunto un'accezione più ampia nei musei virtuali. Poiché essi si generano in uno spazio, appunto, virtuale, hanno caratteristiche completamente diverse da quelli reali. Per questo motivo alla luce delle possibilità offerte da un tale spazio, il museo virtuale è stato immaginato come un luogo multidimensionale che, pur esistendo in una dimensione non percepibile dall'uomo, si traduce in uno spazio tridimensionale in continua mutazione. Le tecnologie digitali per il controllo degli spazi in ambiente parametrico offrono difatti notevoli possibilità nella generazione di "architetture" dinamiche e riconfigurabili. Se tale riorganizzazione è controllata dall'utente, è possibile ottenere un museo al servizio del visitatore.

The word museum has a wider use in virtual museums. Since these museums are generated within a virtual space, their characteristics are completely different from real museums. For this reason, in light of the possibilities offered by such a space, the virtual museum is imagined as a multi-dimensional place that, while existing in a dimension that is imperceptible to people, is represented in a continuously changing three-dimensional space. The digital technologies used to control the spaces in a parametric environment offer notable possibilities in generating dynamic, reconfigurable "buildings". If the reorganization is controlled by the user, it is possible to create a different museum for each visitor.

parole chiave: museo generativo, modellazione parametrica, spazio virtuale, data visualization, data spatialization

key words: generative museum, parametric modeling, virtual space, data visualization, data spatialization

INTRODUZIONE

Il contesto delle riflessioni da cui origina lo studio è quello delle relazioni tra Beni Culturali e tecnologie digitali, nel particolare della simulazione virtuale dello spazio delle istituzioni museali: un ambito di approfondimento ove, ad oggi, sembra difficile portare innovazioni sostanziali.

In generale le esperienze dei musei virtuali si ispirano a fruizioni analoghe a quelle reali finendo per proporre tutte le problematicità: il metodo espositivo è simile a quello tradizionale, con le opere organizzate secondo microcosmi separati, i percorsi solo interni al museo seppur virtuale, le relazioni imprigionate nel ristretto ambito del genere e della disciplina dell'opera esaminata e, soprattutto, le modalità di fruizione e di esplorazione per lo più reiterano quelle degli spazi, delle forme e dei modi del mondo reale. Invero, gli esiti dell'indagine svolta sulle soluzioni di tali questioni nel mondo fisico non possono essere identicamente applicati anche a quello virtuale. I due campi, infatti, sono ontologicamente diversi al punto che, ciò che emerge come valido per l'uno si rivela, viceversa, limitante per l'altro, proprio perché la sua natura è tale da ammettere un'infinità di soluzioni più efficaci.

Secondo Francesco Antinucci i compiti del museo sono tre: conservare, studiare ed esporre [1]. In un museo virtuale, che per sua natura non può contenere opere materiali ma solo rappresentazioni di esse, vengono meno i primi due compiti mentre diviene centrale il terzo, ovvero quello di esporre. Poiché lo scopo dell'esposizione è quello di trasmettere cultura, un museo virtuale potrebbe essere definito una macchina per comunicare. Il processo di informazione è separato dal mezzo attraverso cui si attua, ma ne è profondamente

influenzato, poiché da esso dipenderà l'immediatezza della comunicazione. Ancora oggi, la comunicazione delle informazioni avviene prevalentemente attraverso supporti bidimensionali come le pagine di un libro. Nel passaggio dal libro alle pagine caratteristiche del web, sul piano percettivo non avviene un cambiamento significativo pari all'innovazione tecnologica che lo consente. Così, sia sulla carta, sia sullo schermo, la parola scritta e l'immagine restano ancora i punti di forza della comunicazione. Solo la natura di ipertesto costituisce un primo esempio di terza dimensione che, come un wormhole [2], piega il piano dell'informazione scritta e permette di 'saltare' da una parte all'altra del foglio. La tridimensionalità, invece, viene oggi utilizzata so-

prattutto per riprodurre gli spazi espositivi realmente esistenti; essendo queste riproduzioni vincolate ad uno spazio espositivo che coincide con la loro architettura ne presentano le stesse limitazioni. Anche la loro staticità condiziona inevitabilmente l'esposizione.

LA RAPPRESENTAZIONE DELL'INFORMAZIONE NELLO SPAZIO VIRTUALE

La ricerca si è posta come obiettivo generale quello di indagare la disciplina della "rappresentazione" quale dispositivo per la comunicazione di informazioni visuali strutturate che, disponendosi in relazione all'esperienza/richiesta del visitatore, definiscono la configurazio-



Fig. 1. Schema della sequenza di generazione dello spazio a partire dai dati.

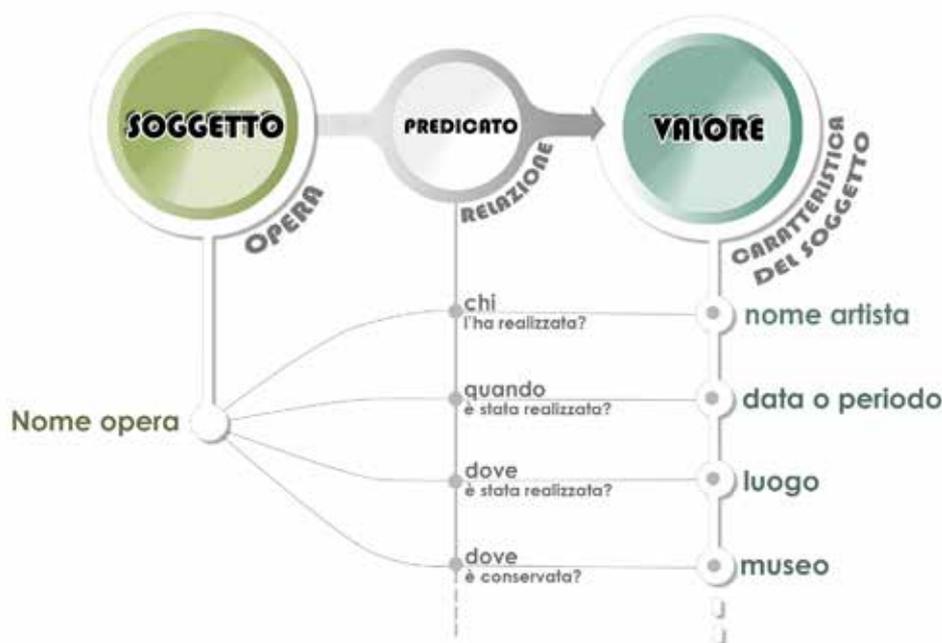


Fig. 2. Schema raffigurante i rapporti relazionali tra soggetti e valori.

ne dello spazio virtuale. In questa direzione la ricerca ha esplorato in particolare le tecnologie digitali utili al controllo degli spazi in ambiente parametrico. Queste offrono la possibilità di controllare la generazione di "architetture" dinamiche e riconfigurabili nello spazio virtuale. Lo spazio parametrico si trasforma secondo regole dipendenti da parametri. Le regole sono imposte ma i parametri sono variabili e quelli del museo virtuale corrispondono ai criteri di disposizione nello spazio delle informazioni. La molteplicità di informazioni variabili coinvolte nella generazione definiscono un campo multidimensionale che supera i confini dello spazio fisico tridimensionale. È così possibile sostituire alla sequenzialità tradizionale dell'esposizione dei musei fisici una molteplicità di narrazioni che convivono nello stesso spazio virtuale.

Lo spazio virtuale multidimensionale, oltre che una lunghezza (x), una larghezza (y) e un'altezza (z), consente la definizione di ulteriori parametri, per esempio finalizzati a rendere disponibili diversi livelli di lettura. Si tratterà quindi di uno spazio tridimensionale riconfigurabile secondo le modalità di aggregazione delle opere che l'utente sceglierà.

Il visitatore è il protagonista e il museo si plasma attorno alle sue scelte: al variare dei dati di partenza, ossia dei criteri di aggregazione delle informazioni da fruire, una procedura parametrica produrrà ogni volta un diverso spazio espositivo ottimizzato.

Per ottenere questo risultato la ricerca si è concentrata intorno a tre ambiti d'indagine (Fig. 1):

- le opere e la loro disposizione nello spazio;
- il tipo di spazio da generare dopo la collocazione delle opere;
- la procedura geometrica che genera lo spazio individuato nel punto precedente.

Lo spazio virtuale è inoltre libero da particolari direzionalità endogene come quella verticale espressa dalla gravità non essendo essa una sua caratteristica intrinseca; di conseguenza le informazioni sono posizionabili verso ogni direzione senza restrizioni.

I punti-informazione disposti nello spazio possono essere rapportati tra loro secondo una logica di prossimità che avvicina le opere simili e allontana quelle diverse. In un museo virtuale possono coesistere più logiche espositive poiché i parametri di lettura possibili sono molteplici.

	pol.1	pol.2	pol.3	pol.4	pol.5	pol.6	pol.7	pol.8	pol.9	pol.10	pol.11	pol.12	pol.13	pol.14	pol.15	pol.16	pol.17	pol.18	pol.19
immagine associata																			
raggio	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	5	5	6	6	7	7	7
n. lati	3	4	8	7	8	3	4	6	7	8	4	5	3	5	3	7	5	8	8
colore	verde	rosso	blu	bianco	blu	giallo	azzurro	verde	giallo	bianco	giallo	azzurro	giallo	verde	rosso	azzurro	blu	magenta	rosso

Fig. 3. Catalogazione dei poligoni da spazializzare.

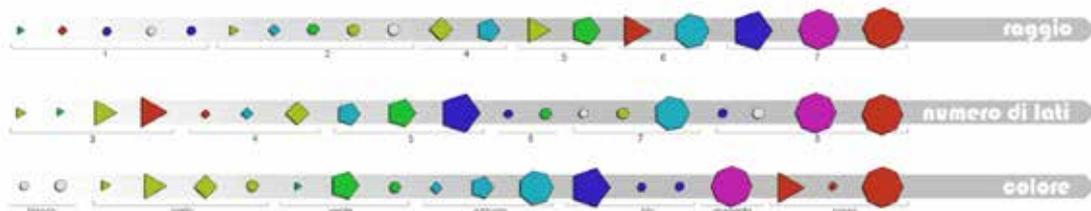


Fig. 4. Poligoni dell'esempio ordinati prima per dimensione del raggio, poi per numero di lati e infine per colore.

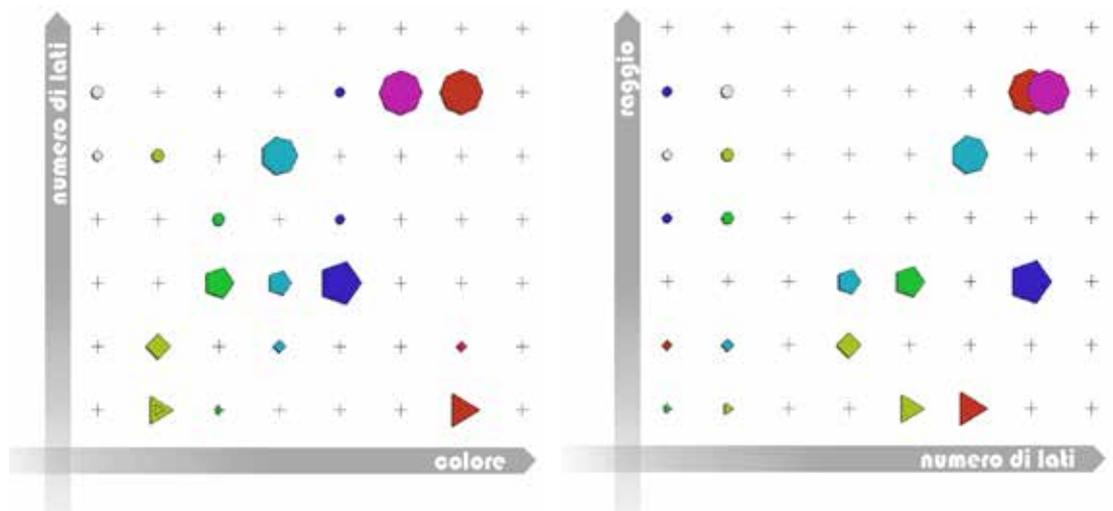


Fig. 5. Disposizioni nel piano dei poligoni dell'esempio secondo colore e numero di lati (sinistra) e secondo raggio e numero di lati (destra).

In questa sperimentazione l'utente potrà organizzare il museo scegliendo solo tre caratteristiche (parametri) su una moltitudine di possibilità. Queste possibilità possono corrispondere a diverse qualità descrittive di un'opera pertanto l'ideazione di un museo di questo tipo presuppone l'esistenza di un database di opere catalogate.

È possibile catalogare le opere-informazioni del museo secondo la logica del web semantico [3] dove le informazioni sono definite da asserzioni costituite da soggetti, predicati e valori: il soggetto dichiara il nome della singola opera d'arte mentre il valore è una caratteristica dell'opera la cui relazione con il soggetto è espressa dal predicato.

Nel grafico dell'esempio (Fig. 2) vengono citati alcuni tipi di relazione tra soggetto e valore. Questa lista è teoricamente ampliabile all'infinito. La spazializzazione delle opere sarà eseguita secondo tre di queste relazioni scelte dall'utente finale secondo i propri interessi. Per comprendere meglio i rapporti spaziali tra i punti-informazioni, il problema è stato semplificato su un piano, considerando solo due parametri anziché tre.

La scelta delle opere campione non è ricaduta sulle opere d'arte poiché la loro catalogazione avrebbe costituito un ulteriore problema che esula dall'oggetto di studio di questa ricerca. Si è scelto invece di utilizzare delle semplici forme geometriche che, in quanto tali, hanno caratteristiche perfettamente misurabili. In particolare è stato utilizzato un campione di poligoni regolari (Fig. 3) catalogati secondo tre criteri: il numero di lati, il raggio del cerchio circoscritto e il colore. La figura mostra i valori associati ai poligoni (pol.1, pol.2, ecc.) per ognuno dei tre predicati (raggio, numero dei lati e colore) e l'immagine ad essi associata. L'immagine costituisce la rappresentazione virtuale dell'opera originale; in questo caso esemplificativo si tratta di forme bidimensionali colorate ma, in un contesto più complesso, l'immagine potrebbe essere sostituita da un modello tridimensionale o da qualsiasi informazione digitalizzabile.

In un museo reale generalmente l'esposizione avviene in maniera lineare secondo un solo parametro: gli oggetti dell'esempio potrebbero essere collocati secondo uno dei tre criteri caratteristici delle figure. In questo modo ogni elemento sarà in rapporto solo con il pre-

cedente e con il conseguente, ogni altra connessione è esclusa.

Utilizzando due parametri la complessità delle relazioni sale esponenzialmente. Si veda ad esempio la spazializzazione dei poligoni per colore e per numero di lati: ogni elemento è in relazione con quelli soprastanti e sottostanti, con i quali condivide il colore, ma anche con quelli a destra e sinistra con cui condivide invece il numero di lati.

Si avrà una zonizzazione leggibile in ogni direzione. Ad esempio in basso a sinistra si posizionano i poligoni con meno lati e con colori più tenui (bianco e giallo) mentre in alto a destra si trovano i poligoni con più lati e con colori tendenti al rosso.

Si nota una particolarità nella prima riga in basso alla seconda colonna: poiché i triangoli gialli sono due, la loro posizione nella griglia (in relazione a questi parametri) è la stessa e dunque i due elementi sono sovrapposti. Questa condizione, nell'ottica di un museo virtuale formato da molteplici spazi, non costituisce un problema: se in ogni stanza fosse esposta una sola opera, i due triangoli gialli si troverebbero affiancati nello stesso ambiente poiché i valori di ognuno, in riferimento ai predicati di spazializzazione, sono identici e dunque sarebbe corretto fruire le due opere contemporaneamente.

Ma questo tipo di ordinamento non è l'unico possibile. Come detto in precedenza i parametri possono essere modificati per generare un museo diverso delle stesse opere. Nel caso dei poligoni dell'esempio, i due triangoli gialli si troverebbero molto distanti se gli elementi fossero posizionati per raggio e numero di lati. In questa nuova configurazione, in basso a sinistra si posizionano i poligoni con meno lati e con raggio minore, in alto a destra invece si collocano quelli con più lati e raggio maggiore. Stavolta le forme che si sovrappongono sono i due ottagoni con lo stesso raggio. Anche se le due forme hanno colori diversi, esse sono uguali secondo i due parametri che le ordinano.

In queste griglie l'ordine di fruizione è libero ma consapevole poiché l'utente conosce i parametri di ordinamento lungo le righe e lungo le colonne. Maggiore complessità si ottiene aggiungendo anche la terza dimensione (e quindi un terzo criterio).

Una volta posizionati i punti-informazione è necessario

studiare la modalità di divisione dello spazio. Si tratta ovvero di un problema di tassellazione. Tra le infinite possibili tassellazioni, ai fini della sperimentazione, la scelta finale è ricaduta sui diagrammi di Voronoi poiché permettono di operare una suddivisione a partire da punti come quelli che si ottengono dopo la spazializzazione dei punti-informazioni.

Poiché si tratta di uno spazio tridimensionale, e non di un piano, i diagrammi di Voronoi non produrranno poligoni, bensì poliedri. Ogni faccia di questi poliedri è una porzione del piano perpendicolare al segmento di congiunzione tra due punti e passante per il punto medio di tale segmento. Le regioni di Voronoi tridimensionali sono dette celle se racchiudono una porzione finita di spazio. Questo accade quando il numero di punti è sufficientemente ampio da generare piani che, intersecandosi tra loro formano un poliedro. Nel museo virtuale, ad ogni poliedro corrisponde una stanza espositiva contenente un'unica opera e confinante con altre cellule che, a loro volta, contengono le altre opere-risultato della ricerca. L'utente può navigare virtualmente da una cella all'altra e visualizzare gli oggetti esposti, 3D o 2D, ottenendo direttamente da essi, tramite link ad altri elementi multimediali, le informazioni che li riguardano.

Il controllo della forma passa attraverso un algoritmo che, a partire da punti posizionati nello spazio, genera aree di competenza relative ad ogni punto secondo le regole della tassellazione di Voronoi. Le regioni spaziali che ne risultano sono poliedri estremamente

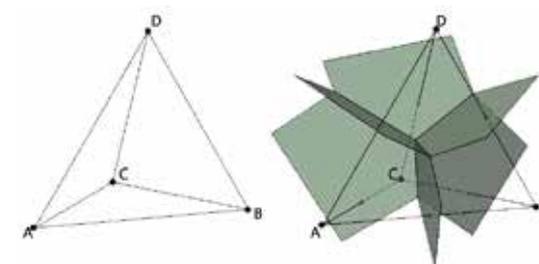


Fig. 6. Diagramma di Voronoi relativo a quattro punti nello spazio. I sei piani che suddividono lo spazio sono normali ai segmenti che connettono i punti e passano per il loro punto medio.

irregolari. Se da un lato la complessità delle geometrie prodotte amplifica le connessioni all'interno dello spazio virtuale, dall'altro gli spazi troppo angusti o quelli troppo ampi rendono difficile, se non impossibile, la navigazione del museo e la fruizione delle opere. Inoltre, poiché in un poliedro generato dalla procedura di Voronoi ogni faccia del solido appartiene contemporaneamente a due stanze, essa è l'unica connessione tra i due spazi e deve perciò risultare abbastanza estesa da permettere la navigazione.

Queste considerazioni sono state fondamentali nell'implementazione dell'algoritmo che genera le geometrie di Voronoi al fine di creare spazi comunque complessi ma più bilanciati e che rispettino i requisiti minimi di fruibilità.

Poiché l'uomo è un essere tridimensionale, non può percepire la quarta dimensione spaziale ma solo osservarne la sua proiezione nella terza dimensione. Questa proiezione varia con lo spostamento del punto di vista e poiché i punti di vista sono infiniti, anche le proiezioni 3D di un oggetto 4D sono infinite.

Per comprendere questo concetto basta prendere come esempio un cubo tridimensionale. Esso ha infinite rappresentazioni bidimensionali a seconda della

direzione di proiezione. Allo stesso modo un ipercubo, un cubo a quattro dimensioni, ha infinite rappresentazioni nello spazio 3D. In generale un oggetto 4D potrebbe generare infiniti spazi 3D in continua variazione. Un museo virtuale quadridimensionale, analogamente, comprende tutte le sue possibili configurazioni tridimensionali. Lo spazio virtuale può dunque essere mutevole e consentire un riassetto continuo degli spazi.

In un museo virtuale quadridimensionale, le opere sarebbero disposte contemporaneamente secondo tutti i criteri possibili; è interesse del fruitore scegliere quale alternativa visualizzare e materializzare tridimensionalmente.

Si può dunque immaginare un'esposizione virtuale, non come una successione di spazi statici e determinati, ma come un continuo processo creativo. Un museo virtuale è la rappresentazione tridimensionale "dell'infinita ricchezza di articolazioni e rapporti esistenti nelle quattro dimensioni" [4].

LIBERTA' PECULIARI DELLO SPAZIO VIRTUALE

Nello spazio virtuale non valgono più le regole dell'architettura tradizionale e gli spazi del museo sono liberi

di configurarsi in ogni direzione. In questo campo non ha senso affannarsi nella ricerca di forme strutturalmente plausibili: le connessioni tra i punti-informazioni guidano la generazione delle geometrie senza riguardi per la statica.

I diagrammi di Voronoi tridimensionali scelti per la sperimentazione sono la materializzazione della rete di connessioni concettuali tra le opere. Gli spostamenti sono consentiti non solo nel piano xy ma anche lungo l'asse z, offrendo un ulteriore criterio relazionale tra le stanze del museo e quindi tra le opere d'arte. È proprio la mancanza di gravità che permette il superamento della logica di lettura lineare a favore di quella reticolare. Questa rete di connessioni è geometricamente rappresentata dalla tetraedralizzazione di Delaunay che connette tra loro i punti-informazioni secondo una logica matematica. Le cellule di Voronoi che si generano sono duali [5] ai tetraedri di Delaunay, il che si traduce materialmente in stanze espositive (cellule di Voronoi) i cui confini sono piani perpendicolari ai segmenti che connettono i punti-informazioni (spigoli dei tetraedri di Delaunay) e che formano la rete di relazioni. Questo significa che ogni cellula di pertinenza di un'opera ha tante facce quante sono le opere contigue

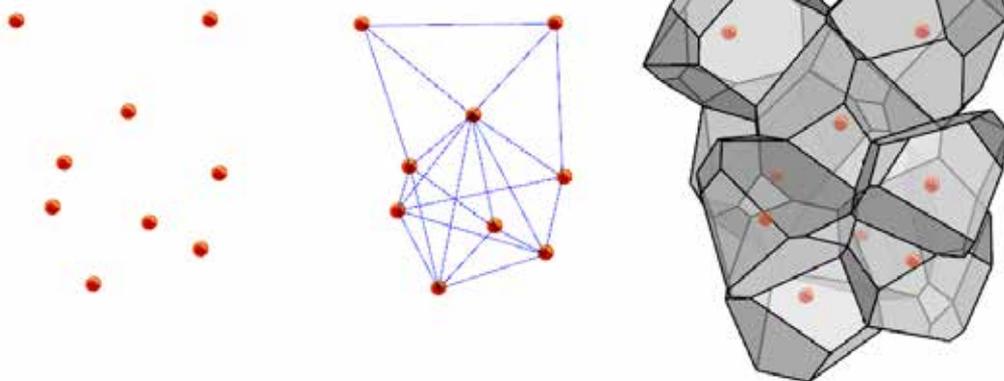


Fig. 7. Tetraedralizzazione di Delaunay e cellule di Voronoi generate da una serie finita di punti disposti nello spazio 3D. La rete di Delaunay corrisponde a tutti i possibili percorsi all'interno del museo.

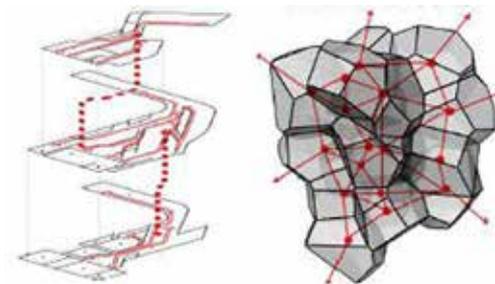


Fig. 8. Percorsi a confronto: a sinistra il percorso lineare del museo classico, a destra la rete di relazioni di quello virtuale.

a cui è connessa. Le facce delle cellule dunque hanno una doppia valenza: da un lato indicano il limite dello spazio di pertinenza relativo ad ogni punto, dall'altro sono l'interfaccia di comunicazione con la cellula adiacente e quindi con l'opera in essa contenuta.

In definitiva uno spazio virtuale senza gravità permette di accedere e visualizzare contemporaneamente una moltitudine di informazioni e favorisce la comunicazione su tre livelli:

- facilita le connessioni globali tra i punti-informazioni perché consente spostamenti in ogni direzione dello spazio;
- permette di visualizzare i modelli tridimensionali delle opere da ogni punto di vista e quindi favorisce la conoscenza dell'oggetto;
- consente di accedere alle informazioni sull'opera mentre ci si muove attorno ad essa tramite un'interfaccia 3D dinamica.

Con l'aggiunta della quarta dimensione, la trama dei flussi nel museo non si esaurisce in un'unica configurazione: variando i parametri di disposizione dei punti-

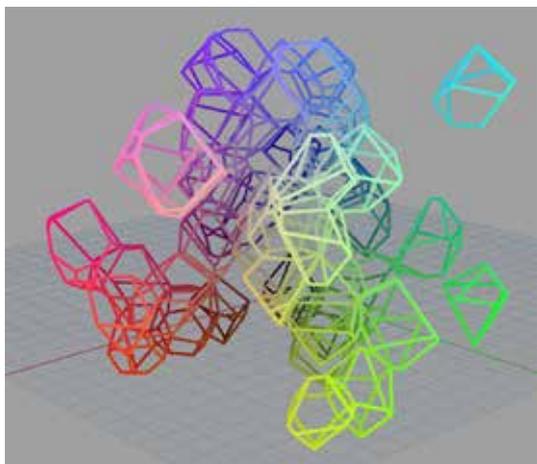


Fig. 9. Pipe colorati secondo la loro posizione nello spazio: il rosso è stato utilizzato lungo l'asse x, il verde lungo y e il blu lungo z.

<http://disegnarecon.univaq.it>

opere, le cellule di Voronoi si riorganizzano "scorrendo le une sulle altre e mutando la loro forma" fino al raggiungimento della nuova disposizione.

La transizione riorganizza i poliedri sempre partendo dai punti-informazioni. La modifica dei parametri di disposizione delle opere porta ad una struttura geometrica differente dalla precedente. Dopo la riconfigurazione spaziale del museo, il visitatore, consapevole del cambiamento, continua la visita in un museo completamente nuovo con differenti relazioni che dettano le logiche di prossimità tra le opere. Questa modifica dipende dalla volontà di un utente che apprende durante la navigazione e che, forte della conoscenza acquisita nella prima visita, sceglie di rivedere la logica espositiva per ampliare ulteriormente le sue competenze. È un processo dialettico tra il visitatore e il dispositivo museale.

ORIENTAMENTO

Orientarsi all'interno dello spazio è fondamentale per comprendere la relazione tra le opere spazializzate ma, in una geometria irregolare senza una direzione di fruizione privilegiata, il compito diventa arduo.

Il senso dell'orientamento non è "una passiva relazione tra essere umano e spazio circostante" [6] ma un processo attivo che sfocia nella costruzione di una rappresentazione mentale dello spazio. Per questo l'esperienza dei luoghi e la memoria sono fondamentali nella capacità dell'individuo di orientarsi.

Questa possibilità è però negata al visitatore del museo virtuale parametrico che si troverà a visitare un ambiente ogni volta nuovo. Per questo, in una tale incertezza distributiva, è stato di cruciale importanza inserire delle invarianti che non snaturino i principi del museo. Si è scelto perciò di ricorrere ai colori: le cellule del museo - pur spostandosi e variando di forma continuamente - si organizzano rispetto ad un sistema di assi (x,y,z) che invece è costante. Grazie a questa caratteristica è possibile assegnare un colore fisso ad ogni punto dello spazio - indipendentemente dall'architettura del museo - e fare in modo che alle strutture sia attribuito il colore del punto in cui vengono generate. Il modello di colori RGB riproduce lo spettro del visibile assegnando un valore, da 0 a 255, ad ognuno dei

tre canali (red, green, blue). Poiché anche gli assi ortogonali che definiscono lo spazio sono tre, questo modello si è rivelato il più adatto allo scopo. Le strutture museali avranno perciò tutte la stessa colorazione, pur essendo diverse tra loro. Il visitatore saprà, ad esempio, che muovendosi lungo l'asse x la gradazione verde diventerà più o meno intensa, lungo y e quella blu, mentre spostandosi verso l'alto aumenterà la componente rossa delle stanze.

Inoltre si è deciso di fornire altre indicazioni di orientamento attraverso la luce. Per questo motivo si è deciso di introdurre una singola fonte luminosa direzionale esterna, avente ruolo di riferimento assoluto, visibile dall'interno grazie alle pareti semi-trasparenti.

APPLICAZIONI SPERIMENTALI

Da queste premesse teoriche, il lavoro è stato portato avanti attraverso sperimentazioni pratiche che hanno condotto alla definizione delle regole geometriche che generano gli spazi e, infine, all'implementazio-

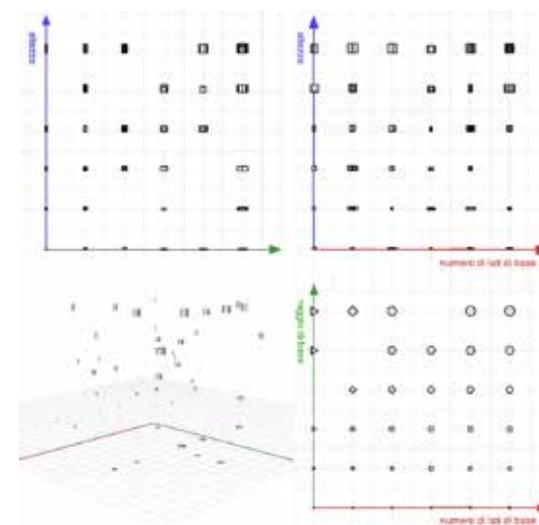


Fig. 10. Proiezioni ortogonali e vista prospettica dei 50 solidi posizionati nello spazio secondo i tre parametri prescelti.

ne dell'algoritmo tramite il sistema nodale prescelto: Grasshopper.

A titolo esemplificativo si è scelto di operare su un insieme casuale di solidi geometrici che hanno caratteristiche perfettamente e oggettivamente misurabili: un eterogeneo gruppo di prismi retti regolari generati casualmente con l'ausilio di un algoritmo. Il dimensionamento minimo e massimo dei solidi è stato pensato a favore di una spazializzazione che mettesse in evidenza le caratteristiche comuni e le differenze tra gli oggetti. Le opere sono state anzitutto catalogate in un database e per ogni prisma è stata compilata una scheda contenente:

- il soggetto, il nome univoco associato ad ogni solido;
- gli oggetti, le categorie corrispondenti alle caratteristiche misurabili (numero dei lati di base, area di base, altezza, area della superficie laterale, raggio del cerchio circoscritto al poligono di base, perimetro di base e volume);
- la rappresentazione del dato (il modello tridimensionale).

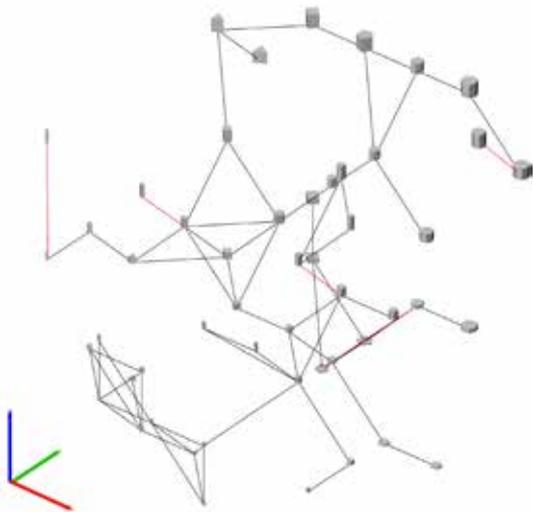


Fig. 11. Diagramma di Delaunay rappresentante la rete di connessioni all'interno del museo.

<http://disegnarecon.univaq.it>

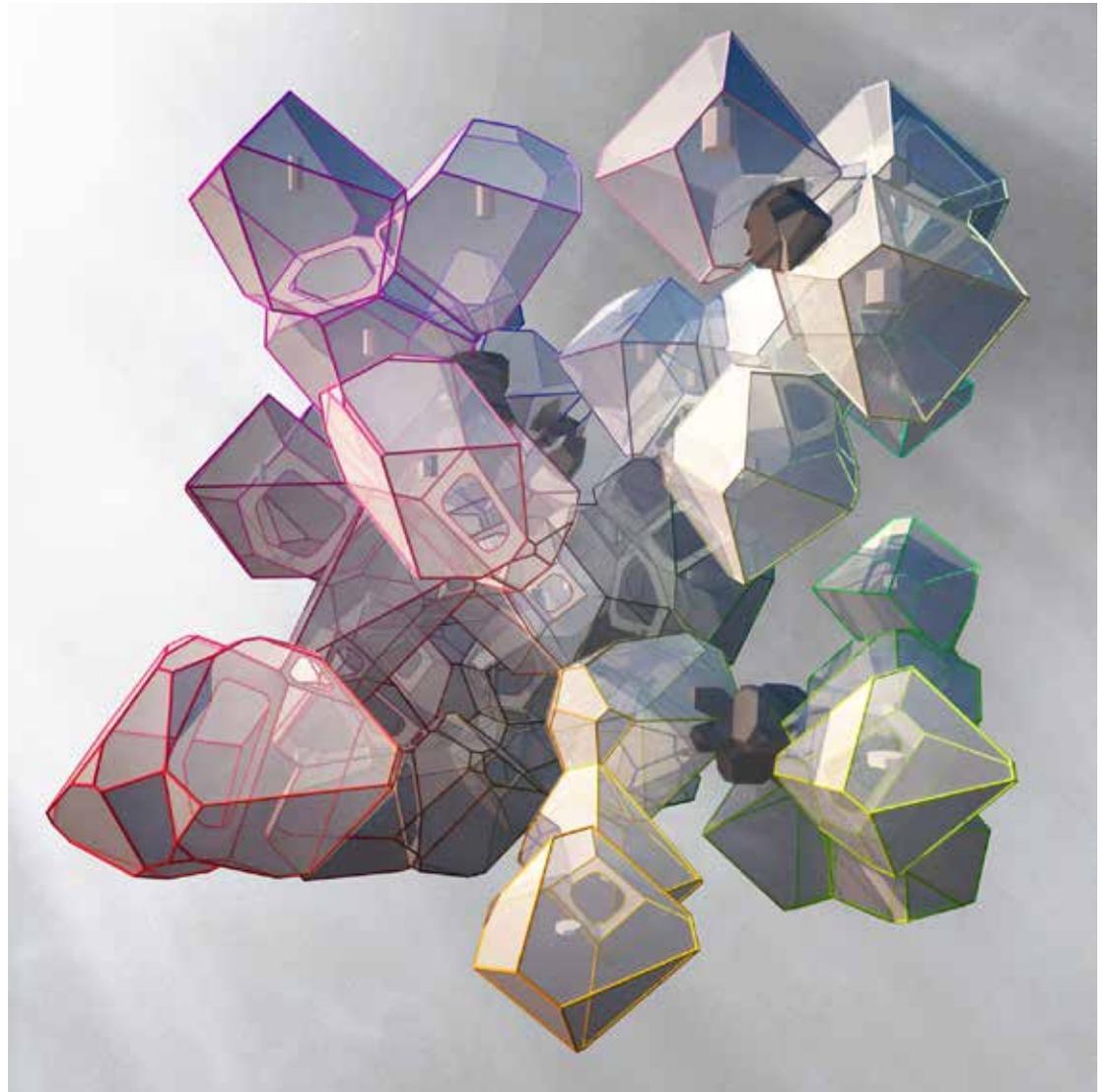


Fig. 12. Elaborazione digitale di una vista esterna del modello tridimensionale del museo completo degli elementi formali e di punti luce aggiunti in fase di rendering.

Inoltre, ad ogni elemento sono state associate delle parole chiave sotto forma di tags, importanti soprattutto nella fase di ricerca perché permettono di restituire risultati coerenti con le richieste dell'utente. Le caratteristiche di spazializzazione dei solidi registrate ai fini della ricerca sono: il numero dei lati del poligono di base per l'asse x, il raggio di base per l'asse y e all'altezza per l'asse z. Ognuno dei parametri prescelti restituisce una serie di numeri relativi ad ogni solido, valori che rappresentano la posizione di tale solido nello spazio. Dai prismi così posizionati, l'algoritmo genera automaticamente gli spazi espositivi secondo le regole geometriche dei diagrammi di Voronoi. Il primo step vede la formazione delle cellule di Voronoi attorno ad ogni prisma. Successivamente l'algoritmo individua le regioni isolate e le collega con dei tunnel. Infine vengono generati dei pipe colorati, fondamentali per l'orientamento all'interno dello spazio.

Il museo ottenuto può essere navigato in infiniti modi poiché esso non ha un percorso imposto ma ogni stanza-cellula è collegata con quelle adiacenti in modo da generare una rete di collegamenti. Questa rete di collegamenti tra le opere è, di fatto, un diagramma di Delaunay nello spazio. Visualizzare questo diagramma, duale di quello di Voronoi, significa visualizzare tutti i percorsi possibili.

Le potenzialità del mezzo sono evidenti. La navigazione all'interno del museo può essere paragonata ad un flusso di pensieri: si passa dall'uno all'altro per associazione di idee così come nel museo si passa da un solido all'altro - vicino per affinità concettuale - guidati dalla conformazione degli spazi.

CONCLUSIONI

Nonostante le infinite possibilità offerte dai moderni mezzi tecnologici capaci di simulare uno spazio virtuale, nella maggior parte dei casi le informazioni vengono

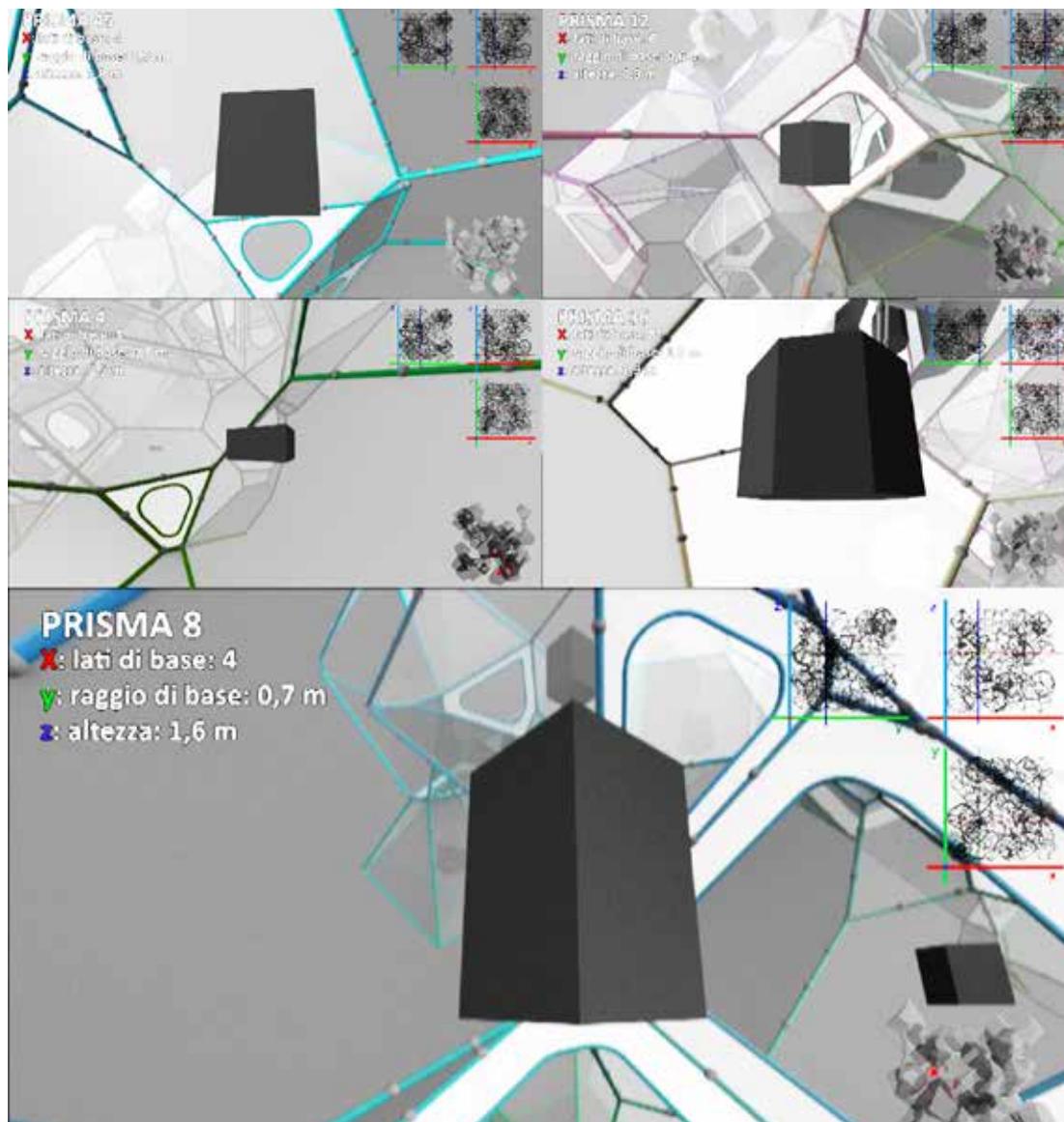


Fig. 13. Fotogrammi estrapolati dalla navigazione tridimensionale del museo. In alto a sinistra di ogni inquadratura vengono mostrati il nome dell'opera e i parametri di posizionamento. A destra invece si trovano i navigatori: in alto i navigatori bidimensionali mentre in basso quello tridimensionale.

fruite in un campo bidimensionale come quello della pagina. Il lavoro di ricerca presentato ha voluto tentare il coinvolgimento della terza dimensione (e poi della quarta) per studiarne le implicazioni.

Ad oggi, la navigazione degli spazi virtuali tridimensionali è ancora difficoltosa perché richiede la mediazione di strumenti poco intuitivi da utilizzare simultaneamente: la tastiera per gli spostamenti ed il mouse per direzionare l'inquadratura. Va però considerato che questo problema sta velocemente trovando una soluzione nei dispositivi per la realtà virtuale (VR headset) e nei sistemi di tracking per l'interazione con gli ambienti. Quando la realtà virtuale sarà alla portata di tutti si moltiplicheranno, con ogni probabilità, gli utilizzi della terza dimensione per la fruizione dell'informazione.

Da queste premesse, la ricerca si è avventurata in un terreno non ancora battuto, tanto che i riferimenti utili sono stati trovati nel mondo dell'arte e della letteratura fantascientifica.

La rappresentazione dei dati in spazi tridimensionali offre un numero infinitamente superiore di collegamenti, paragonabili alla struttura del pensiero umano. Per tale ragione, la fruizione dei dati diventa più intuitiva e rapida; essa non è mediata dal linguaggio scritto ma sfrutta quello visivo per intensificare la trasmissione della conoscenza.

L'architettura generativa ha avuto un ruolo centrale per il raggiungimento degli obiettivi sperimentali in quanto ha permesso la costruzione di geometrie, modellate sulle informazioni, capaci di accompagnare - orientandolo - il visitatore nei percorsi museali.

L'attività di collaudo del prototipo sperimentale realizzato ha confermato che la definizione di regole e modalità di fruizione dedicate al mondo virtuale, capaci di superare la semplice riproduzione metaforica delle consuetudini esplorative degli spazi reali, siano terreni fertili e ricchi di potenzialità per rendere di gran lunga più efficace la comunicazione e l'apprendimento dell'informazione.

NOTE

[1] Francesco Antinucci, *Comunicare nel museo*, Laterza, Bari 2010.

[2] Un ponte che permette di passare istantaneamente da un punto dello spazio a un altro. Teorizzati nel 1916, presupponevano una quarta dimensione spaziale verso cui lo spazio tridimensionale potesse curvarsi. L'esistenza dei wormhole, o ponti di Einstein-Rosen, non è stata dimostrata ma essi sono comunque entrati nell'immaginario comune grazie alla letteratura e al cinema di fantascienza.

[3] Il web semantico è "l'insieme dei servizi e delle strutture in grado di interpretare il significato di contenuti del web. È un'estensione del web (...) in cui le informazioni hanno un ben preciso significato e in cui computer e utenti lavorano in cooperazione. (...) consiste nel rappresentare il modello di uno specifico dominio di conoscenza codificando le informazioni mediante ontologie, con la descrizione formale dei concetti articolata per classi, relazioni e regole, in modo che la macchina sia in grado d'interpretare le informazioni e di utilizzarle correttamente" (in *Enciclopedia Treccani*).

[4] Robert Heinlein, *La casa nuova*, in Sergio Solmi, Carlo Fruttero, *Le meraviglie del possibile*. Antologia della fantascienza, Einaudi, Torino 1959.

[5] La dualità si ottiene scambiando i ruoli dei vertici e delle facce di un solido di partenza.

[6] Francesca Pazzaglia, Marco Poli, Rossana De Beni, *Orientamento e rappresentazione dello spazio*. pag. 12.

BIBLIOGRAFIA

Antinucci F. (1997). Beni artistici e nuove tecnologie, in P. Galluzzi, & P. A. Valentino, *I formati della memoria*. Beni culturali e nuove tecnologie alle soglie del terzo millennio (pp. 120-131). Firenze, Italia: Giunti.

Antinucci F. (2007). *Musei virtuali*. Come non fare innovazione tecnologica. Bari: Laterza.

Antinucci F. (2010). *Comunicare nel museo*. Bari: Laterza.

Arcidiacono G. (2009), *Spazio, iperspazio, frattali*. Roma: Di Renzo Editore.

Aurenhammer F., Klein R. & Der-Tsai Lee (2013). *Voronoi Diagrams and Delaunay Triangulations*. World Scientific.

Biocca F., & Levy M.R. (2010). *Communication in the Age of Virtual Reality*. United States, New York: Routledge.

Fortune S. (1986). A sweepline algorithm for Voronoi diagrams. In: *Proceedings of the second annual symposium on Computational geometry* (pp.313-322). United States, New York: Yorktown Heights

Irace F., Ciagà G. L., Lupo E., & Trocchianesi R. (2014). *Design & Cultural Heritage*. Milano: Mondadori Electa.

Ippoliti E., & Meschini A. (2011). *Tecnologie per la comunicazione del patrimonio culturale*. In *Disegnare con* (vol. 4 n. 8).

Levy P. (2008). *Il virtuale*. Milano: Cortina Raffaello.

Maldonado T. (1992). *Reale e virtuale*. Milano: Feltrinelli.

Manovich L. (2008). *Il linguaggio dei nuovi media*. Milano: Olivares.

Mc Luhan M. (2011). *Capire i media*. Gli strumenti del comunicare. Milano: Il Saggiatore tascabili.

Migliari R. (2003). *Geometria dei Modelli*. Rappresentazione grafica e informatica per l'architettura e

per il design. Roma: Kappa.

Migliari R. (2008). *Prospettiva dinamica interattiva*. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione dei modelli 3D di Architettura. Bologna: Edizioni Kappa.

Puglisi L.P. (1998). *Hyperarchitettura*. Spazi nell'età dell'elettronica. Torino: Testo & Immagine.

Schumacher P. (2009). *Parametricism: a new global style for architecture and urban design*. In Leach N. *AD Digital Cities*, *Architectural Design* (vol. 79, n. 4).

Tedeschi A. (2010). *Architettura parametrica*, introduzione a Grasshopper. Napoli: Le Pensere.

Valenti G.M. (2006). *HySpace: 0.2*. In *Lo spazio digitale dell'architettura italiana* (pp. 222-225). Roma: Kappa.

Valenti G.M. (2007). *HySpace: spazio virtuale parametrico per la fruizione interattiva di modelli digitali*. In *Sistemi Informativi per l'architettura* (pp. 600-605). Firenze: Alinea.

Valenti G.M. (2004). *Il modello integrato*. In R. Migliari, *Disegno come Modello* (pp. 59-62). Roma: Kappa