

PARTE III: TECNICHE DI RAPPRESENTAZIONE





Cinzia Garofalo, rilievo dei muqarnas del Palazzo della Zisa di Palermo. L'ombreggiatura e la colorazione consentono la riconoscibilità dei singoli componenti.

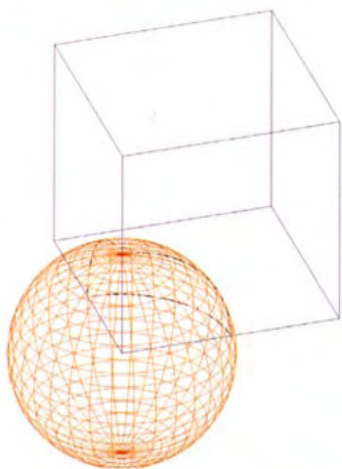


Fig. 222 Solidi visualizzati in wireframe; sono visibili spigoli e curve di costruzione.

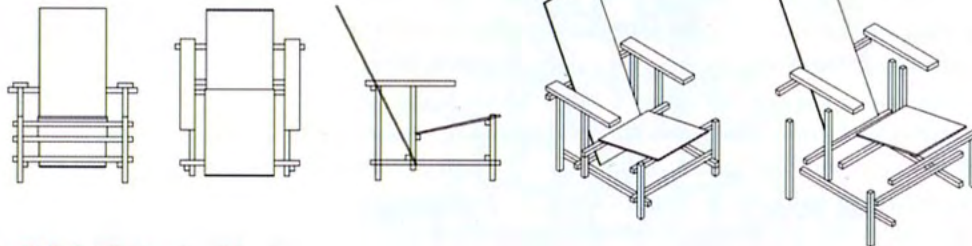


Fig. 222 Solidi visualizzati in wireframe; sono visibili spigoli e curve di costruzione.

La visualizzazione wireframe è molto utile in fase di modellazione perché consente di verificare l'andamento geometrico delle costruzioni ed il risultato delle operazioni di modifica. Come tecnica di rappresentazione finale non è tra quelle più utilizzate poiché, a fronte di una rappresentazione chiara della geometria, non si ha una visualizzazione percettivamente soddisfacente della forma: per esempio, di una sfera si possono vedere le curve che definiscono meridiani e paralleli e la loro successione ci consente di riconoscerne la rotondità, ma non si ha percezione della "morbidezza" della superficie.

È una rappresentazione molto concettuale ed astratta, decisamente poco mimetica. Inoltre, quando il modello presenta molte entità, la visibilità delle curve necessarie a definire la geometria di tutte le superfici (spigoli e isocurve) rende la visualizzazione eccessivamente carica, ridondante di informazioni e spesso poco comprensibile (Fig.222).

CONTORNO APPARENTE

Un livello leggermente più mimetico di rappresentazione è dato dalla *visualizzazione nascosta* (Figg. 223-228): in questo caso è visibile soltanto il contorno apparente degli oggetti in scena, la figura si stacca dallo sfondo² poiché il contorno apparente ne definisce il limite visibile e l'oggetto è discretizzato in segmenti retti e curve³.

² "Questo è e resterà sempre nella storia il misterioso fascino della linea: esprimere le forme attraverso il loro margine, lasciar intuire il contenuto descrivendo il contenente, trascurare l'oggetto e concentrare l'attenzione sul suo limite.", in R. De Rubertis, Adriana Soletti e Vittorio Ugo (a cura di), *Temi e codici del disegno di Architettura* Roma 1992, p. 217.

³ "Il primo algoritmo del disegno è la linea. Primo in ordine di tempo, primo in ordine di importanza.", in R. De Rubertis, Adriana Soletti e Vittorio Ugo (a cura di), *Temi e codici del disegno di Architettura* Roma 1992, p. 212.

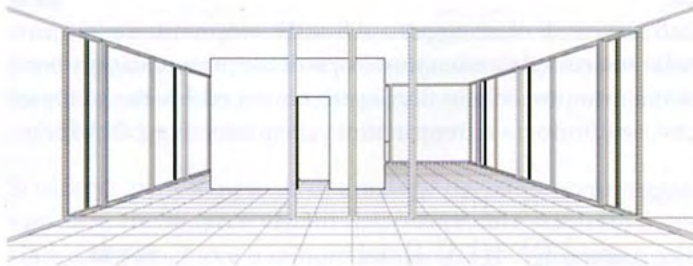


Fig.. 228 Fabrizio Avella, Casa Farnsworth di L. Mies van der Rohe, visualizzazione nascosta.

In questo tipo di visualizzazione, come in quella wireframe, sono visibili anche gli spigoli e i vertici di facce piane, nonché le curve di delimitazione delle superfici, le curve di intersezione tra solidi e quelle di intersezione tra solidi e superfici. Alcuni programmi non consentono la visualizzazione di queste curve di intersezione se le relazioni tra le superfici, tra i solidi, o tra i solidi e le superfici non sono realmente calcolate. Per esempio, nel caso di due solidi parzialmente sovrapposti, potrebbe non essere visualizzata la curva di intersezione se non è stata operata la sottrazione booleana o se non è chiesto esplicitamente al programma di calcolare e visualizzare la curva di intersezione.

Questo tipo di rappresentazione può rendere visibili anche le isocurve, o limitarsi al semplice contorno apparente (definito in alcuni casi *silhouette*).

Possono essere visualizzati gli spigoli invisibili con un tratteggio, riproponendo esattamente una convenzione consolidata nel disegno eseguito a mano (Figg. 229-232).

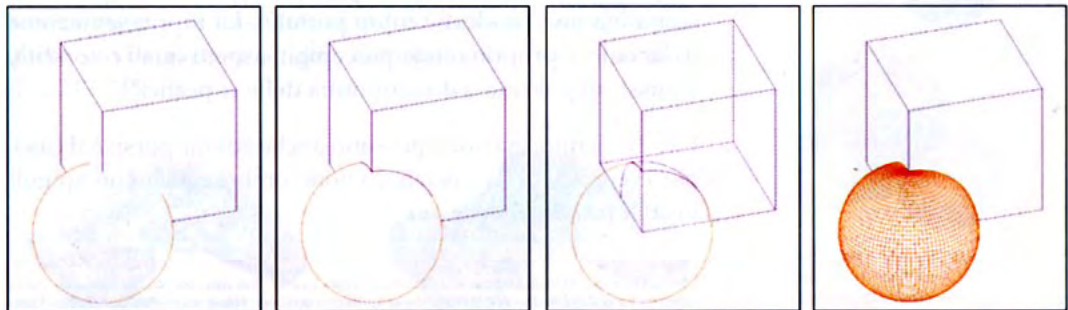


Fig. 229 - 232 Varie modalità di visualizzazione nascosta: solo contorno apparente; contorno apparente e curve di intersezione delle superfici; contorno apparente, linee nascoste tratteggiate e curve d'intersezione delle superfici; contorno apparente, curve d'intersezione delle superfici e isocurve.

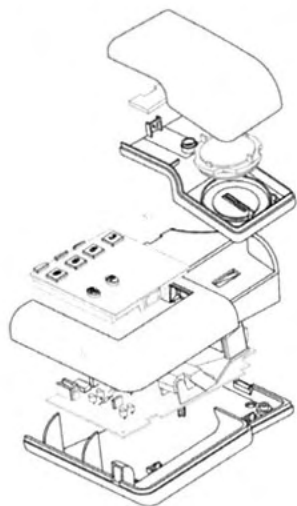


Fig. 237 Alice Panepinto: telefono Sirio, visualizzazione nascosta: è visibile il solo contorno apparente.

In realtà il tratteggio nasceva dall'esigenza di rappresentare le parti invisibili di un oggetto al fine di comprenderne la forma nella sua completezza; questo tipo di rappresentazione, però, non è reso possibile in tutti i programmi ed è stato, in alcuni casi, sostituito da criteri ritenuti più efficaci (Figg. 233-237).



Figg. 233 - 236 Carmelina Volpe, Casa Mumelter di Werner Tscholl, prospetti in bianco e nero. La visualizzazione nascosta mette in evidenza soltanto gli spigoli dei parallelepipedi.

VISUALIZZAZIONE OMBREGGIATA

Una tecnica di visualizzazione che consente una migliore percezione delle forme è data dall'*ombreggiatura* degli oggetti. In questo caso la scena è rappresentata simulando la presenza di una fonte luminosa a distanza infinita che illumina la scena ma non produce ombre portate⁴. La rappresentazione delle ombre proprie rende percepibili aspetti quali rotondità, smussi, spigolosità o discontinuità delle superfici⁵.

I livelli di informazione possono anche sovrapporsi: è il caso, per esempio, della visualizzazione ombreggiata con spigoli visibili (*shaded, edges on*).

⁴ "In un piano, l'illuminazione è uniforme in ogni punto, ma due piani che formano con i raggi di luce angoli diversi, hanno diversa illuminazione. Nelle superfici curve, poi l'illuminazione varia con continuità da punto a punto.", in R. Migliari, Geometria dei modelli, cit. p. 261.

⁵ Per il controllo delle fonti luminose e sulle tipologie delle ombre si rimanda ai capitoli successivi.

In questo caso si possono osservare le caratteristiche sopra enunciate, evidenziate dalle campiture e dalle sfumature dell'ombreggiatura, e quelle più squisitamente geometriche che, tramite la visualizzazione di spigoli e isocurve, rendono le caratteristiche morfologiche delle superfici.

Si osservi, per esempio, la definizione del cubo: l'ombreggiatura fa sì che le facce visibili dall'osservatore siano differenziate dalla maggiore o minore luminosità (effetto dell'angolo di incidenza dei raggi luminosi) e la visualizzazione degli spigoli sottolinea ulteriormente la geometria. Per la sfera invece l'ombreggiatura rende la rotondità della superficie mentre le ulteriori informazioni ne sottolineano la costruzione geometrica (Figg. 238-240).

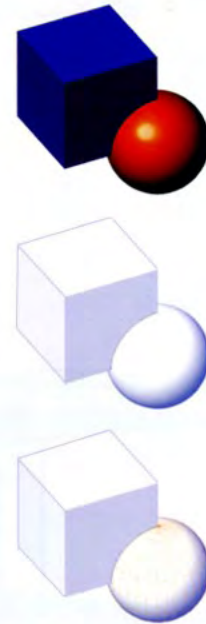
TRASPARENZA E SEMI-TRASPARENZA

Introducendo un ulteriore parametro, quello della *trasparenza*, si possono sintetizzare ulteriormente vari livelli di informazione: la visualizzazione ombreggiata a *raggi x*, per esempio, rende visibili spigoli e isocurve, accenna alle caratteristiche evidenziabili dall'ombreggiatura e consente la visibilità di quelle parti del modello che sarebbero invisibili a causa dell'opacità degli oggetti.

Una modalità di visualizzazione analoga è quella *semitrasparente*, in cui il modello è visualizzato simulando la parziale trasparenza degli oggetti. A differenza della visualizzazione a raggi x, la trasparenza non è totale ed è possibile scegliere se visualizzare spigoli, contorni apparenti e isocurve (Fig.242-245).



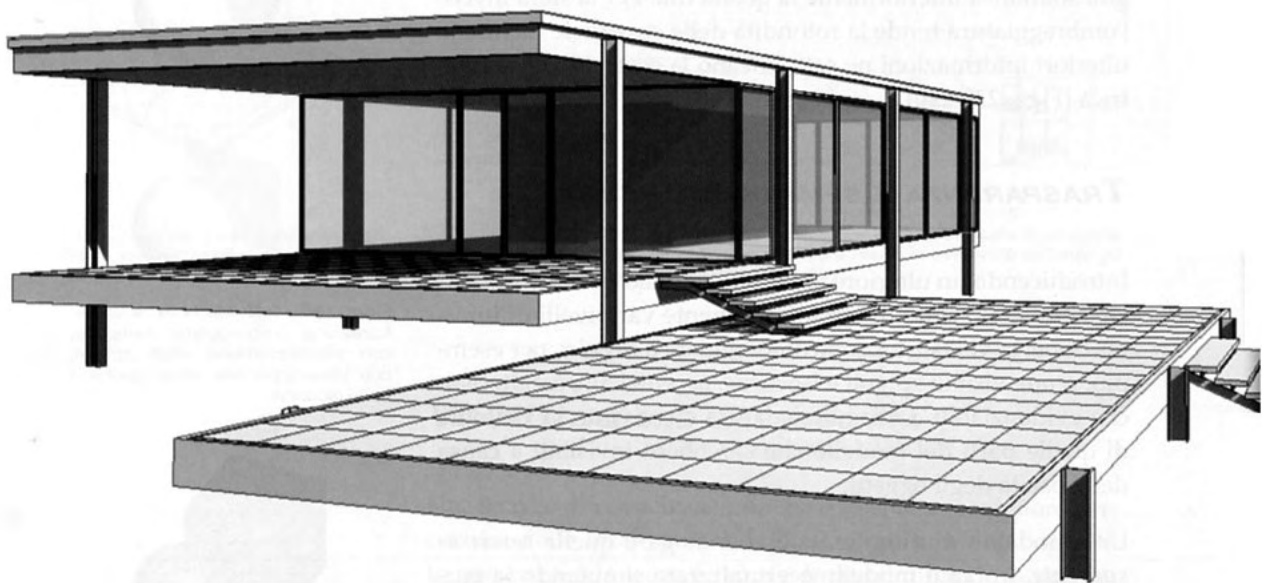
Fig. 244 - 245 Emilio Anastasi, Joypad, visualizzazioni semitrasparenti; in questo caso non sono visibili gli spigoli e le isocurve di solidi e superfici.



Figg. 238 - 240 Modalità di visualizzazione ombreggiata: semplice, con visualizzazione degli spigoli, con visualizzazione degli spigoli e delle isocurve.



Fig. 242 - 243 Visualizzazione ombreggiata semitrasparente e a raggi x con visualizzazione della struttura geometrica e delle isocurve. Queste visualizzazioni permettono di comprendere gli aspetti formali e geometrici degli oggetti.



Fabrizio Avella, casa Farnsworth di L. Mies van der Rohe. Il disegno mostra il contorno apparente, coincidente, in questo caso, con gli spigoli dei parallelepipedi, le ombre proprie e quelle portate.

Un livello di maggior simulazione del processo percettivo è dato dalla rappresentazione delle ombre portate degli oggetti. In questo caso si devono inserire in scena delle fonti luminose e gestirne i valori parametrici.

L'inserimento di fonti luminose permette di introdurre un ulteriore livello di comprensione del modello in quanto consente di evidenziare le relazioni geometriche e formali, gli angoli di incidenza delle superfici, le discontinuità. La luce introduce un livello cognitivo del modello che ne avvicina la percezione, pur non avvalendosi di ulteriori tecniche di mimesi, all'esperienza reale⁶ (Fig. 247).

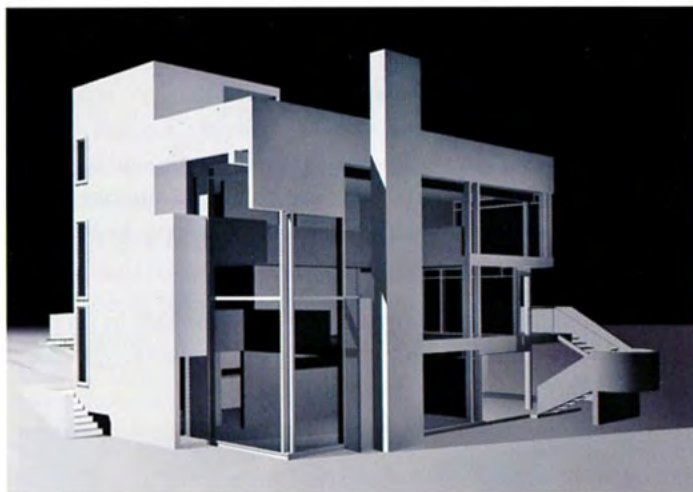


Fig. 247 Bernardo Augello, Smith House di R. Meier, ombreggiatura con inserimento di una luce a distanza infinita. L'effetto, non realistico, è particolarmente efficace ad evidenziare il gioco volumetrico della composizione architettonica.

⁶ "Non potremmo altrimenti stimare, in quanto esseri umani, la distanza che ci separa dagli oggetti se non intervenisse la luce, e con essa le ombre proprie, portate e autoportate, grazie alle quali ha luogo la percezione tridimensionale dello spazio.", in A. De Rosa, *Tutta la luce del mondo*, in «XY Dimensioni del disegno», volume 9, Roma 2005, p. 63.

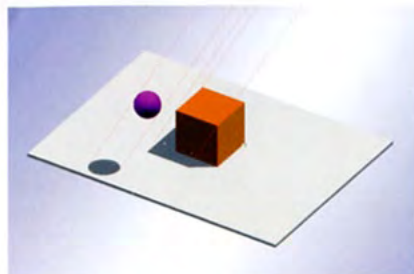


Fig. 248 Luce direzionale o distante: la fonte luminosa è a distanza impropria ed è posizionabile indicando gli angoli di incidenza rispetto agli assi x , y , z , o ruotando a piacere l'origine e verso dei raggi luminosi.

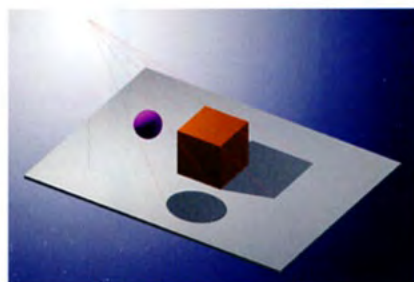


Fig. 249 Luce omnidirezionale: la fonte luminosa è a distanza propria ed è posizionabile indicando il punto di posizionamento di coordinate x , y , z . L'effetto simula la presenza di una lampada in scena.



Fig. 250 Luce spot: la fonte luminosa è a distanza propria ed è posizionabile indicando il punto di posizionamento di coordinate x , y , z ; va anche specificato il punto di mira di coordinate x_1 , y_1 , z_1 .

TIPOLOGIA DELLE FONTI LUMINOSE

Il modo in cui la forma reagisce all'incidenza dei raggi luminosi dipende dalla tipologia della loro fonte: le più comuni sono: *luce ambiente*, *luce direzionale*, *luce omnidirezionale*, *spotlight*, *geometria luminescente*.

La *luce ambiente* dà una luminosità generale alla scena senza individuare una vera e propria fonte luminosa. È un tipo di luce che non genera ombre e non arriva da una direzione privilegiata, ma simula la riflessione dei raggi luminosi determinata dalle particelle di pulviscolo atmosferico o la riflessione dei raggi luminosi generata dalla compresenza di molteplici superfici riflettenti che si ha nel mondo reale.

Per *luce direzionale* o distante si intende una fonte luminosa posta a distanza infinita rispetto all'origine degli assi $O(0, 0, 0)$. La direzione dei raggi luminosi si stabilisce definendo l'angolo d'inclinazione rispetto all'asse x e l'angolo d'inclinazione rispetto al piano xy , il verso scegliendo il quadrante da cui provengono i raggi. Questo tipo di illuminazione si utilizza in genere per simulare la luce solare, in quanto, come questa, i suoi raggi sono paralleli ed investono in maniera uniforme gli oggetti della scena (Fig. 248).

La *luce puntiforme omnidirezionale* è posizionata in un punto a distanza finita e misurabile, di coordinate x_1 , y_1 , z_1 , e irradia la luce in tutte le direzioni (Fig. 249).

I parametri modificabili di questo tipo di luce, oltre al posizionamento, sono l'*intensità*, il *colore* e la legge di *decadimento*: maggiore è la distanza dell'oggetto dalla fonte e minore sarà l'intensità della di luce che colpisce l'oggetto; il decadimento può essere lineare o quadratico: il *decadimento lineare* fa diminuire l'intensità luminosa proporzionalmente alla distanza dell'oggetto dalla fonte luminosa, il *decadimento quadratico* fa diminuire l'intensità luminosa proporzionalmente al quadrato della sua distanza dalla fonte luminosa.

È anche possibile eliminare del tutto il decadimento: in questo caso l'intensità della luce è costante indipendentemente

dalla distanza. La scena potrebbe risultare troppo illuminata e l'effetto perde comunque di realismo, in quanto nella realtà che viviamo la luce proveniente da una fonte posta a distanza finita (ad esempio una lampada) perde intensità man mano che aumenta la distanza tra gli oggetti investiti dai raggi luminosi e la fonte stessa.

Un altro tipo di fonte luminosa è dato dal *faretto* noto anche come *spotlight* (Fig. 250). Quando si inserisce in scena un faretto bisogna indicare il *punto di inserimento* $P(x, y, z)$ ed il *punto di mira (target)* $P_1(x_1, y_1, z_1)$ in modo da stabilire in maniera univoca ed inequivocabile l'asse del cono luminoso. Spesso i programmi stabiliscono per questo tipo di luci un cono di *massima luminosità (hotspot)* ed un cono, esterno rispetto al primo, in cui la luce subisce un *decadimento periferico (falloff)*. Variando questi parametri si può avere un cono luminoso più o meno stretto e un cono di decadimento (con un effetto di penombra) più o meno ampio. Il valore dell'ampiezza del cono di decadimento non può mai essere inferiore a quello dell'ampiezza del cono di massima luminosità.

A questi si aggiunge la *geometria luminescente*: alcuni programmi consentono di associare ad una figura geometrica, sia essa una superficie o un solido, presente nel modello, la capacità di emettere luce, e, di conseguenza, di proiettare ombre. Questo tipo di luce è particolarmente indicato per la simulazione di superfici quali vetrate, dalle quali entra la luce (Fig. 251).



Fig. 251 Geometria luminescente: la fonte luminosa è a distanza propria ed è ottenuta attribuendo ad una geometria presente nel modello di emettere luce e proiettare ombre.



Fig. 252 Antonio Potenzano, dispenser per sapone Robosoap, ombreggiatura tramite inserimento di varie fonti luminose di differente intensità.



Fig. 253 Salvatore Giardina, capitello della chiesa di S. Maria di Porto Salvo, ombreggiatura con inserimento di una luce a distanza infinita.

La presenza di fonti luminose determina la proiezione di ombre proprie e portate. La tipologia delle ombre può variare da quella dai contorni netti, che calcola perfettamente l'intersezione dei raggi luminosi con le superfici, a quella soffusa che, una volta definita l'intersezione, ne sfuma i contorni per simulare una luce diffusa.

Anche l'intensità dell'ombra può variare: dal nero assoluto, dall'effetto tagliente che definisce molto bene forme e superfici ma è innaturale, a quelle che presentano un grado di trasparenza, più indicate per ottenere effetti più simili a quelli del comportamento reale della reazione degli oggetti ai raggi luminosi (Figg. 252-253).

CRITERI DI VISUALIZZAZIONE OMBREGGIATA

Anche nel caso della visualizzazione delle ombre portate, il modello può essere rappresentato sovrapponendo questo livello di informazione (più mimetico e realistico) alla visualizzazione della struttura geometrica in wireframe o con visibilità degli spigoli e del contorno apparente (*hidden*).

Inoltre, alcuni programmi consentono anche di visualizzare la struttura geometrica, il modello in semitrasparenza, le ombre proprie e le ombre portate.

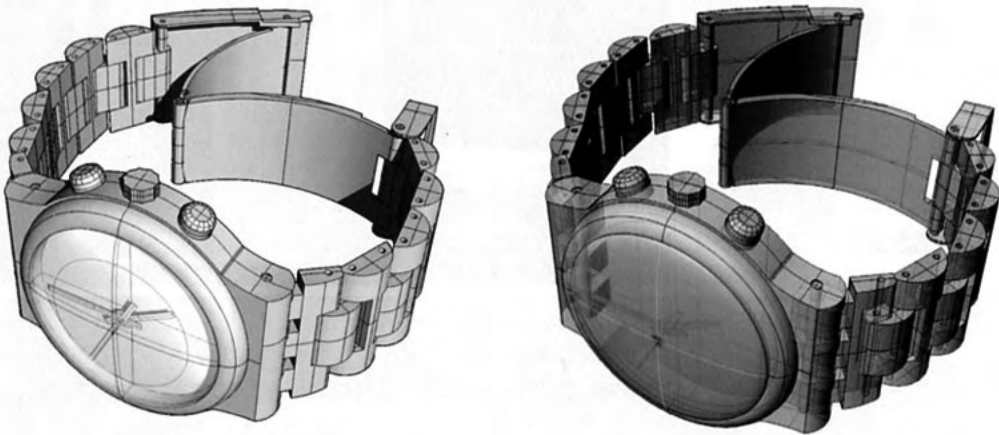
Il disegno può fluttuare da livelli di astrazione in cui non vi è una riconoscibilità immediata dell'oggetto della rappresentazione a registri in cui si cerca di ottenere una mimesi della realtà, sia essa esistente o da realizzare. Esiste un ambito intermedio in cui si cerca un equilibrio tra mimesi ed astrazione, come nel caso del disegno ombreggiato. Nelle rappresentazioni di questo genere non si trovano informazioni sull'aspetto materico dell'architettura e l'illuminazione ha l'unico obiettivo di far percepire la volumetria.

La mancanza di informazioni non va interpretata come mancanza di qualità, ma va vista come scelta di evidenziare soltanto alcuni aspetti del modello, sottolineandoli perchè ritenuti importanti secondo la finalità del disegno.

Tale scelta può essere obbligata quando non si hanno informazioni sufficienti sugli aspetti cromatici e materici, ma in altri casi può essere una scelta volontaria che tende a privilegiare la visualizzazione degli aspetti morfologici e volumetrici, facendo sì che l'attenzione non venga distratta da altro.

Può essere utile sovrapporre i livelli di informazione generati dalla visualizzazione wireframe e da quella ombreggiata.

Si osservino i disegni dell'orologio: nel primo è visibile un cenno alla struttura geometrica degli elementi, che dà informazioni sulla struttura formale dell'oggetto, mentre le ombre generate da una fonte luminosa esaltano alcuni aspetti percettivi della forma quali la rotondità della cassa e la spigolosità delle maglie del cinturino (Figg. 254-255).



Nel secondo disegno, ai due livelli di informazione descritti, si aggiunge la possibilità di un cenno di trasparenza, che lascia intuire alcuni componenti ovviamente non visibili nella rappresentazione in cui tutti i componenti restano opachi.

L'uso della trasparenza va usato con attenzione, in quanto, spesso, l'eccesso di informazioni derivante dalla visibilità degli elementi potrebbe generare un effetto di ridondanza e quindi di disturbo visivo, ostacolando un buon esito della funzione descrittiva del disegno.

Figg. 254 - 255 Vito Lo Re, orologio da polso, visualizzazione di ombre proprie, ombre portate, spigoli, contorno apparente e struttura geometrica; visualizzazione opaca e semi-trasparente.

La commistione di registri espressivi può essere particolarmente auspicabile anche nel disegno di architettura.

I disegni riportati derivanti da uno studio dell'architettura residenziale di Richard Meier evidenziano le diverse caratteristiche di varie forme di visualizzazione (Fig. 256). Il disegno del solo contorno apparente dà informazioni precise ed essenziali sui limiti della forma, descritta dai contorni che delimitano il rapporto figura- sfondo (anche nel caso del rapporto tra il limite della superficie vetrata e la superficie muraria).

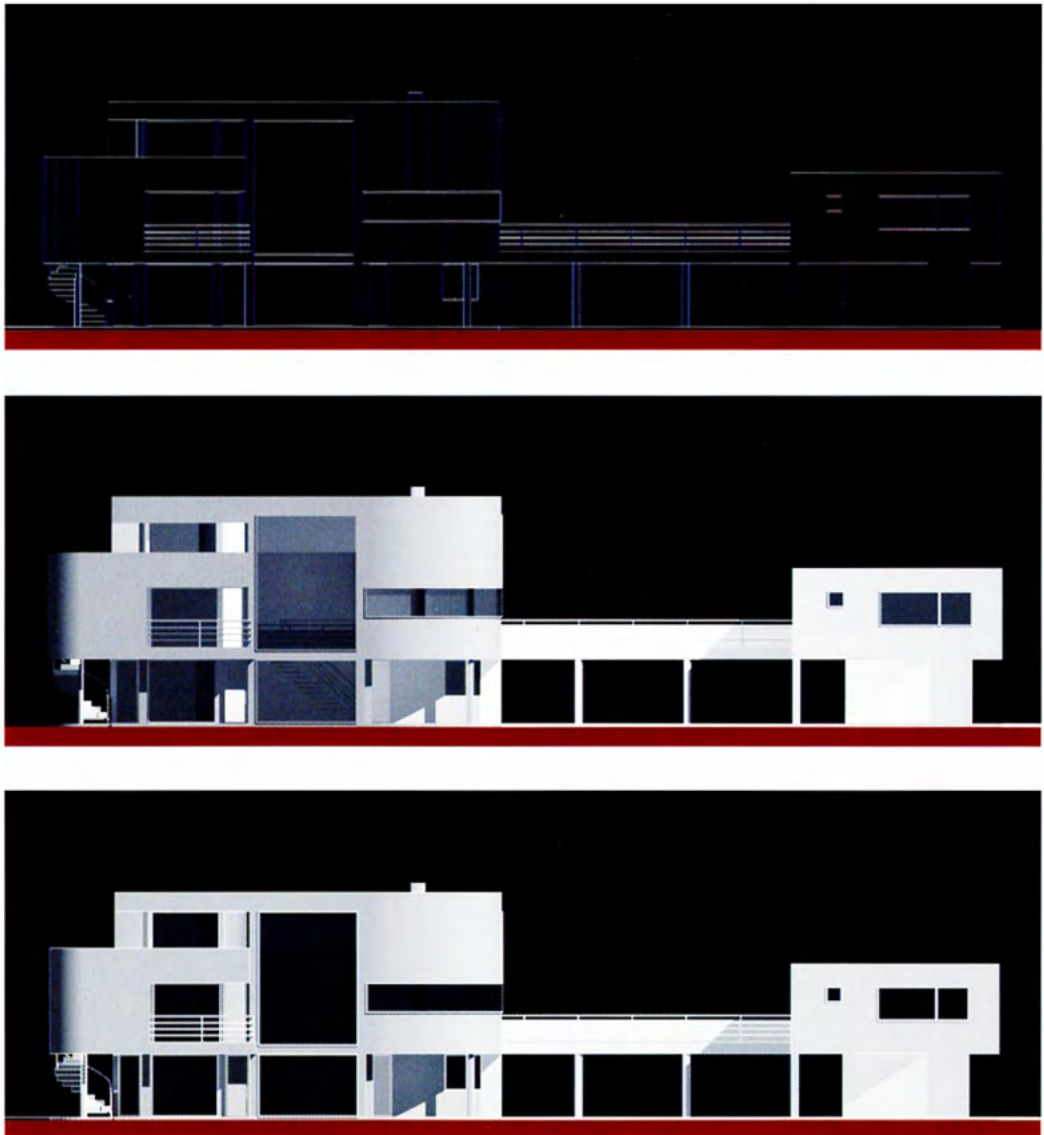
Fig. 256 Bernardo Augello, Smith House di R. Meier, ombreggiatura con inserimento di una luce a distanza infinita. Sono visibili le ombre portate e gli spigoli del contorno apparente dei diversi solidi.



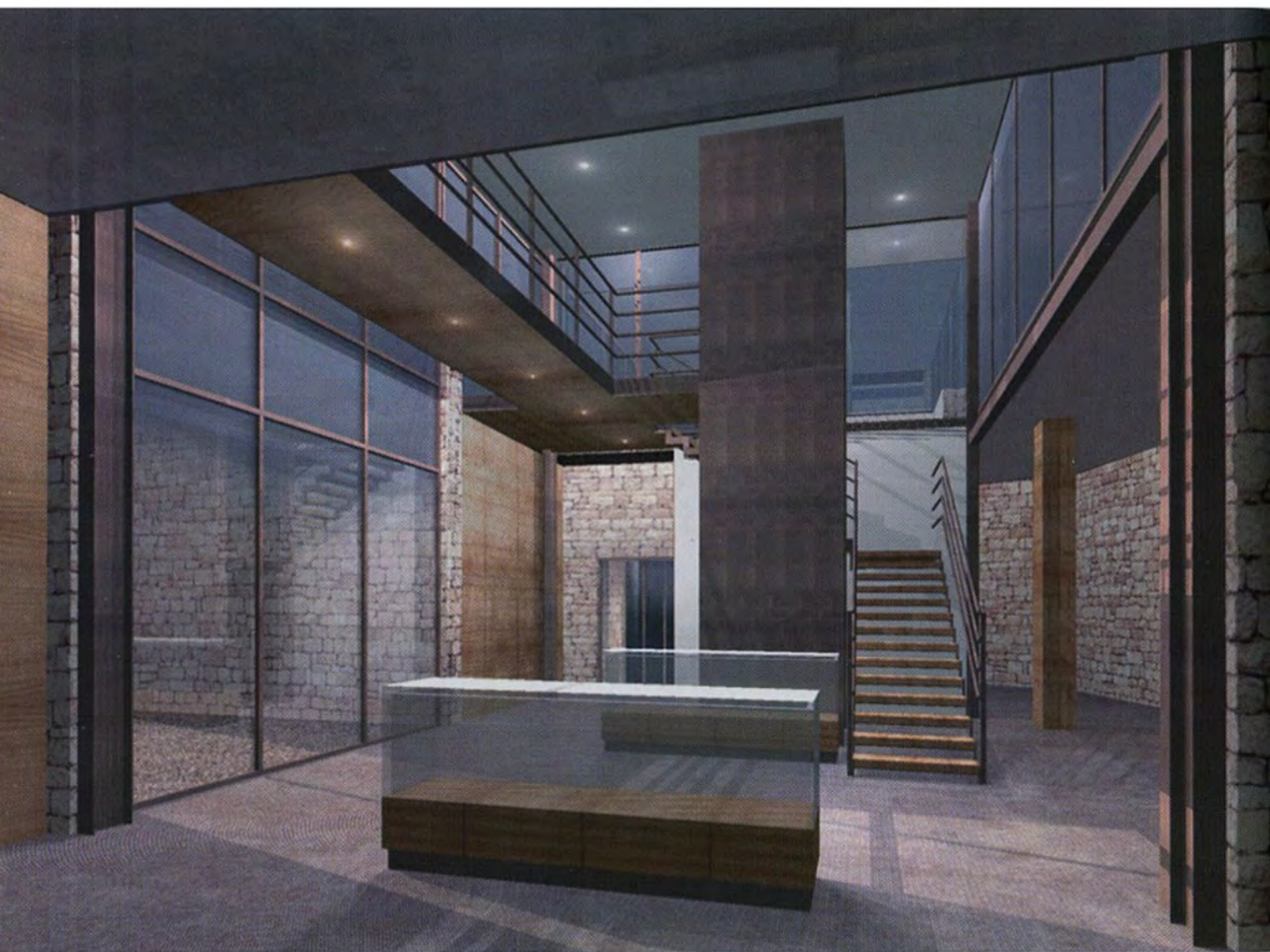
Il disegno ombreggiato riesce, invece, a descrivere come i volumi reagiscono alla luce, e la profondità delle ombre dà informazioni utili a definire le relazioni tra i volumi.

La commistione tra i due registri, infine, determina una compresenza di astrazione (contorno apparente) e simulazione percettiva (ombre), e colloca questo disegno in un livello intermedio tra rappresentazione concettuale e mimesi, fortemente carico di informazioni.

Nel disegno in questa pagina il criterio è utilizzato introducendo volutamente un ulteriore elemento di connotazione, determinato dal colore chiaro di spigoli e contorno apparente, in contrasto cromatico con il rosso della sezione, i toni chiari di grigio dei volumi ed il nero dello sfondo (Figg. 257-259).



Figg. 257 - 259 Bernardo Augello, Casa Saltzman di R. Meier, contorno apparente ed ombreggiatura. Si noti la differente quantità di informazioni del disegno a contorno apparente, del disegno ombreggiato e dei due registri sovrapposti.



Fabrizio Avella, Guglielmo Acciaro, Museo Civico a Corciano (PG). I piani delle teche espositive e delle ampie finestre simulano la trasparenza del vetro.

I disegni fin qui riportati hanno un livello informativo che si limita alla definizione formale dell'oggetto. A prescindere che si tratti di visualizzazione wireframe, di solo contorno apparente, di visualizzazione semitrasparente o di ombreggiatura, la finalità espressiva è indirizzata verso criteri di riconoscibilità della forma e di descrizione di relazioni formali e spaziali tra gli oggetti.

Le entità non hanno alcuna connotazione materica, fatta eccezione alla trasparenza delle vetrate nei disegni di architettura.

Un livello di informazioni aggiuntivo può essere ottenuto simulando la reazione dell'oggetto alla luce in conseguenza di caratteristiche materiche: un oggetto liscio, ad esempio, reagisce alla luce diversamente di quanto non faccia un oggetto ruvido. La simulazione diventa il risultato delle relazioni tra forma, materia, luce e punto di vista.

RIFLESSIONE

Si osservi la sequenza di sfere riportata in figura 261. A parità di forma, di luce e di condizioni proiettive, l'esito della rappresentazione cambia in seguito all'introduzione di un ulteriore parametro: la simulazione della capacità di *riflessione* della luce.

La prima sfera ha un'alta capacità di riflessione e questo determina l'effetto di lucentezza che le dà un'apparenza lucida, propria di materiali metallici o plastiche molto levigate: la quantità di luce incidente che viene assorbita dall'oggetto è inferiore a quella riflessa.

Man mano che la capacità di riflessione della luce diminuisce l'aspetto diventa più matto, l'area di maggiore lucentezza si

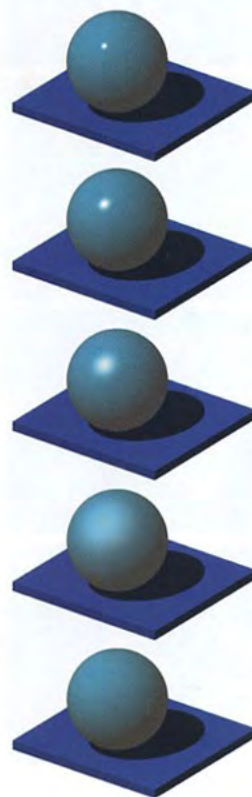
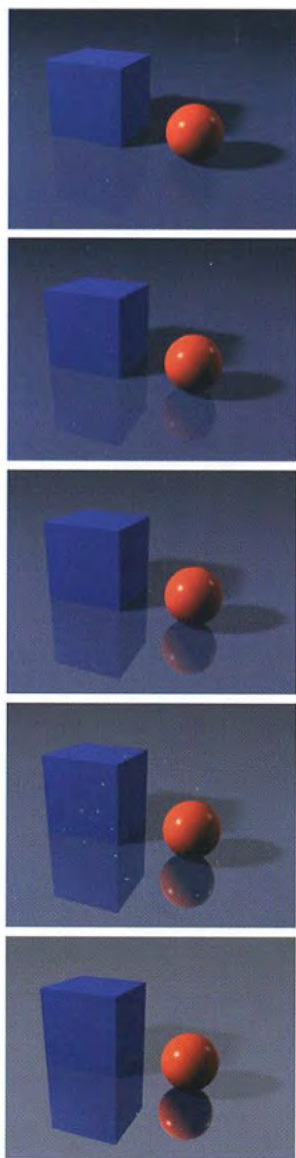


Fig. 261 La diminuzione della capacità riflettente comporta un aspetto meno lucido e metallico delle superfici curve.



Figg. 262 Diversi tipi di riflessione: la sfera arancione riflette soltanto la luce, mentre il piano su cui poggiano i solidi riflette anche la loro immagine. Maggiore è la capacità di riflessione speculare, migliore sarà la visibilità delle immagini riflesse.

riduce sensibilmente e la sfera assume un aspetto meno lucido, simulando una plastica poco riflettente, poco “metallica”; in questo caso la quantità di luce incidente che viene assorbita dall’oggetto è superiore a quella riflessa.

Si osservi come altre caratteristiche, quali l’opacità rispetto alla luce e la determinazione di ombre portate rimanga del tutto invariata.

La combinazione, invece, di posizione del punto di vista e posizione della fonte luminosa determina la posizione dell’area di maggiore riflessione dell’oggetto, definibile come *punto brillante*⁷.

Il termine riflessione è utilizzato, in questo caso, limitatamente alla reazione di una entità alla luce. Il concetto non va confuso con quello di *riflessione speculare*. La riflessione speculare simula, infatti, la capacità di una superficie di riflettere non solo i raggi luminosi da cui viene colpita, ma anche l’immagine degli oggetti circostanti (Fig.262).

Maggiore è il livello di capacità di riflessione speculare, migliore sarà la visibilità dell’immagine riflessa. Tale capacità prende il nome dalla caratteristica della superficie riflettente per eccellenza: lo specchio.

Si osservi come cambia l’immagine riflessa del cubo e della sfera riprodotti in figura, man mano che si aumenta la capacità riflettente del materiale del piano di posa. Inoltre, all’aumentare della capacità riflettente del piano, corrisponde una minore capacità di rendere visibili le ombre portate degli oggetti.

Bisogna tenere in considerazione il fatto che la capacità di riflettere la luce non necessariamente coincide con la capacità di riflettere immagini, mentre la riflessione speculare è sempre indice di riflessione luminosa.

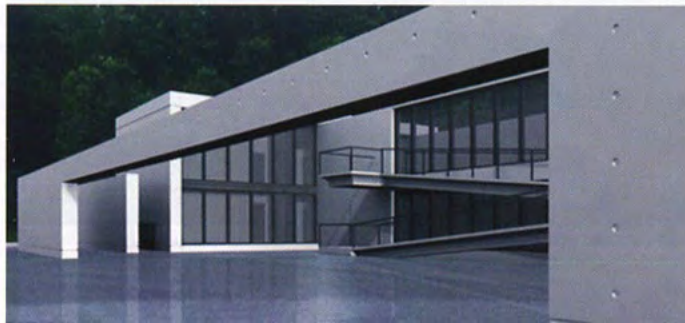
⁷“Se alcuni raggi della luce riflessa raggiungono l’occhio di un osservatore, questi vede, sulla superficie, l’immagine della sorgente di luce, come in uno specchio. Nella maggior parte dei casi questa immagine viene percepita come punto brillante (si pensi a una sfera di marmo lucido)”, in R. Migliari, *Fondamenti della rappresentazione geometrica e informatica dell’architettura*, Roma 2000, p. 258.

La parte superiore dell'accendino, raffigurato nel frontespizio del capitolo, presenta le caratteristiche di un materiale metallico in grado di riflettere abbastanza bene la luce incidente, ma non riflettente a tal punto da riflettere le immagini degli oggetti circostanti. La parte inferiore non ha la stessa capacità e risulta più matta, simulando abbastanza bene l'aspetto meno lucente della plastica della scocca.

Analoghe considerazioni vanno fatte per la plastica del telefono riprodotto nelle figure 263-265: la superficie è abbastanza riflettente da acquisire lucentezza sotto l'incidenza dei raggi luminosi ma non tale da riflettere gli oggetti circostanti, mentre il piano di appoggio riesce a riflettere l'immagine del telefono sovrastante.

L'effetto della riflessione è subordinato a vari parametri. Innanzi tutto la forma dell'oggetto: una superficie sferica reagisce alla luce incidente in modo completamente differente rispetto ad una superficie piana o spigolosa.

Un'altra caratteristica è insita nel materiale: maggiore capacità di riflessione significa aspetto maggiormente lucente e "metallico", valori bassi di capacità riflettente determinano un aspetto matto o semilucido. Un'altra determinante combinazione di fattori è data dal posizionamento e dalle tipologie delle fonti luminose, nonché dal posizionamento del punto di osservazione: per capire il concetto basta mantenere un oggetto fermo e variare il posizionamento di una luce o cambiare il punto di osservazione. Si osserverà che, variando le condizioni, cambierà il posizionamento delle aree di riflessione e di quelle di maggiore lucentezza. Si possono fare analoghe considerazioni anche per quanto riguarda l'esito della riflessione speculare, condizionata, ovviamente, dalle relazioni tra oggetto, superficie riflettente e punto di osservazione (Fig.266).



Figg. 263 - 265 Roberto Viola, telefono Sirio. Anche in questo caso si distingue la capacità di riflessione dei soli raggi luminosi delle superfici rosse della scocca, e la riflessione speculare del piano d'appoggio.

Fig. 266 Giuseppe Dalli Cardillo, casa di Tadao Ando. L'effetto specchio è ottenuto simulando la capacità di riflessione speculare del piano.

Un caso emblematico di riflessione speculare è dato da superfici che simulano l'acqua. L'acqua è un materiale dalle molteplici caratteristiche, in quanto, oltre alla capacità riflettente, ha anche quella di far vedere in tutto o parzialmente gli oggetti grazie al grado di trasparenza.

TRASPARENZA

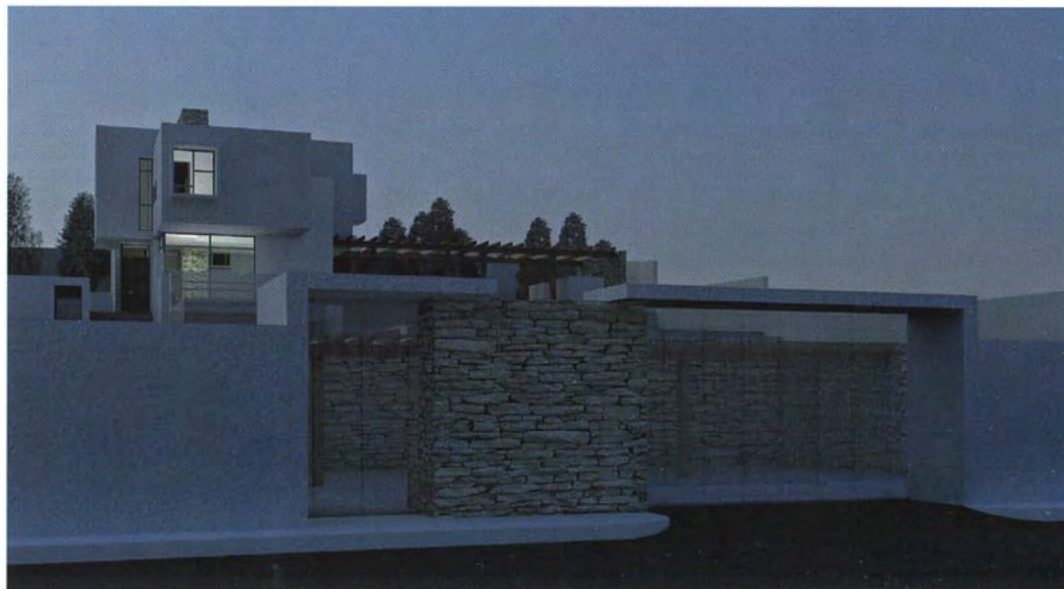
Una caratteristica materica presente in tutti i motori di rendering è quella della trasparenza.

Per *trasparenza* si intende la capacità di una superficie di consentire la visibilità di ciò che è posto oltre la superficie stessa rispetto al punto di vista. La superficie trasparente, cioè, interseca i raggi visivi ma non li interrompe.

Tale capacità può essere più o meno accentuata, dando vita a superfici che si possono definire *opache*, *semitrasparenti*, *trasparenti*.

I motori di rendering che consentono la simulazione di tale caratteristica consentono di graduare tale capacità.

Fig. 267 Angelo Finocchiaro, edificio residenziale. Il muro intonacato è ottenuto tramite applicazione di una mappa di rugosità irregolare, mentre la simulazione del muro in pietra è ottenuta tramite applicazione di una mappa in cui è riportata l'immagine delle pietre.



RUGOSITÀ

Un'altro parametro necessario a definire la simulazione materica è dato dalla *rugosità* (*bump*) della superficie. Tale caratteristica rimanda sensorialmente all'esperienza tattile, che ci consente di distinguere un oggetto liscio da un oggetto ruvido.

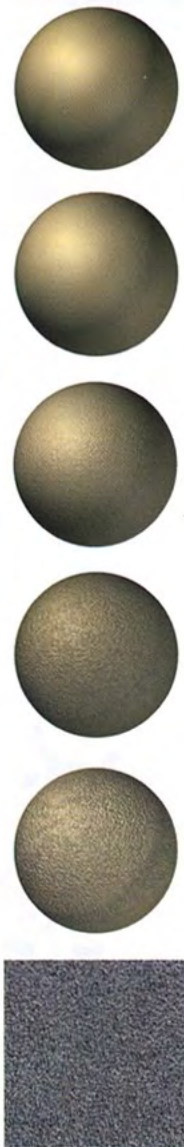
Nella realtà una superficie rugosa è una superficie in cui sono presenti delle irregolarità determinate da cavità, da asperità a rilievo, o da entrambe. Tali irregolarità determinano una reazione alla luce per cui saranno presenti zone più illuminate (quelle fuoriuscenti) e zone in ombra (le parti scavate).

Se si osserva una pietra non levigata o una superficie con cemento a faccia vista, ci si accorge dell'irregolarità della superficie (Figg. 267-269).

Rimandando al capitolo sul texturing considerazioni più specifiche, si accenna, per ora, solo al processo che consente di simulare tali irregolarità: si associa ad una superficie, che rimane geometricamente inalterata, un'immagine *raster* che riporta una grana in cui vi sono aree chiare e aree scure. Le aree chiare sono quelle in cui il programma simula le porzioni maggiormente illuminate (a rilievo), in quelle scure il programma simula le zone in ombra (incavate).

L'effetto di rugosità della sfera riprodotta è ottenuto utilizzando la mappa della grana in toni di grigio in cui sono riconoscibili aree chiare ed aree scure.

Se, invece dell'immagine di una grana si utilizza l'immagine di un pattern, si può simulare l'aspetto materico. Nell'immagine riportata si possono osservare entrambi i metodi: nella definizione del muro bianco si è utilizzata una semplice mappa di rugosità, mentre per il muro rivestito in pietra è stata utilizzata una mappa in cui è riportata l'immagine delle pietre⁸.



Figg. 268 - 269 Effetto di rugosità su una superficie sferica. L'effetto non è ottenuto alterando la geometria della superficie ma applicando una mappa di rugosità in cui, con distribuzione casuale, si alternano zone chiare (fuoriuscenti) e zone scure (rientranti).

⁸Il bump mapping è una tecnica che permette di simulare la scabrosità delle superfici operando delle perturbazioni non sulla geometria, come avviene in realtà, ma sull'ombreggiatura., in Marco Gaiani, *Della riunificazione di due mondi separati in casa: modellazione e rendering*, Cit. p. 27.



Eleonora Schimmenti, soap dispenser. La decorazione del modello è stata ottenuta tramite proiezione planare delle scansioni dei disegni, realizzati a mano.

TIPOLOGIE DI MAPPATURA E SHADING

Il termine *mappatura* o *texturing* indica il processo che permette di associare informazioni cromatiche, di una immagine o di un pattern a punti di una superficie poligonale o NURBS.

Il colore rappresenta un dato fondamentale che viene assegnato agli oggetti, presenti nella scena, per mezzo di un "materiale" definito anche *Shader*; nell'ambito della grafica 3D il materiale rappresenta quel dato che, associato ad una superficie, permette di ottenere una data simulazione materica più o meno di tipo realistico. È facile intuire come la sola componente cromatica non permette di simulare un determinato materiale presente in natura; lo shader raccoglie un insieme di parametri per la definizione delle caratteristiche fisiche (grazie alla presenza di una interfaccia grafica che varia a seconda del software utilizzato) come il colore, la trasparenza, la ruvidità, la traslucenza, il *surface shading*; quest'ultimo gestisce il comportamento di diffusione della luce incidente sulla superficie. Esistono diversi modelli di shadings (*Lambert*, il *Phong*, il *Blinn*, l'*Anisotropic* ecc...) che, attraverso diversi algoritmi di calcolo, simulano il comportamento di diffusione della luce di vari materiali presenti in natura come metallo, plastica, legno ecc... Lo shading introduce ulteriori parametri di gestione come la micro-rugosità delle superfici, la diffusione, la specularità, la brillantezza, la riflettanza ecc., parametri che generalmente variano a seconda del tipo di shading scelto.

Allo shader possono essere associate altre informazioni come il *bump*, che simula la rugosità del materiale, o il *displacement* che, modificando la geometria delle superfici in fase di rendering, genera l'effetto rilievo sulla stessa.



Fig. 275 - 277 Modello digitale texturizzato di una mensola lignea del XIV secolo, all'interno del Palazzo Steri di Palermo. Il texturing è stato ottenuto attraverso l'assegnazione alla superficie mesh di una bitmap composta da tre immagini fotografiche affiancate. La mappa è stata proiettata sull'oggetto da più direzioni per mezzo di più mappature planari e ottimizzata attraverso l'editor delle coordinate UV.

Il colore dello shader può essere assegnato per mezzo di componenti RGB che ne definiscono una tinta di tipo uniforme o attraverso una *mappa di colore* che può essere indipendentemente un'immagine o un pattern (Figg. 275-277).



La mappa di colore permette di assegnare una trama o texture alla superficie dell'oggetto a cui sarà applicato un determinato shader (Figg. 278-279); questo processo di assegnazione di una texture viene definito texture mapping o texturing.

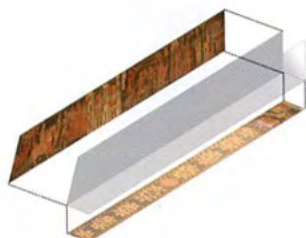


Fig. 278 - 279 Schema di proiezione della texture e modello digitale texturizzato di una porzione del soffitto ligneo.



Come già accennato, alla base del texturing vi è la mappa; questa viene generalmente classificata in due categorie distinte: *2D e 3D maps*.

Le *mappe 2D* sono generalmente costituite da immagini raster, che sono impiegate, oltre che per la mappatura delle superfici, anche come mappe ambientali per l'introduzione di sfondi per le scene; le 2D maps possono anche essere di tipo

procedurale, che, a differenza di quelle *raster* (bitmap), non occorre che siano archiviate su un dispositivo di memorizzazione di massa come immagini predefinite; elaborate e calcolate secondo specifici algoritmi, tali mappe generano delle trame caratterizzate dalla risoluzione indefinita. Tra le mappe 2D procedurali ricordiamo le *mappe checker*, *gradient*, *swirl* ecc (Fig. 280).

Le *mappe 3D* sono esclusivamente di tipo *procedurale*; queste mappe sono elaborate secondo algoritmi che definiscono i colori di uno spazio occupato da un oggetto a cui è assegnato il materiale; queste speciali mappe definiscono una trama spaziale, lungo le tre dimensioni, che investe letteralmente l'oggetto; una sezione del modello così mappato permette di notare come il pattern si distribuisce in maniera omogenea e logica anche all'interno dell'oggetto secondo le specifiche proprie della mappa; le principali mappe 3D permettono di simulare materiali particolari come legno, marmo, liquidi ecc. (Fig. 281).

PROCESSI DI PROIEZIONE DELLE MAPPE

La mappatura di un oggetto avviene attraverso un processo di proiezione definito *texture projection*; questa operazione determina una corrispondenza tra i pixel della texture e i punti della superficie. La proiezione della mappa è gestita attraverso le tre coordinate UVW, definite di mappatura, del tutto analoghe alle coordinate XYZ che definiscono la posizione spaziale degli oggetti (Fig.282).

La nomenclatura UVW delle coordinate di mappatura, trova stretta correlazione con le coordinate XYZ: il gruppo di lettere UVW, infatti, precede nell'alfabeto il gruppo XYZ, quindi l'asse U sarà l'analogo della X e così via.

Le *texture* che si basano sulle mappe 2D, come ad esempio le bitmap, necessitano soltanto delle coordinate UV, mentre la coordinata W, è impiegata solo nell'utilizzo di mappe procedurali 3D.



Fig. 280 Le mappe procedurali 2D vengono impiegate principalmente per la generazione di effetti di trasparenza, di rumore o rogosità.



Fig. 281 Le mappe procedurali 3D simulano materiali come legno, marmo, stucco, granito ecc..

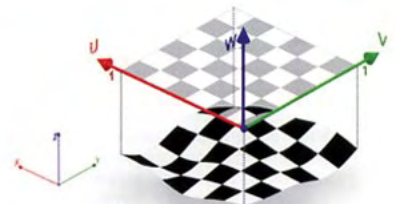


Fig. 282 Ad ogni coordinata XYZ della superficie, vengono associate delle coordinate di mappatura UV.

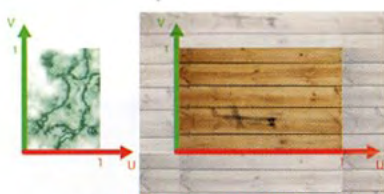
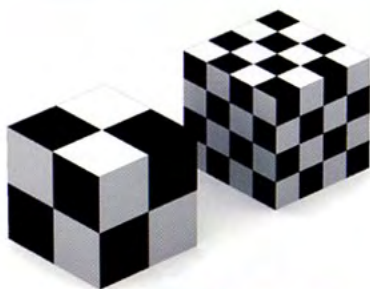
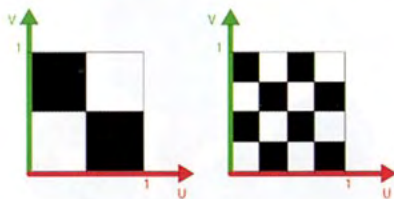


Fig. 283 L'unità di misura è espressa in percentuale; il rapporto tra gli assi varia in funzioni della dimensione della mappa.



Figg. 284 - 285 Il tiling permette di ottenere la scalatura della mappa. La scelta di una texture di tipo bit-map deve essere tale da supportare l'affiancatura a mosaico, cioè che non mostri cuciture dovute alla ripetizione della stessa immagine.

Il piano delle *coordinate di mappatura* è individuato attraverso un sistema cartesiano di riferimento, definito da gli assi ortogonali u e v , su tali assi l'unità di misura viene espressa in percentuale (0-1). Tra l'origine del sistema e il punto di coordinate (1,1) si dispone la mappa 2D. All'interno di tale area, attraverso un fattore di ripetizione, definito di *tiling*, la mappa può ripetersi più volte secondo uno o entrambi gli assi; il tiling influisce sull'aspetto della texture proiettata su di una superficie, infatti, assegnando un fattore di tiling maggiore ad 1 si produrrà un infittimento della trama, dovuto alla ripetizione e riduzione della texture di base, viceversa, assegnando un fattore di ripetizione inferiore ad 1, si produrrà un'aumento di dimensioni. Ipotizzando di assegnare un fattore di ripetizione di 2 su entrambi gli assi, si avrà una ripetizione di 4 volte della texture (Figg. 283-285). La ripetizione della mappa può avvenire per semplice accostamento, o attraverso una giustapposizione specchiata generalmente definita *mirror*.

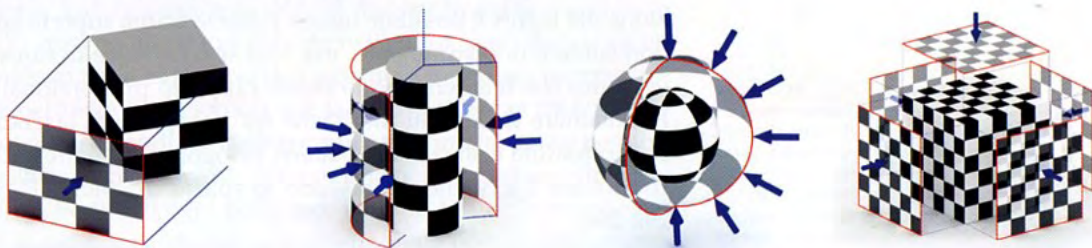
Un aspetto fondamentale nel processo di mappatura è dato dalla scelta del tipo di *proiezione (texture mapping)*. La maggior parte dei software di modellazione digitale e texture mapping, permette di texturizzare gli oggetti presenti nella scena, secondo proiezione prestabilite di tipo *planare, cilindrica, sferica* ecc... In particolare, le geometrie primitive, (sfera, cubo, cilindro ecc..) posseggono già le coordinate di mappatura relative alla propria geometria.

La *mappatura planare* proietta la mappa sull'oggetto da un centro improprio, secondo una direzione normale ad un piano, su cui si dispone la texture, e disposto in maniera arbitraria rispetto alla superficie da mappare (Fig. 286).

La *mappatura cilindrica* proietta la mappa secondo direzioni radiali che convergono ortogonalmente verso l'asse verticale di un ipotetico cilindro su cui è disposta la texture da proiettare. Questo tipo di proiezione è usato per oggetti di forma approssimativamente cilindrica e genera sul modello una linea di giunzione verticale definita da il congiungimento dei lati opposti delle texture (Fig.287).

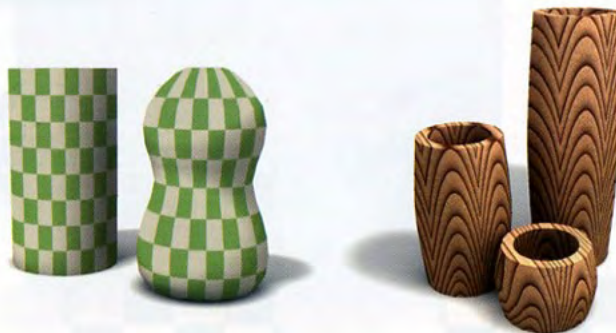
La *mappatura sferica* è caratterizzata da un sistema di raggi proiettanti che convergono tutti verso un punto definito dal centro della sfera su cui si dispone la texture. Una mappa proiettata su un oggetto di forma pressoché sferoidale presenterà un'unica linea meridiana di giunzione dei poli (Fig. 288).

La *mappatura cubica* (o *box*) proietta la mappa da sei o più direzioni normali alle facce di un poliedro sulla quale si ripete la stessa texture. Questo tipo di proiezione costituisce un insieme di più mappature planari (Fig. 289).



Quando definiamo un determinato metodo di proiezione e lo associamo ad un oggetto, viene a instaurarsi una stretta relazione tra *texture proiettata* e geometria dell'oggetto: infatti, ad ogni coordinata XYZ dei vertici della mesh vengono assegnate delle coordinate di mappatura UV. Per tale motivo, la modifica della geometria dell'oggetto influisce sulla texture su di esso proiettata, che si adegua al cambiamento di forma (Figg. 290-291).

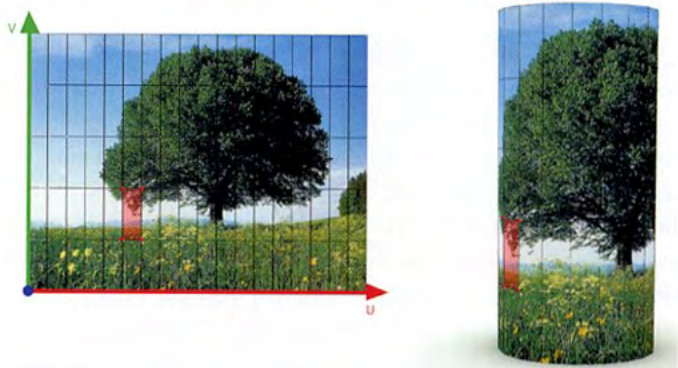
Figg. 286 - 289 Sistemi di proiezione delle mappe: mappatura planare, cilindrica, sferica, parallelepipedica (box).



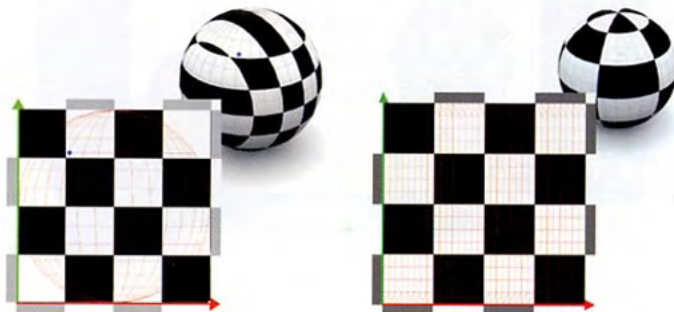
Figg. 290 - 291 A sinistra: modificando la geometria di un oggetto, la texture, generata da una mappa 2D, si adegua alla nuova forma assunta. Lo spostamento e la rotazione dell'oggetto all'interno della scena, non ne alterano l'aspetto. A destra: la modifica della geometria di un oggetto a cui è assegnata una mappa 3D, non altera l'aspetto della trama. Se uno oggetto viene spostato all'interno della scena, il motivo superficiale cambia, non essendovi vincoli tra la geometria dell'oggetto e lo spazio di colore definito dalla mappa 3D.

Come già accennato, una mappa procedurale 3D definisce i colori di uno spazio, per cui non è possibile che sia associata ad uno dei metodi di proiezione precedentemente descritti, condizione che determina la mancata generazione di legami tra geometria dell'oggetto e il motivo definito sulla sua superficie: infatti, modificandone la geometria o più semplicemente spostando l'oggetto all'interno della scena, la trama superficiale cambia con logica diversa rispetto alla modifica della geometria o della nuova posizione acquisita nello spazio. Ipotizzando di scalare lungo una direzione un oggetto a cui è stata applicata una mappa procedurale per la simulazione del legno, è possibile notare come la trama superficiale non subisce uno stiramento, ma anzi si arricchisce di nuove venature che mantengono lo stesso rapporto proporzionale. Per ottenere delle reali modifiche tra i rapporti di larghezza, profondità e altezza del pattern, bisogna intervenire sulle coordinate UVW che definiscono lo spazio di colore (Figg. 292-294).

Fig. 292 Le coordinate di mappatura UV generano una corrispondenza tra poligoni che definiscono la geometria dell'oggetto e poligoni definiti per mezzo di coordinate UV che si sovrappongono alla texture.



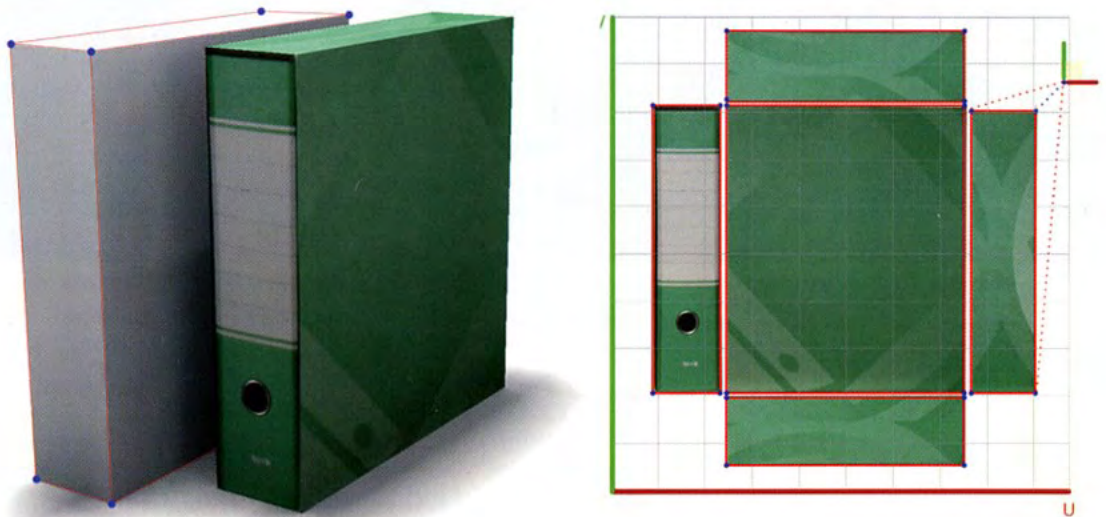
Figg. 293 - 294 Lo sviluppo della mesh sul piano UV viene generata in funzione del tipo di proiezione assegnata all'oggetto. Osservando lo sviluppo di una sfera a cui è stata applicata un proiezione planare (sopra) e una proiezione sferica (sotto), si nota come nel primo caso si ha una proiezione dei vertici sul piano, mentre nel secondo si ha lo sviluppo su piano della superficie.

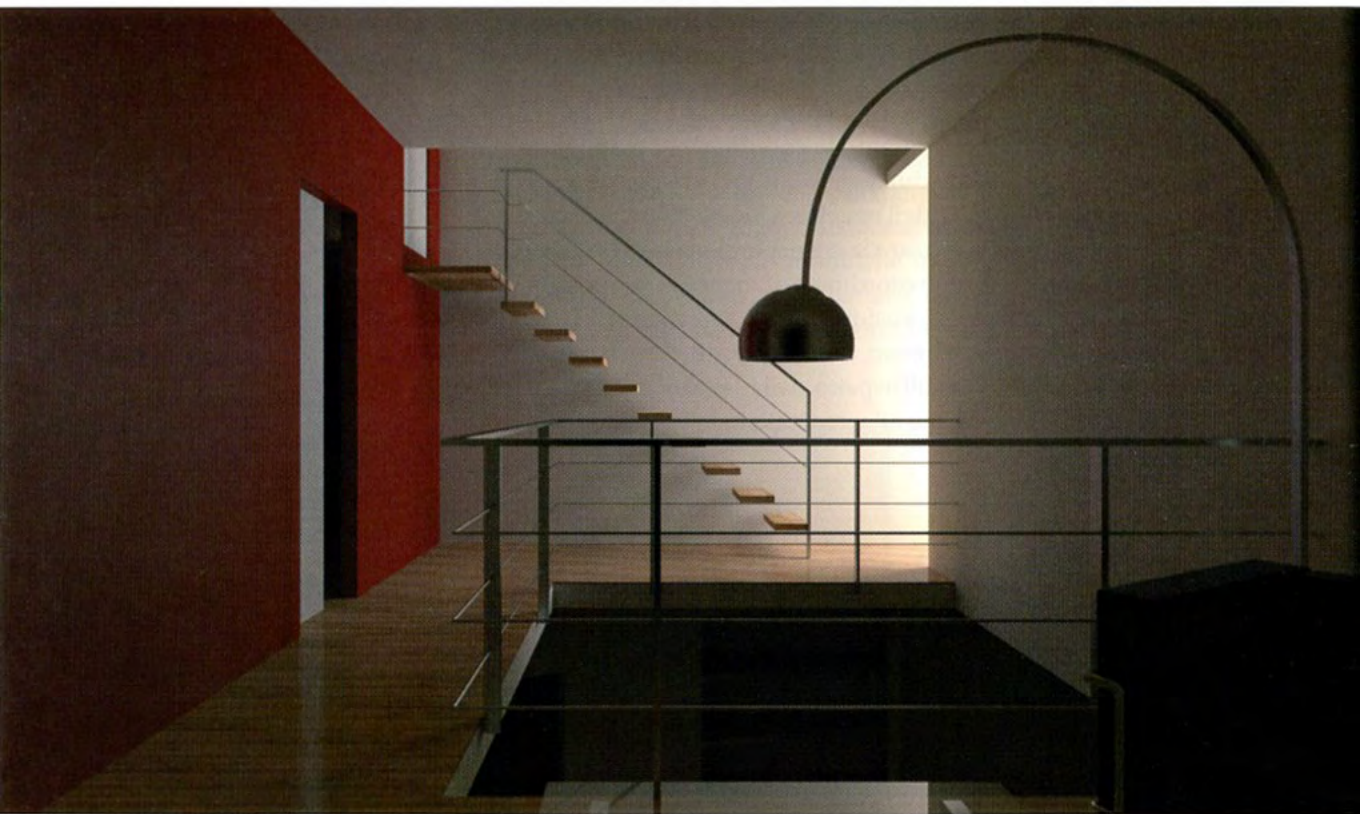


Non sempre le tipologie standard di proiezione della texture riescono a soddisfare le esigenze di mappatura. Nella maggioranza dei casi bisogna assegnare una texture ad un modello che, per sua conformazione e complessità geometrica, non è possibile associare in maniera diretta ad uno dei metodi di proiezione già descritti. Per tale motivo i software per la modellazione sono dotati di un modulo per la mappatura personalizzata; tale modulo assume nomi diversi a seconda del software utilizzato (unwrap UVW, UV texture editor ecc.).

L'*editor UV* mette in relazione, attraverso una sovrapposizione, texture e poligoni definiti da coordinate di mappatura UV; ogni poligono individuato nell'editor, corrisponde ad un analogo sulla superficie dell'oggetto. Questa sovrapposizione permette di personalizzare la corrispondenza tra texture e poligoni; la modifica delle coordinate di mappatura è possibile attraverso strumenti di trasformazione e gestione di facce, lati, e vertici di ogni poligono. La modifica delle coordinate di mappatura influisce sull'aspetto della texture sull'oggetto senza apportare modifiche alla geometria dello stesso (Figg. 295-296).

Figg. 295 - 296 Texturing di una carpetta per ufficio mediante l'utilizzo dell'editor UV. L'assegnazione di una proiezione di tipo box, determina nell'editor uno sviluppo sul piano UV delle facce del parallelepipedo. La possibilità di trasformazione dei vertici, consente di ottimizzare la corrispondenza tra i bordi della singole facce individuate sulla texture e spigoli corrispondenti sulla scatola.





Giuseppe Dallì Cardillo, rendering di un interno (progettista: Eliana Gallaro). Scena ottenuta con l'uso di un motore di rendering di tipo unbiased.

Giuseppe Dallì Cardillo

CENNI DI FOTOGRAFIA

Se si volesse dare una descrizione semplice dei componenti di una macchina fotografica, si potrebbe immaginare formata da un elemento principale, che prende il nome di corpo macchina, munito di un foro circolare ed un sistema di lenti, detto obiettivo, che proietta attraverso i raggi luminosi esterni un'immagine su una superficie sensibile alla luce, la pellicola.

L'obiettivo ha come funzione principalmente quella di far entrare molta più luce di quella che entrerebbe attraverso un semplice foro stenopeico, in tempi ristretti. La pellicola ha la capacità infine di fissare le immagini grazie alla sostanza sensibile alla luce che la riveste.

Oggi la pellicola è stata sostituita nelle macchine digitali da particolari sensori, dei chip, detti *CCD* (Charge Coupled Device, dispositivo ad accoppiamento di carica).

Attraverso due dispositivi, il *diaframma* e l'*otturatore*, è possibile controllare l'*esposizione* dell'immagine registrando le informazioni relative al contrasto ed alla saturazione, e quali parti dell'immagine risulteranno a fuoco (profondità di campo) secondo le proprie esigenze.

Uno degli elementi principali di una macchina fotografica è, come accennato, l'*obiettivo*. È un dispositivo ottico posto nella parte frontale della macchina composto da diverse lenti e da un diaframma il cui compito è quello di "raccogliere" i raggi luminosi che costituiscono l'immagine e proiettarli sul piano focale.

Le macchine tipo reflex o, nel nostro caso, i più diffusi software di modellazione e rendering, permettono di cambiare gli obiettivi delle camere virtuali, per ottenere svariati risultati a

seconda delle esigenze. Vi sono, infatti, obiettivi più indicati per viste di interni, altri per esterni o per foto di tipo panoramico. Le diverse caratteristiche di un obiettivo sono dovute alla differenza di lunghezza focale, che si può definire come la distanza fra il centro ottico dell'obiettivo e il piano focale. Tale distanza è sempre espressa in millimetri ed è indicata sul corpo dell'obiettivo o nei parametri della camera virtuale dei software.

La lunghezza focale è estremamente importante perché da essa dipende il fattore di ingrandimento di un'immagine e conseguentemente il maggiore o minore angolo di campo (porzione di spazio inquadrabile da un obiettivo). In generale si suole dividere gli obiettivi in:

- obiettivi grandangolari (35 mm o minori) molto indicati per foto di tipo paesaggistico;
- obiettivi normali (50 mm) adatto a vari tipi di presa;
- teleobiettivi (85 mm o maggiori) indicati nel caso si voglia inquadrare singoli soggetti a grande distanza.

L'elemento principale di una buona fotografia o che influisce sulla qualità di un rendering è la luce. Non a caso la stessa parola fotografia è l'unione di due parole greche: "photos" e "grafein" cioè "luce" e "scrivere", quindi scrivere, descrivere attraverso la luce.

Ogni cosa della realtà che ci circonda è percepita dai nostri occhi attraverso la luce e che questa sia artificiale, naturale o simulata è indispensabile per ottenere una buona immagine, reale o virtuale.

I sistemi che controllano la luce in una macchina fotografica tradizionale o in una camera virtuale sono il *diaframma*, l'*otturatore* e la *sensibilità della pellicola*.

Il *diaframma* è quel dispositivo che varia la dimensione del foro attraverso cui la luce raggiunge la pellicola. La dimensione dell'apertura è indicata da una "f" seguita da un numero. Più è piccolo il numero più è grande la dimensione del foro.

L'*otturatore* è una sorta di tendina posta fra diaframma e pellicola che regola il tempo del passaggio della luce all'interno della macchina fotografica. Si misura con valori posti a denominatore che indicano frazioni di secondo: 1/125 è un tempo di esposizione superiore ad 1/500. Tempi inferiori (1/500, 1/1000, 1/2000 consentono foto nitide di soggetti in movimento, tempi superiori (1/60, 1/8, 1 s) sono indicati per soggetti fermi in condizioni di luce sfavorevole. Nel caso di tempi di esposizione particolarmente lunghi è consigliato l'ausilio di un treppiedi.

La coppia otturatore/diaframma regola la quantità di luce in un'immagine.

La *sensibilità della pellicola*, misurata in *ISO* o *ASA*, determina la quantità di luce da imprimere sulla pellicola, a parità di condizioni di otturatore/diaframma: un valore alto (es. 1000 ASA) determinata la capacità di impressionare la pellicola anche con condizioni di luce molto bassa, come avviene di sera o negli interni.

I parametri appena descritti sono utilizzati anche nella fotografia digitale, che, pur non imprimendo il negativo dell'immagine sulla pellicola, simula i processi che sottendono la quantità di luce presente nell'immagine.

TECNICHE DI RENDERING

Il termine rendering deriva dal verbo inglese "to render" e identifica il processo di resa della vista piana di un modello tridimensionale tramite accostamento di pixels.

Per alcuni aspetti, e con le dovute cautele, può essere paragonato ad una foto, e, quindi, può essere studiato tramite parametri analoghi, quali la posizione di presa, la quantità di luce necessaria, la messa a fuoco, la porzione di spazio da rappresentare. Nella realtà va, comunque, ricordato, che, a differenza dell'ambiente virtuale di un software di modellazione e rendering, le caratteristiche fisiche e dello spettro della luce sono ben più complesse delle reazioni simulate da algoritmi informatizzati.

La luce che noi percepiamo nella realtà è una parte dello spettro dell'energia elettromagnetica. Tale irradiazione si propaga nello spazio con lunghezze d'onda diverse e che danno luogo ad una grande varietà di raggi: gamma, x, ultravioletti, infrarossi, ecc. Le frequenze del "visibile" ai nostri occhi sono quelle che vanno dai raggi ultravioletti a quelli infrarossi e la "luce bianca" è la combinazione di tutte le lunghezze d'onda comprese all'interno dello spettro del visibile.

Un oggetto viene percepito, quindi, con un particolare colore, ad esempio verde, perché tutta la luce, tranne quella verde, che viene riflessa e giunge ai nostri occhi, viene assorbita dal materiale (Fig.298).

Fig. 298 A fronte: Giuseppe Dalì Cardillo, rendering di un interno (progettista: Eliana Gallaro). Scena ottenuta con l'uso di un motore di rendering di tipo unbiased. I punti neri prendono il nome di rumore (noise), e sono i tipici difetti delle immagini ottenute con questi sistemi. La riduzione del rumore si ottiene aumentando i tempi di calcolo.



Una superficie può riflettere tutto o parte del raggio di luce, in una o più direzioni. Vi sono poi i casi di riflessione, trasparenza e traslucenza. Sommando i valori di assorbimento, riflessione e rifrazione, si ottiene il totale della quantità di luce. I raggi riflessi e/o rifratti possono colpire altre superfici, dove verranno assorbiti, riflessi e rifratti a loro volta. Alcuni di questi raggi, alla fine del viaggio (i vari passaggi vengono spesso definiti rimbalzi), colpiscono il nostro occhio, permettendoci di vedere la scena.

Si comprende come la complessità del fenomeno induca i programmatori a semplificare la mole immensa di calcoli necessari ad una corretta interpretazione della fisica della luce. A seconda del livello di semplificazione del processo si pos-

sono definire due tipologie di software atti alla produzione di immagini: i motori di *rendering di tipo biased* e quelli *unbiased*, che possiamo tradurre liberamente in “con compromessi” e in “senza compromessi”.

I *motori biased* applicano meccanismi di interpolazione o piccoli artifici per ottenere un’immagine gradevole in tempi ristretti di calcolo. Nel caso dei *motori unbiased*, invece, l’approccio è basato sulle leggi della fisica attraverso calcoli dello spettro della frequenza della luce, calcolando tutte le possibili interazioni tra luce ed oggetti in scena e considerando tutte le possibili combinazioni di luce diretta ed indiretta.

IL RAY TRACING

Uno dei primi metodi di calcolo della luce e delle superfici che hanno dato un grande contributo all’evoluzione della computer grafica è la tecnica *ray tracing* cioè dei raggi traccianti.

Il *ray tracing* nasce da studi di geometria ottica alla base della quale vi era il calcolo del percorso fatto dalla luce, seguendone i raggi, fino all’interazione con le superfici.

In computer grafica la prima “versione” di ray tracing fu il ray casting.

Come molte applicazioni moderne, l’idea e l’esigenza di creare un algoritmo che analizzasse le traiettorie della luce nasce in ambito militare. Nel 1966 gli scienziati del Mathematical Applications Group, Inc. (MAGI) di Elmsford a New York presentarono una formula ed un procedimento matematico che permetteva di effettuare precisi calcoli sull’esposizione alle radiazioni dei soldati. Il dipartimento della difesa americano fu interessato a tale tecnologia in quanto il software creato dal MAGI calcolava sia i rimbalzi dei raggi gamma sulle superfici, sia come questi venivano assorbiti dagli oggetti. Questi calcoli furono utilizzati per la costruzione di veicoli che avrebbero protetto i contingenti dalle radiazioni e per la progettazione di navicelle spaziali. Al pubblico il ray casting

venne presentato però solo due anni più tardi da Arthur Appel nel 1968.

L'idea di fondo era quella di far partire i raggi non dalle sorgenti, ma dall'osservatore determinando quale fosse il reale percorso della luce e quali oggetti ne fossero influenzati per prima. La grande rivoluzione del ray casting era dovuta al fatto che rispetto ad algoritmi precedenti come lo scanline⁹, la gestione di superfici complesse come sfere risultava più agevole e corretta.

Dagli anni settanta il dr. Philip Mittelman adattò il sistema per la generazione di immagini al computer. Nel 1972 MAGI divenne un'azienda commerciale per fini civili, creando animazioni per la televisione, documentari e alcuni film tra cui l'avveneristico Tron. Basta comunque osservare le immagini prodotte in quel periodo per rendersi conto dell'evoluzione successiva avvenuta col ray tracing.

Il *ray casting* si occupava, infatti, solo di determinare quali superfici, quindi quali oggetti fossero visibili da un determinato punto di vista, ma le limitazioni materiche erano evidenti. Il ray tracing estese le potenzialità dell'algoritmo stabilendo anche come dovessero apparire le superfici da un punto di vista materico, e con ottimi risultati nel campo delle riflessioni e delle trasparenze.

Come il ray casting anche il ray tracing parte da alcuni presupposti fondamentali che sono essenziali per ottenere un'immagine digitale. Le luci sono di fondamentale importanza poiché sono i punti da cui partono i raggi; senza di esse non sarebbe possibile visualizzare nulla venendo a mancare i raggi da tracciare nello spazio. Infine è essenziale decidere ed impostare un punto di vista dell'osservatore attraverso il posizionamento in scena di una camera virtuale. Le proprietà delle camere virtuali sono molto simili a quelle di una macchina fotografica reale quindi è importante il loro corretto po-

⁹ Lo scanline nasce come semplice algoritmo per riempire i poligoni. Ogni oggetto in scena viene riempito secondo una linea virtuale di scansione dall'alto verso il basso. Ogni riga ottenuta viene analizzata da sinistra a destra. Quando l'algoritmo incontra un bordo di un poligono inizia il processo di riempimento, che termina appena si incontra il bordo successivo. Tale processo per superfici complesse come sfere o cilindri risultava poco preciso e generava tempi di calcolo molto lunghi.

sizionamento ed il setting al fine di ottenere una buona resa delle immagini.

Il termine “ray” viene tradotto come “raggio”¹⁰, assimilabile concettualmente ad un vettore. Un insieme di raggi generano un fascio di luce che parte da un determinato punto della scena per illuminare gli oggetti determinando quindi quali saranno le superfici effettivamente visualizzate.

Il principio su cui si basa l’algoritmo non può considerarsi fisicamente corretto in ogni suo aspetto, ma riduce notevolmente la complessità dei calcoli da effettuare. Si basa infatti sulla constatazione, vera, che i fotoni che viaggiano in natura in un ambiente reale sono miliardi, ma quelli effettivamente utili al nostro scopo sono in realtà solo quelli che arrivano alla camera, cioè al punto di vista dell’osservatore. La maggior parte dei raggi luminosi infatti non forniscono dati significativi poiché potrebbero non raggiungerci mai o finire dispersi nello spazio. L’algoritmo per effettuare un calcolo oculato a tale fine fa un percorso inverso rispetto a quello della realtà, non parte cioè dalle fonti luminose per determinare quali oggetti siano o no illuminati, ma dal nostro occhio fino al modello 3d. In questo modo elabora solo le informazioni strettamente necessarie per costruire l’immagine, in quanto il calcolo interessa esclusivamente gli oggetti realmente visibili. Una volta intersecato un oggetto il raggio deve determinare la quantità di luce che effettivamente colpisce l’oggetto. Per far ciò dal punto trovato partono dei raggi la cui funzione è intersecare tutte le sorgenti di luce presenti in scena. Se il raggio individuato non è bloccato da altri corpi opachi, significa che la quantità di luce di quella determinata sorgente può essere utilizzata per trovare la luminosità complessiva del pixel cercato (Fig. 299).

Nel 1979 Turner Whitted specifica meglio alcune funzioni dell’algoritmo. Teorizza che un raggio che colpisce una superficie può generare fino a tre tipi di nuovi raggi ed effetti corrispondenti: riflessione, rifrazione ed ombra. Se la superficie incontrata è infatti trasparente o riflettente il raggio

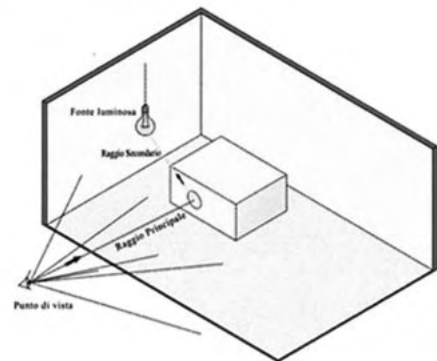
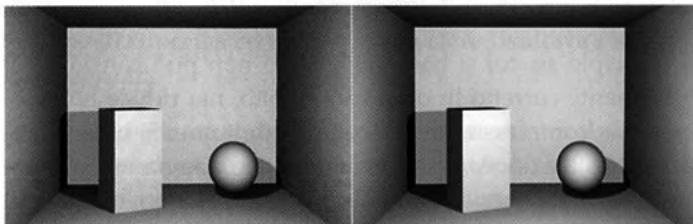


Fig. 299 Schema descrittivo dell’algoritmo di Ray Tracing. Il raggio principale parte dalla camera virtuale fino ad intersecare una superficie di un oggetto in scena. La luminosità in quel punto è calcolata tracciando un raggio secondario fino ad incontrare una sorgente luminosa.

¹⁰ Nella terminologia specifica si usa il termine raggio campione.

“continua” il suo percorso fino ad incontrare un corpo completamente opaco ripetendo l’algoritmo di ray tracing fino a raggiungere il numero di rimbalzi massimo predeterminato. Analizzando meglio questi fenomeni accade che, in caso di riflessione, come per specchi o marmi, è importante determinare non solo il colore dell’oggetto ma anche quello degli oggetti che in esso si riflettono (Figg. 300-301).

Fig. 300 - 301 Immagine ottenuta attraverso l'algoritmo di Ray tracing. Il basso numero di raggi campione inviati provoca molti artefatti nell'immagine che risulta poco definita e con molto rumore (noise). Nella seconda immagine il numero dei raggi campione è invece sufficiente per ottenere un'immagine priva di artefatti e con poco rumore.



Nella trasparenza invece il raggio attraversa la superficie uscendone inclinato secondo un indice di rifrazione (IOR, *Index Of Refraction*) che varia in base al materiale. Il calcolo dell’ombra è il più intuitivo, basta immaginare di trovarsi sulla superficie dell’oggetto preso in esame e verificare se si scorgano o meno fasci di luce. In caso affermativo significa che i fotoni sono liberi di viaggiare dalla sorgente al corpo illuminando quindi i pixel che ne compongono l’immagine. In caso negativo significa che almeno un oggetto opaco si frappone fra noi e la sorgente luminosa generando così un raggio ombra. L’insieme dei raggi ombra disegna la sagoma dell’ombra cercata. Per ottenere un risultato accettabile i processi descritti devono ripetersi un numero arbitrario ma finito di volte. Per tale caratteristica il ray tracing è definito come un algoritmo ricorsivo.

Il raggio che parte dal punto di vista fino all’oggetto è detto raggio principale, tutti quelli che invece partono dall’intersezione trovata alle sorgenti luminose e che determinano trasparenze, riflessioni e luminosità sono definiti come secondari. È usuale trovare termini come *backward ray tracing* cioè ray tracing a ritroso e *forward ray tracing*, ray tracing in avanti, riferiti all’algoritmo. I termini si riferiscono alla stessa funzione matematica ed allo stesso procedimento, limitandosi solo a descrivere premesse di partenza diverse, dal percorso a ritroso del raggio dall’occhio alla sorgente luminosa o del raggio dalla luce all’osservatore (Fig. 302).

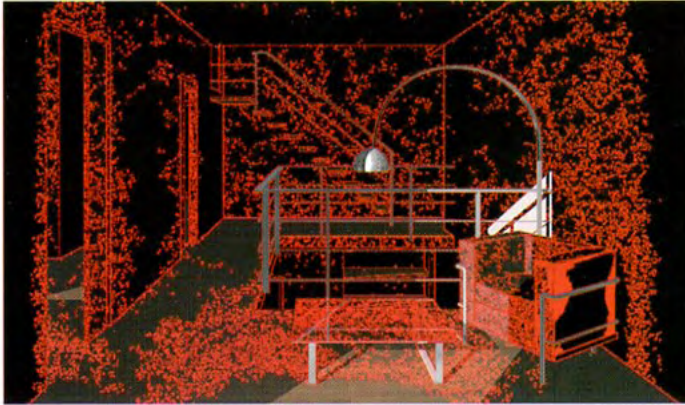


Fig. 302 Visualizzazione dei raggi campione, in rosso, utilizzati per ottenere l'immagine finale.

I processi descritti, com'è facilmente intuibile, danno come risultato un'ottima accuratezza nel calcolo di riflessioni, trasparenze e nel calcolo dell'illuminazione diretta e ombre, ma non risolvono problemi relativi alle interreflessioni diffuse (luce riflessa dagli oggetti in scena). È solo la luce che arriva direttamente dalle sorgenti agli oggetti che viene accuratamente calcolata, ma, come è facilmente osservabile osservando una stanza, le superfici non sono illuminate solo in modo diretto, ma anche dalle innumerevoli fonti di illuminazione indiretta, cioè di "rimbalzo" dalle altre superfici. Per eliminare questo difetto i motori di rendering si affidano ad uno stratagemma fisicamente non corretto, impostano cioè una luce "ambientale" con valori modificabili, ma costanti e non connessi alla scena. Ciò aumenta la luminosità generale delle immagini, ma le rende "piatte" e meno realistiche (Fig. 303).

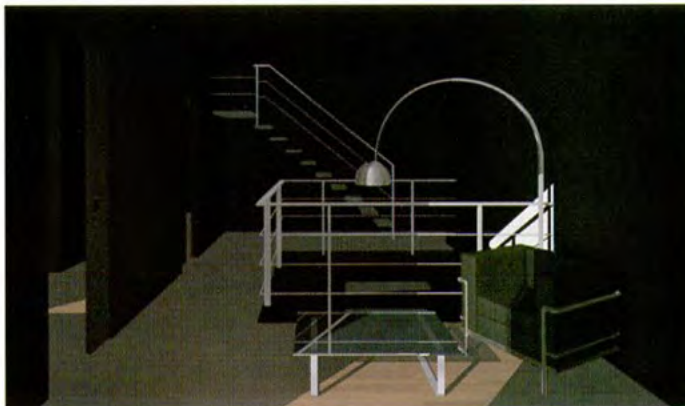


Fig. 303 Giuseppe Dalli Cardillo, rendering di un interno (progettista: Eliana Gallaro). Immagine ottenuta attraverso l'algoritmo di Ray tracing con l'ausilio di una sola sorgente luminosa. La scena è visibile solo nelle zone illuminate per effetto della luce diretta. Per ottenere un'illuminazione più omogenea solitamente è opportuno posizionare più luci in scena.

RADIOSITY

Per *radiosity* (radiosità in italiano) si intende un algoritmo di rendering usato in computer grafica successivo al ray tracing.

La teoria alla sua base era già nota fin dal 1950 e veniva utilizzata in ingegneria per il calcolo della trasmissione del calore e per la creazione di modelli termodinamici.

Come metodo di rendering venne invece presentata solo nel 1984 da ricercatori della Cornell University in un articolo sull'interazione della luce sulle superfici continue.

La definizione scientifica di radiosità la descrive come l'energia che rilascia una superficie in un certo intervallo di tempo, dove per energia si intende sia quella assorbita che quella diffusa. Un passo importante, dal modello fisico/matematico a quello dei rendering fu una migliore implementazione del metodo degli elementi finiti e la semplificazione di considerare le superfici come perfettamente diffuse, tendendo conto solamente di quei raggi che partendo da una sorgente e riflessi in modo diffuso dalle superfici raggiungono l'occhio dell'osservatore.

Le differenze, rispetto allo scanline o al ray tracing furono subito marcate. Fino a quel momento un modello 3d, soprattutto in ambito architettonico, nei rendering di interni doveva scontrarsi con il problema della luce diffusa delle stanze. Infatti, come facilmente verificabile nella realtà, tutti gli oggetti, le pareti, il pavimento e il soffitto, in misura più o meno marcata, riflettono la luce proveniente dalle fonti luminose. Algoritmi come il ray tracing, ottimi nella gestione della luce diretta, non riuscivano, comunque, se non con lo stratagemma della luce ambientale, a generare una luce morbida data dalle innumerevoli riflessioni dei raggi nell'ambiente. Il radiosity sopperisce a questa deficienza. Fino a quel momento un'illuminazione tipica di una scena consisteva in almeno tre luci, una diretta per creare ombre marcate, una ambientale per evitare zone troppo scure, e delle luci omnidirezionali senza ombre per ridurre la piattezza della soluzione lumi-

nosa ambientale. Con la radiosità, occorre in teoria una sola sorgente; l'ambiente viene illuminato dai rimbalzi della luce sulle superfici. Ciò crea ombre morbide e i colori degli oggetti sono influenzati fra loro da effetti "fuga di colore" molto realistici (Fig. 304).

I metodi usati nel radiosity per ottenere la soluzione luminosa corretta sono parecchi, tutti nascono però da alcune semplificazioni comuni. Gli oggetti della scena vengono, in tutti i casi, suddivisi in una o più superfici dette, singolarmente, patches, cioè toppe o chiazze, o in elementi che sono ulteriori suddivisioni delle patches utili in casi particolari. Le *patches* sono solitamente quadrangoli dotati della proprietà di spedire energia luminosa (si parla infatti del metodo di shooting radiosity). Minore è il numero delle patches, più rapido sarà il calcolo della luce. L'algoritmo si occupa di una patch alla volta calcolando la quantità di luce che vi giunge dalle sorgenti luminose, ma anche dalle altre superfici. Questo perché si considerano gli elementi tutti perfettamente diffusivi, quindi una parte di luce viene assorbita, il resto viene riflesso in scena per i prossimi calcoli, incrementando la quantità di luce disponibile. La luce viene trasmessa da una patch, verso le altre, ad ogni passaggio dell'algoritmo. Dopo il primo passaggio ad esempio, saranno interessate dalla riflessione dei raggi solo le superfici contigue a quella iniziale, ma come in un effetto domino, al secondo passaggio si avranno già più riflessioni verso "n" superfici contigue. La luminosità generale dell'ambiente viene incrementata dall'effetto dei rimbalzi dei raggi sulle superfici ad ogni passaggio dell'algoritmo. Ciò avviene fino al totale assorbimento dei raggi luminosi da parte delle patches. L'unico problema relativo all'algoritmo è il fatto che, per ragioni di velocità dei calcoli, la luce irradiata dalle patches si considera distribuita dal centro di ognuna di esse.

Per ottenere un risultato realistico, però, la dimensione e la loro suddivisione dovrebbe essere molto piccola. Un piccolo oggetto, infatti, posto sopra il centro di una patch provoca come risultato un totale assorbimento dell'energia luminosa con conseguenti risultati non corretti nella fase di rendering. Per tale ragione si è pensato ad un'ulteriore suddivisione in parti più piccole detti "elementi" di forma triangolare. Ciò

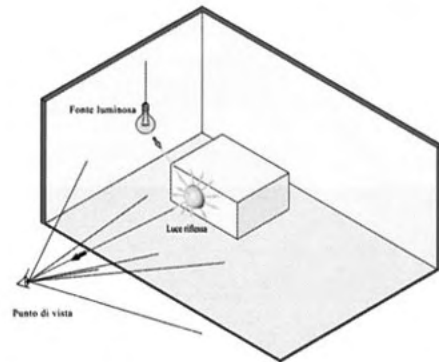


Fig. 304 Schema descrittivo dell'algoritmo di radiosity (radiosity). I raggi luminosi vengono diffusi in tutte le direzioni.

avviene in automatico in base al fattore di forma delle superfici contigue o vicine. Viene quindi calcolata una frazione fra la possibile area emittente della prima patch e una seconda superficie coprente.

I metodi di calcolo più usati dai software di rendering oggi in commercio utilizzano principalmente due sistemi, quello dell'*emicubo* e quello del *raffinamento progressivo*.

Nel 1985 M. F. Cohen e D. P. Greenberg teorizzano il sistema dell'*emicubo* per approssimare il fattore di forma. Si posiziona al centro della patch un mezzo cubo con cinque piccole immagini dell'ambiente. Ogni pixel di queste immagini viene utilizzato per colorare ed illuminare il corrispondente elemento visibile, calcolando la quantità di energia trasmessa. L'utilizzo di hardware appropriato permette una buona accelerazione dei calcoli basati su questo sistema. La scelta della risoluzione delle immagini sull'*emicubo*, permette un facile compromesso fra qualità e velocità di calcolo.

Il secondo sistema, del *raffinamento progressivo*, implementato nel 1988, comincia con l'esaminare tutte le patches disponibili, e, una volta individuata quella che ha un potenziale luminoso maggiore, inizia il calcolo da quest'ultima irradiando l'ambiente con l'energia che da essa può sprigionarsi. L'ambiente riceve tale energia, che viene sommata a quella delle altre patches associate. Il processo riprende, quindi, dalla nuova patch con più potenziale luminoso, fino al completo assorbimento d'energia. I risultati visivi di questo secondo sistema sono visibili in tempo reale e migliorano progressivamente. Fra i vantaggi dell'uso della radiosità vi sono il calcolo della luce diffusa molto accurato, e quello, non indifferente, di generare un'unica soluzione di calcolo relativa all'ambiente, indipendente, quindi, dalla vista e rendendo possibile quindi ottenere più rendering di una stessa scena con un'unica soluzione di calcolo (differentemente dai ray tracing che è invece legato alla vista). Fra i limiti invece vi sono da menzionare il massiccio uso di RAM che, in scene particolarmente complesse, può rendere impossibile l'ottenimento del risultato. L'algoritmo, inoltre, proprio per la sua natura, può dare luogo facilmente a difetti nelle immagini se la suddivisione

in patch ed elementi non risulta adeguata. Il limite maggiore è, però, dovuto all'impossibilità del metodo di calcolare effetti come le riflessioni speculari e la trasparenza degli oggetti (Figg. 305-306).

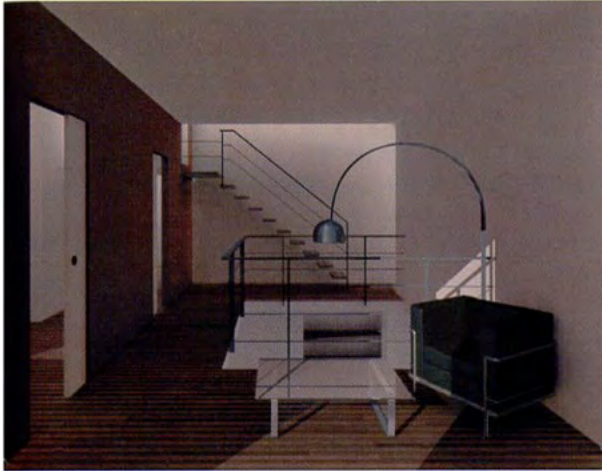


Fig. 305 Giuseppe Dallì Cardillo, rendering di un interno (progettista: Eliana Gallaro). immagine ottenuta attraverso l'algoritmo di Radiosity. Una sola sorgente luminosa è sufficiente ad illuminare l'intera scena.



Fig. 306 Giuseppe Dallì Cardillo, rendering di un interno (progettista: Eliana Gallaro). Immagine ottenuta attraverso la composizione in post-produzione delle scene renderizzate attraverso il ray tracing ed il radiosity. Si osservi come, rispetto alla scena precedente, l'immagine risulti un po' più nitida.

ILLUMINAZIONE GLOBALE E PHOTON

MAPPING

Come già accennato precedentemente, l'elemento principale di una buona foto o di un'immagine è la luce.

Tutti gli algoritmi fin qui analizzati cercano di trovare delle soluzioni matematiche accettabili sia in termini di tempi di calcolo, che di correttezza della soluzione luminosa trovata. Sia il ray tracing che il radiosity possono essere considerati, pur se con i limiti propri di entrambi i metodi, come algo-

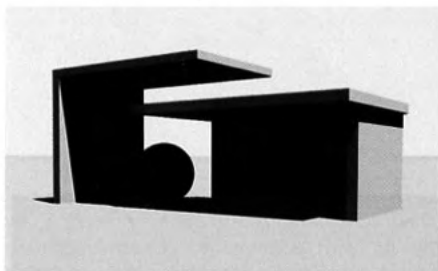


Fig. 307 Immagine senza gli effetti della Global Illumination. Si nota come le ombre siano nette e come gli oggetti non direttamente illuminati risultino completamente in ombra.

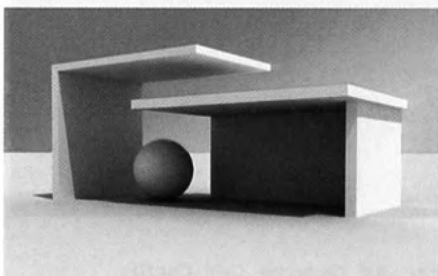


Fig. 308 Immagine ottenuta attraverso l'uso della Global Illumination. Anche se gli oggetti in scena non sono direttamente colpiti dalla luce diretta, risultano in ombra ma visibili e ben illuminati.

ritmi di illuminazione globale. Per *Global Illumination* (GI), cioè illuminazione globale, si intendono tutti quei sistemi che vengono usati in computer grafica per ottenere un'illuminazione realistica di una scena. Per ottenere ciò non basta solo considerare la luce ricevuta da un oggetto in modo diretto da una sorgente, illuminazione diretta, ma deve essere considerata anche quella che l'oggetto riceve indirettamente attraverso le riflessioni delle altre superfici nell'ambiente. Come conseguenza diretta degli algoritmi di illuminazione globale vi sono una migliore diffusione della luce, il fenomeno del *blending*, cioè del trasferimento di colore da una superficie all'altra e la comparsa in scena di ombre dai contorni morbidi e sfumati.

Il modello matematico più astratto e diffuso che tratta la diffusione della luce in un motore di rendering è l'equazione del rendering, che si fonda sulle leggi fisiche di conservazione dell'energia. L'equazione è un integrale che vede la luce di una determinato punto come la somma della luce emessa in quella zona e degli infiniti contributi di luce riflessa da tutti gli oggetti in quel punto. Somma quindi di luce diretta e indiretta. Come la luce venga riflessa viene descritto da un algoritmo matematico in acronimo *BRDF* (Bidirectional Reflectance Distribution Function) cioè funzione di distribuzione della riflessione bidirezionale (Figg. 307-308).

Oltre al ray tracing e al radiosity, oggi sono stati sviluppati innumerevoli algoritmi di calcolo per risolvere l'equazione del rendering con una maggiore ottimizzazione dei tempi di calcolo e della soluzione luminosa trovata.

Tutti gli algoritmi usati per il calcolo della distribuzione luminosa dell'energia in una scena sono correlati alla fisica della termodinamica. Vi sono innumerevoli sistemi di calcolo, fra quelli più diffusi vi è quello dell'*Irradiance Map* (noto anche come mappa di irradianza, basato sul calcolo dell'energia incidente su una superficie) e il *photon mapping*. La sua particolarità è quella di riuscire a calcolare molto bene le rifrazioni della luce attraverso superfici trasparenti ed effetti particellari come fumo e vapore.

Sviluppato dal danese Henrik Wann Jensen procede attraverso due fasi distinte. La prima simula l'emissione di fotoni, photon tracing, dalle sorgenti di luce agli oggetti in scena.

Incontrando una superficie i fotoni vengono riflessi e il valore luminoso che conservano viene memorizzato in una mappa 3d virtuale (photon map). Il procedimento è molto simile a quello del ray tracing con la differenza che non è inverso e che risulta indipendente dalla vista permettendo quindi di utilizzare il calcolo della luce anche in rendering successivi (Fig. 309).

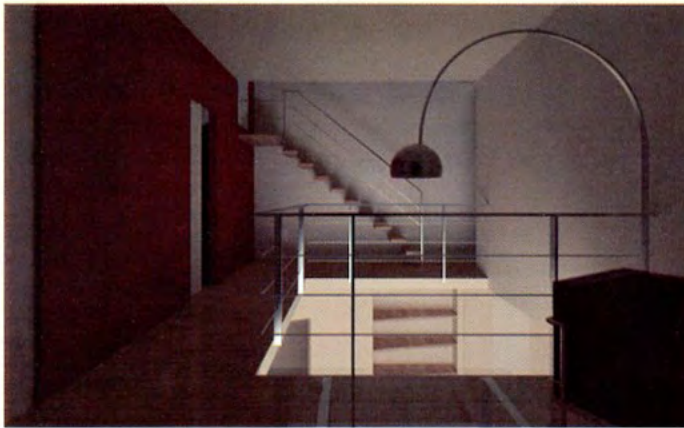


Fig. 309 Giuseppe Dalli Cardillo, rendering di un interno (progettista: Eliana Gallaro). scena renderizzata attraverso motori di rendering attuali. La luminosità generale è data dalla somma della luce diretta e di quella indiretta, con utilizzo della global illumination.

La seconda fase è quella del rendering con l'uso della *Photon Map* (mappa di fotoni) precedentemente generata per ottenere la soluzione luminosa. Più fotoni sono presenti nei settaggi, migliore sarà la soluzione ottenuta. I principali software di rendering prevedono un'ulteriore procedura di calcolo detta *gathering*, (*raccolta*) in cui i punti della mappa di fotoni si "fondono". L'immagine viene suddivisa da una griglia virtuale (risultando dipendente dalla vista) e per ciascun punto della griglia si traccia un raggio dal punto di vista alla scena. Quando un raggio interseca un oggetto della scena che necessita del calcolo di irradianza si forma una semisfera da cui vengono fatti partire dei raggi di numero finito intorno al punto di intersezione interpolando i risultati ottenuti e ottenendo soluzioni qualitativamente migliori.

HDRI

Anche se i risultati della *Global Illumination* sono spesso soddisfacenti, un metodo particolare, spesso utilizzato nella realizzazione di immagini di buona qualità nell'ambito del design di oggetti è il rendering che utilizza l'HDRI.

L'acronimo *HDRI, High Dynamic Range Images*, indica un particolare formato di memorizzazione delle immagini utilizzate in computer grafica come sistema di illuminazione e mappa di riflessione. Attraverso una mappatura (spesso sferica ma anche di altre forme), l'HDRI illumina la scena con differenti livelli di colore e luce basati sulla quantità di luce che effettivamente ogni pixel dell'immagine contiene. Tale tecnica può essere identificata come il punto d'incontro tra la fotografia tradizionale, la fisica della luce e la realtà virtuale. I calcoli della luce vengono effettuati in uno spettro più ampio del normale (appunto high range) con valori di luce molto alti o molto bassi. Alla base della tecnica vi è la branca della fisica che studia la fotometria.

La tecnica venne introdotta in computer grafica per la prima volta da Paul Debevec intorno agli anni '80, mentre la compilazione del formato `*.hdr` è dovuta a Gregory Ward.

Le informazioni memorizzate in un'immagine HDRI contengono al loro interno i valori fisici di radianza e luminosità che è possibile osservare nel mondo reale attraverso l'occhio umano, ma che una macchina fotografica, con le tecniche tradizionali, non potrebbe mai cogliere. Le immagini tradizionali, memorizzate in qualsiasi formato sono definite generalmente *LDRI, Low Dynamic Range Images*.

In una macchina fotografica l'esposizione e la messa a fuoco di un soggetto, anche disposto su piani diversi, è fissa, risulta, cioè, memorizzata un'immagine con determinate caratteristiche e con proprietà generali che sono valide su tutta l'immagine. L'occhio umano, quando inquadra un soggetto, invece, si muove, cambia la messa a fuoco, e quindi cambia l'esposizione del soggetto centinaia di volte al secondo. Anche un piccolissimo spostamento della porzione di soggetto che si

guarda, provoca un totale cambiamento delle proprietà ottiche dell'immagine che ci giunge. Ciò vale per ogni punto dell'ambiente che ha quindi messa a fuoco ed esposizione localizzate su se stesso e non generali per tutto. Naturalmente, effettuare questo procedimento su una foto semplice sarebbe particolarmente laborioso (occorrerebbero infinite immagini da interpolare). L'HDRI si "limita" a combinare una serie di scatti (da tre a cinque solitamente) con *valori di esposizione* diversi, che vanno solitamente da -2 a +2 (cioè -2, -1, 0, +1, +2) in modo da avere maggiori informazioni su profondità di colore, saturazione e luminosità di ogni singolo pixel. Tale processo trasforma gli 8 bit che sarebbero necessari per rappresentare un pixel in 32 bit, cosa che permette di avere la gamma completa di luminosità (Figg. 310-311). Attraverso questa tecnica fotografica si può bilanciare la luce dell'immagine su ogni singolo punto (due pixel con valore RGB 255, 255, 255, che, normalmente, sarebbero identici in una foto tradizionale, in HDRI potrebbero avere intensità luminosa differente, indipendentemente dal loro colore).

In computer grafica, nella realizzazione di rendering, l'uso dell'HDRI è nato inizialmente come semplificazione dei settaggi luminosi nel calcolo di una soluzione di illuminazione globale, ma oggi è considerato un espediente per rendere più realistiche le realizzazioni di immagini, soprattutto nell'ambito del disegno industriale o nelle scene esterne. Basta realizzare un materiale con una mappa HDRI ed inserirlo come luce ambientale nel calcolo della illuminazione globale e le informazioni di luminosità e radianza contenute vengono interpretate dal motore di rendering ed utilizzate per creare le infinite sfumature di luce presenti in un ambiente.

Facendo scatti multipli ad una sfera d'acciaio di almeno 20 cm. di diametro detta *probe*, è possibile realizzare un'HDRI di un ambiente reale ed utilizzarne le informazioni in modo abbastanza semplice, per ottenere le medesime condizioni di luce e riflessione in una scena virtuale. L'unica accortezza è quella di disabilitare, in qualsiasi motore di rendering o software le luci tradizionali, comprese quelle di default, per evitare incongruenze nelle ombre o valori di luminosità troppo elevati o laboriosi da settare.



Fig. 310 Illuminazione classica attraverso luce di tipo diretto e Global Illumination. Le superfici riflettono la luce e gli oggetti circostanti.



Fig. 311 Illuminazione e riflessione attraverso HDRI. La riflessione speculare è simulata grazie ad un'immagine che potrebbe anche non avere alcuna relazione con la scena del modello.



Fig. 312 Denise Ippolito, interno di un edificio residenziale. Si notano vari aspetti che contribuiscono al realismo: dalle superfici luminescenti delle vetrate alla trasparenza del vetro del tavolino, alla capacità di riflessione delle superfici di ringhiera e libreria, alla simulazione materica del parquet.

TECNICHE DI RESA FOTOREALISTICA

Il rendering fotorealistico è la risposta che le tecniche digitali offrono alla ricerca di mimesi che da sempre ha caratterizzato, in varie forme, l'operazione del disegno.

Con *fotorealismo* si intende la ricerca di verosimiglianza dell'immagine con la realtà, cioè tutta quella serie di operazioni di gestione delle luci e delle caratteristiche dei materiali che consentono di ripetere in termini informatici le qualità visive, ottiche e materiche del mondo reale.

La resa delle immagini fotorealistiche è fortemente influenzata, oltre che da un'attenta gestione delle operazioni di mappatura, dalla qualità di un buon sistema di illuminazione, che simuli quello che accade nella realtà.

I motori di rendering tengono conto di una molteplice serie di parametri ed opzioni inerenti il sistema luce consentendo la restituzione digitale di aspetti fisici reali. Ovvio allora l'implementazione di algoritmi che distribuiscano la luce in modo naturale all'interno di scene ed ambientazioni digitali, quali il calcolo del *radiosity* e della *illuminazione globale*.

E' sicuramente possibile ottenere rappresentazioni del modello che mostrino un più semplice calcolo *raytracing*, o perfino una visualizzazione wireframe, così come adottare una illuminazione ottenuta tramite mappe di ombra, e si configura la possibilità di incrociare tali tecniche anche in successivi passaggi per ottenere risultati completamente differenti.

Nelle immagini sono mostrati renderings ottenuti con varie tecniche di mappatura e con motori di rendering che sfruttano parametri molto avanzati. È possibile notare la simula-

zione della consistenza materica, nonché l'effetto di ombreggiatura dato da fonti luminose che simulano la luce solare o impianti di illuminazione artificiali.

La caratteristica che accomuna le immagini di questo capitolo è proprio quella della ricerca di un effetto di realismo: si cerca di rappresentare l'esistente in modo molto simile a come si percepisce realmente ed il progetto per come si pensa che sarà percepito nel momento in cui sarà realizzato (Figg. 313-316).



Fig. 313 Giuseppe Azzaro, interno di un edificio residenziale. La luce solare è simulata da una fonte di direzioneale.



Fig. 314 Denise Ippolito, sala riunioni. Tra gli aspetti che contribuiscono al realismo si notano la leggera luminescenza delle superfici vetrate, la morbidezza delle ombre e la maggiore luminosità delle pareti e del pavimento in prossimità della finestra.

In ambito progettuale questa tecnica consente di avere un alto livello di pre-visione dell'intervento progettuale, aspetto che può essere di particolare interesse per una committenza non necessariamente esperta nell'interpretazione di elaborati tecnici e di effetto meno immediato¹².

Un altro aspetto in cui questa tecnica si rivela molto utile è quello relativo alla simulazione dell'inserimento del modello di progetto nel contesto in cui dev'essere realizzato. Si può rendere cioè visibile il rapporto che il nuovo complesso instaura con l'ambiente, sia esso costruito che naturale, non limitandosi a visualizzare soltanto gli aspetti dimensionali e morfologici, ma spingendo la simulazione anche agli aspetti materici e luminosi: si vedrà come la struttura architettonica di progetto reagirà alla stessa luce che investe l'ambiente circostante e che rapporto ci sarà tra la percezione dei materiali previsti per la sua costruzione e quella di quanto già esiste.

Le tecniche da utilizzare per arrivare alla simulazione fotorealistica sono molteplici. Si deve, innanzi tutto, attribuire alle entità le caratteristiche di simulazione materica attraverso processi di texturing. Questa fase, come già visto, è determinante al fine di una corretta definizione materica.



¹² "Ulteriori vantaggi sono riscontrabili nella maggiore capacità di persuasione che le immagini complesse hanno, dimostrandosi particolarmente funzionali per superare la incapacità di lettura che alcune rappresentazioni possono avere per un'utenza non direttamente tecnica." In M. Campi, *Rappresentazione e architettura: siamo a un punto di svolta?*, in F. Quici (a cura di), *Idee per la rappresentazione*, cit. p. 72.



Fig. 315 Denise Ippolito, interno di un edificio residenziale. La morbidezza delle ombre è determinata dalla presenza di luce indiretta proveniente dal lucernaio.

Fig. 316 Denise Ippolito, interno di un edificio residenziale. L'inserimento di dell'immagine di un paesaggio serve a simulare la trasparenza della grande vetrata.

Si devono, inoltre, inserire le fonti luminose e decidere quali di queste fonti proiettano ombra e quali servono soltanto ad illuminare gli oggetti in scena. Bisogna anche decidere se le ombre devono essere morbide, come avviene nel caso di una fonte luminosa diffusa o poco intensa, o nette, come nel caso della simulazione della luce solare incidente¹³.

Alcuni motori di rendering consentono di calcolare la riflessione della luce incidente su superfici limitrofe e di iterare il processo un certo numero di volte. Il processo simula quanto avviene nella realtà: il raggio luminoso incidente viene riflesso secondo un certo angolo, e parte dell'energia luminosa investe le superfici intercettate dai raggi riflessi. La luce riflessa risente anche del colore della superficie da cui è riflessa. A sua volta il raggio derivante dalla prima riflessione continua a riflettersi, investendo le superfici limitrofe, e così via. Nella realtà fenomenica questo processo si ripete innumerevoli volte fino a quando l'energia luminosa non si esaurisce. Un motore di rendering non può simulare tutti i processi di iterazione della riflessione ma un numero controllato di rimbalzi della luce può essere sufficiente a simulare l'effetto.

Si noti, inoltre, che anche la luce riflessa, per quanto più debole della luce incidente, genera ombre, ma queste, solitamente, non presentano contorni netti.

Nelle immagini riportate si può osservare la differenza tra le ombre nette generate dalla luce solare e quelle, più morbide, generate dalle varie superfici riflettenti.

I parametri necessari all'elaborazione di un rendering sono relativi, dunque, alla simulazione materica, alla mappatura, all'inserimento delle fonti luminose ed alla scelta del tipo di ombre da calcolare. Per quanto questi parametri possano essere controllati anche da utenti esperti, è quasi inevitabile, spesso, una post-elaborazione del rendering su un program-

¹³ "L'illuminazione e l'identificazione della texture dei materiali fa parte del nostro codice genetico percettivo. Impariamo a relazionarci con lo spazio euclideo in cui viviamo attraverso un delicato e complesso, quanto preciso e raffinato, sistema di riferimenti e di confronti, che diventa istintivo sin dall'infanzia. [...] Risulta, quindi, consequenziale, riconoscere più semplicemente - e quindi prediligere - immagini che il nostro cervello riconosce quali "familiari". Sono questi alcuni elementi che hanno favorito l'affermazione di strumenti elettronici nella pratica del disegno." In M. Campi, *Rappresentazione e architettura: siamo a un punto di svolta?*, cit. p. 73.

ma di elaborazione di immagini raster.

La *post-elaborazione* (post-processing) è effettuata con programmi di fortoritocco e fotocomposizione e rende possibile la correzione di parametri relativi alla definizione di immagini: la luminosità, la tonalità, la saturazione, il contrasto e tutti quei parametri necessari a bilanciare eventuali scompensi che possono essere generati nel processo di rendering (Figg. 317-318).



Fig. 317 Denise Ippolito, interno di un edificio residenziale. Sono visibili sia le ombre nitide generate dai raggi di una luce direzionale, sia quelle morbide generate dai rimbalzi dei raggi luminosi sulle superfici murarie. I quadri alle pareti sono frutto di un'operazione di texturing.



Fig. 318 Denise Ippolito, House N di Sou Fujimoto. La luce è interamente indiretta.

Questa fase può comprendere operazioni di fotomontaggio, utili a sovrapporre la vista del modello renderizzato ad una presa fotografica.

In questo caso bisogna fare attenzione a due parametri: la vista del modello dev'essere impostata con condizioni proiettive simili a quella della fotografia (coincidenza del punto di vista e dell'asse visivo); le fonti luminose inserite nel modello, inoltre, devono essere posizionate in modo compatibile con quelle presenti nella fotografia (Figg. 319-320).

Il processo consente di inserire il modello nel contesto e si presta, in architettura, ad operazioni di valutazione dell'impatto visivo che un progetto può avere su un contesto ambientale persistente.

Figg. 319 Gabriele Testa, Fabrizio Vazzano, Paolo Zaami, modello di un'imbarcazione, fotomontaggio. I renderings dell'imbarcazione sono sovrapposte a fotografie di un contesto marino.



Figg. 320 Gabriele Testa, Fabrizio Vazzano, Paolo Zaami, modello di un'imbarcazione, fotomontaggio. I renderings dell'imbarcazione sono sovrapposte a fotografie di un contesto marino.

