

Anamorfosi catottrica su superfici riflettenti *free-form*

Francesco Di Paola, Pietro Pedone

Abstract

Lo studio si concentra sulla definizione di una metodologia geometrica per l'impiego dell'anamorfosi catottrica nell'architettura contemporanea. Viene illustrato il particolare fenomeno proiettivo, mostrandone proprietà tipologico-geometriche, rispondenti a meccanismi di riflessione della luce. Si evidenzia che le esperienze pregresse, nel corso dei secoli, impiegano la tecnica, relegando la realizzazione esclusivamente a dispositivi riflettenti realizzati da geometrie semplici, a piccola scala e quasi esclusivamente per specchi convessi. Volendo estendere l'impiego del fenomeno proiettivo e sperimentare le potenzialità espressive su superfici riflettenti di natura geometrica complessa free-form, i metodi geometrici tradizionali limitano la progettualità e il controllo preventivo degli esiti, facendo così venire meno l'effetto desiderato. Si propone, quindi, un processo metodologico generalizzabile di implementazione, definito mediante l'impiego di procedure algoritmico-parametriche, per la determinazione di immagini deformate, descrivendo possibili sviluppi successivi.

Parole chiave: anamorfosi, scienza della rappresentazione, algoritmo generativo, free-form, progetto.

Introduzione

Lo studio indaga sul tema dell'anamorfosi, neologismo del XVII secolo, dal greco ἀναμόρφωσις "riformazione", derivazione di ἀναμόρφώω "formare di nuovo".

È un originale e curioso procedimento geometrico attraverso il quale è possibile rappresentare figure su superfici rendendone le proiezioni interpretabili solo se osservate da un particolare punto di vista, scelto preventivamente dall'autore-progettista.

Nella applicazione dei fondamenti teorico-pratici del metodo scientifico, si manifesta apertamente il felice connubio tra geometria, arte e architettura che si presenta in approcci progettuali e di ricerca scientifica ed empirica suscitando stupore nell'osservatore.

Le applicazioni che ne derivano richiedono padronanza nell'uso delle diverse tecniche della Scienza della Rappre-

sentazione finalizzate alla formulazione della regola per la "deformazione" e la "rigenerazione" di immagini rappresentate [Di Paola, Inzerillo, Santagati 2016].

Esiste una particolare forma di espressione, in arte e nella vita quotidiana, di illusioni ottiche anamorfiche solitamente definite "catottriche" o "speculari".

L'approfondimento, presentato in questa sede, si concentra su questa tipologia di anamorfosi, che, come è noto, necessita dell'ulteriore presenza di dispositivi riflettenti che permettono di decifrare l'immagine deformata.

Il fenomeno geometrico dell'anamorfosi è noto sin dal XIV secolo e trova posto nelle più ampie trattazioni sulla prospettiva [Accolti 1625; Baltrušaitis 1969; Gardner 1975]. Applicazioni di questa tecnica si ritrovano nelle

opere di pittori quali Piero della Francesca e Hans Holbein il giovane [Di Paola et al. 2015; De Rosa et al. 2012]. La disciplina viene perfezionata nel suo rigore scientifico in Europa, tra il XV e il XVII secolo, per effetto dei progressi compiuti nel campo della geometria proiettiva e dell'ottica. In tempi recenti, i medesimi principi vengono applicati nella realizzazione di installazioni temporanee e permanenti, su una moltitudine di supporti e a diverse scale. Tra gli artisti, in tal senso, si ricordano Leon Keer, François Abelanet e Felice Varini.

Nel tempo, l'interesse alla tecnica si amplifica, perché profondamente connessa al tema dell'illusione, del paradosso, dell'ossimoro e all'inganno della duplicazione ambigua della proiezione e, soprattutto, con la metafora "radicale" che riconosce all'esperienza visiva, e non solo quella artistica, una natura essenzialmente «spettatoriale» [Ugo 2002, p. 89].

Nella stesura dei trattati, interi capitoli descrivono la genesi geometrica di tali "illusioni".

Uno dei più interessanti protagonisti di questa complessa congiuntura è il matematico e teologo francese Jean-François Nicéron, entrato in giovane età nell'ordine dei Minimi di San Francesco di Paola e dedicatosi altrettanto precocemente allo studio dell'ottica e della prospettiva [Nicéron 1638].

Le esperienze fino a oggi riscontrate si concentrano su applicazioni a scala ridotta, composte esclusivamente da elementi riflettenti di natura geometrica semplice (superfici rigate e regolari: coni e cilindri retti, piani o sfere).

Tale limite dei dispositivi attualmente impiegati è giustificato principalmente da alcuni fattori. *In primis*, la costruzione di un'anamorfoso catottrica, che impieghi una superficie *free-form* o di natura complessa, genera un'immagine distorta che può essere anche di varie volte più grande dell'immagine apparente, a seconda della curvatura della superficie. Inoltre, questa tipologia di dispositivi prevede necessariamente una posizione dell'osservatore opposta e sopraelevata rispetto alla superficie o alle superfici su cui viene riportata l'immagine distorta. Infine, un'immagine virtuale troppo estesa risulterebbe essere difficilmente apprezzabile, facendo così venire meno l'effetto ottico-percettivo desiderato.

La teoria e la pratica dell'anamorfoso catottrica potrebbero offrire numerosi spunti di ricerca interdisciplinare nel campo della geometria applicata all'architettura, alle arti figurative, alla percezione visiva, al design.

Oggi, infatti, in applicazioni di architettura contemporanea, è sempre più diffuso l'impiego di forme complesse

riflettenti che ricorrono a superfici *free-form* a curvatura variabile.

Esistono interventi a scala variabile già installati che si potrebbero prestare ad applicazioni che sfruttino il procedimento proiettivo anamorfo, evidenziandone le potenzialità applicative, sia da un punto di vista espressivo che da un punto di vista progettuale.

L'impiego di tale tecnica permette, infatti, di compensare le aberrazioni tipicamente dovute alla curvatura degli elementi riflettenti, ricavando immagini virtuali intelligibili ottenibili solitamente tramite specchi piani.

Utilizzando tale espediente, gli involucri architettonici potrebbero risultare maggiormente integrati nel contesto circostante, evitando l'alienazione del fruitore e garantendo la possibilità di riconoscere forme non aberrate su una superficie riflettente curva.

Sulla base di queste considerazioni, risulta di interesse approfondire e sperimentare nuove strategie che estendano il campo di applicazione alle superfici *free-form* con l'impiego di innovativi strumenti di rappresentazione digitale. Pertanto, il saggio introduce il metodo proiettivo dell'anamorfoso catottrica, attraverso schemi geometrico-descrittivi, evidenziando i principi teorici e le caratteristiche peculiari del fenomeno ottico-percettivo.

Si procede a introdurre e a definire la metodologia proposta, ponendosi l'obiettivo di ampliare e implementare il metodo geometrico dell'anamorfoso catottrica con strumenti digitali a controllo algoritmico-parametrico del processo progettuale, che generalizzi l'applicazione a elementi architettonici di rilevante estensione e di qualsiasi natura geometrica composti da superfici riflettenti.

A conclusione, per meglio esplicitare la valenza e l'impatto percettivo dell'osservatore e per validare il percorso metodologico avviato, la trattazione prosegue presentando casi applicativi multi-scala.

Anamorfoso catottrica: stato dell'arte

Un'immagine proiettata da un centro di proiezione proprio specifico su una o più superfici piane o *free-form* riflettenti o generata per riflessione in uno specchio deformante (ad esempio di forma cilindrica, conica o piramidale) viene percepita, da un osservatore posto su quel punto di vista, senza deformazioni. L'aberrazione ottica del riflesso compensa la deformazione del disegno anamorfo e lo rende proporzionato e riconoscibile [Di Lazzaro, Murra 2019, p. 16].

L'artificio di illusione ottica viene compreso con meraviglia dallo spettatore non appena assume una posizione di osservazione qualsiasi, percependo a quel punto la figura rappresentata alquanto distorta e incomprensibile.

Le costruzioni grafiche si basano sulle leggi della riflessione ed una peculiarità di questa tipologia di anamorfosi è la possibilità di osservare dallo stesso punto di vista sia un grafico "deformato", sia l'immagine riflessa "corretta".

L'introduzione dello specchio come riflesso, inversione e raddoppiamento rende ancora più esasperato e intenso il gioco dello scambio attore/spettatore, realtà/rappresentazione. Vittorio Ugo descrive efficacemente la tipicità del fenomeno di osservare "dall'esterno": «il solo reale artificio che consenta di rappresentare in un unico contesto il veduto, il vedente e la visione è il rinvio operato dallo specchio: superficie riflettente il reale in un'immagine virtuale» [Ugo 2002, p. 88].

Dell'impiego di dispositivi realizzati con specchi curvi, costituiti storicamente per lo più da superfici rigate, quali cilindri circolari retti e coni retti, da elementi poliedrici o, meno frequentemente, da superfici sferiche, si ha testimonianza fin dal XVI secolo. Uno dei precursori a occuparsi di anamorfosi catottriche è J.L. Vaulezard nel 1630, introducendo esperimenti empirici ed esemplificativi con l'impiego di superfici riflettenti cilindriche e coniche. A metà del XVII secolo i padri Gesuiti, nelle figure di Gaspard Schott e del suo maestro Athanasius Kircher, trattano l'argomento ponendo le basi per la diffusione del fenomeno prospettico [Schott 1657]. Nel XVIII secolo, il tema diventa una imprescindibile pratica da argomentare nei trattati di prospettiva; un esempio autorevole è Ferdinando Galli Bibiena con il suo trattato: *L'architettura civile preparata su la geometria e ridotta alle prospettive. Considerazioni pratiche*, 1711 [Càndito 2010, pp. 71, 72].

Esperienze più recenti si spostano verso applicazioni di anamorfosi catottrica a larga scala [Čučaković, Paunović 2015] e verso la definizione di immagini deformate non bidimensionali, mediante l'utilizzo di programmi CAD, simulazioni con motori di render fisico e codici realizzati *ad hoc* [De Comité 2010; 2011; De Comité, Grisoni 2015].

Anamorfosi catottrica: schemi geometrico-descrittivi

La definizione delle immagini distorte avveniva in un primo momento a occhio, e solo in seguito alle prime sperimentazioni, si raggiunge una conoscenza geometrica tale da permetterne la costruzione rigorosa.

L'anamorfosi catottrica, per permettere l'interpretazione dell'immagine distorta, prevede il corretto posizionamento del dispositivo riflettente oltre che della posizione dell'osservatore.

La complessità ulteriore dovuta all'introduzione di un dispositivo riflettente comporta, così, la necessità di comprenderne le caratteristiche geometriche a fondo, anche in relazione ai meccanismi di riflessione della luce e alle regole della catottrica, schematizzabile mediante raggi lineari.

Tali informazioni risultano essere acquisite dai trattatisti già dalle prime testimonianze dell'impiego di questa tipologia di dispositivi: tuttavia vengono descritte esclusivamente superfici riflettenti realizzate da geometrie piuttosto semplici e quasi esclusivamente per specchi convessi, mentre, le poche testimonianze di trattatistica relativa a specchi concavi ricorrono generalmente a ipotesi semplificative.

Il già citato Jean-François Nicéron, nel 1638, pubblica il trattato *La Perspective Curieuse*, in quattro libri, dedicato interamente alle anamorfosi. Nel terzo libro approfondisce il tema dell'anamorfosi catottrica, descrivendo il fenomeno attraverso esempi grafici.

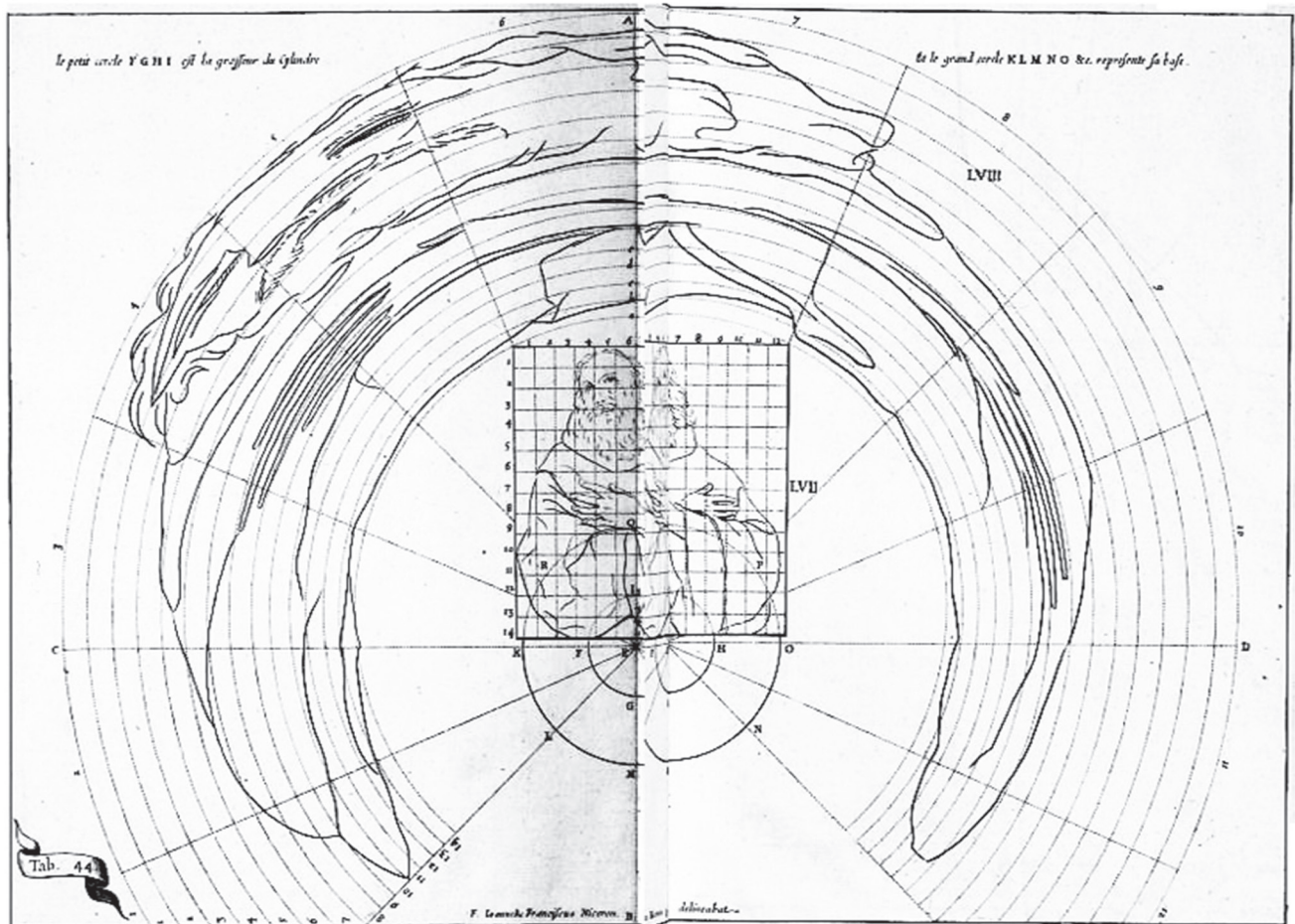
La costruzione dell'anamorfosi catottrica, nota in letteratura, prevede il tracciamento di una griglia anamorfica di riferimento, sulla quale viene successivamente definita a mano l'immagine distorta.

A titolo esemplificativo, ci soffermiamo, in particolare, ad analizzare la costruzione di proiezione prospettica anamorfica di riflessione su superficie specchiante rigata cilindrica convessa con asse verticale.

Nello spazio proiettivo, nella generalità dei casi, l'impostazione di proiezione, che genera la visione dell'immagine anamorfica, deve utilizzare un piano ausiliario perpendicolare al raggio visivo condotto dal punto di vista e centro di proiezione V, sul quale viene riportata la figura in vera forma. Piani ausiliari non perpendicolari alla direzione del raggio visivo genererebbero un'immagine percepita in scorcio, oppure necessiterebbero di ulteriori artifici per compensare tale scorciatura.

Dal confronto con le tavole reperite dai trattati e dai disegni desunti dalla letteratura, si nota che si impiegano diversi accorgimenti grafici con la finalità di semplificare il processo risolutivo; questi restituiscono delle approssimazioni geometriche del fenomeno ottico compensate dall'osservazione diretta del dispositivo con una visione bi-oculare [Hunt, Harding MacKay 2011].

Fig. 1. J.F. Nicéron, proiezione ortogonale su un piano di un'anamorfofi di riflessione su superficie specchiante cilindrica di un ritratto umano (Nicéron 1638, Tab. 44, pp. 428-429).



Le esemplificazioni risiedono nella scelta della posizione spaziale della griglia reale e della distanza dell'osservatore dalla superficie riflettente (equivalente, nella costruzione di Nicéron, a una proiezione da un punto di vista improprio) (fig. 1).

Di seguito si riportano, a confronto, due rappresentazioni del processo anamorfico realizzate secondo due differenti impostazioni.

Ponendosi in un'angolazione "all'esterno" del dispositivo è possibile osservare: il centro della proiezione V , la figura virtuale c , e una griglia di riferimento in vera forma poste sul piano ausiliario β , la figura anamorfica c^* sul piano orizzontale α e la sua immagine riflessa $c^V\sigma$ sulla superficie cilindrica riflettente σ rispetto al punto di vista V .

Si osserva che, se il piano ausiliario β , a cui appartiene la curva c , risultasse a giacitura verticale e passante per l'asse del cilindro, la costruzione geometrica sarebbe di più facile risoluzione grafica, restituendo, però, un risultato meno rigoroso. Così facendo, la griglia di riferimento in vera forma, costituita da rette perpendicolari tra di loro, verrebbe deformata con approssimazione in un reticolo costituito da segmenti e, nella generalità dei casi, da archi di ellissi di semplice tracciamento (fig. 2).

Se, invece, il piano ausiliario β si disponesse a giacitura obliqua rispetto all'asse del cilindro e ortogonale al raggio visivo λ , il reticolo risultante della griglia reale sarebbe costituito interamente da profili curvilinei (fig. 3).

Per entrambe le casistiche, il procedimento anamorfico viene definito come segue. Dato un cilindro ad asse retto di altezza nota, con direttrice circolare di diametro assegnato e poggiata su un piano di riferimento orizzontale α , si fissa un punto di vista dell'osservatore V .

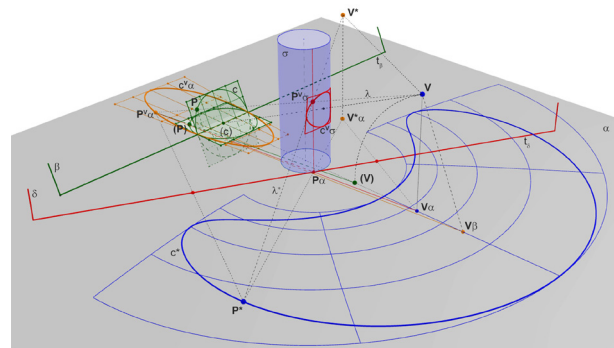
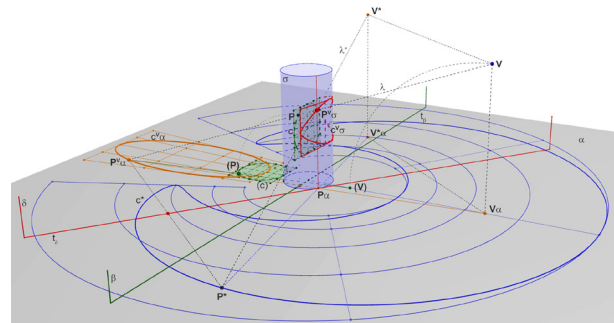
Definito il piano ausiliario β , si traccia su di esso, ad esempio, una circonferenza in vera forma c inscritta in una griglia di riferimento, quest'ultima posta in modo tale che una coppia di lati risulti nella stessa direzione della retta t_β , retta di intersezione del piano α con il piano ausiliario.

Scelto un punto P appartenente alla curva in vera forma c , si traccia un raggio visivo λ che unisce V con P . Il raggio interseca la superficie riflettente cilindrica σ , in vista rispetto a V nel punto riflesso $P^V\sigma$.

Per le leggi della riflessione, per $P^V\sigma$ si rappresenta il piano tangente di riflessione δ al cilindro. L'immagine anamorfica P^* del punto P sul piano α si determina tramite il contro-osservatore V^* , posto in simmetria al piano δ rispetto a V . Iterando il procedimento e muovendo il punto P sulla curva in vera forma c si descrivono due luoghi geometrici:

Fig. 2. Vista prospettica del procedimento dell'anamorfosi catottrica con superficie riflettente cilindrica. Figura virtuale c appartenente al piano verticale β (disegno degli autori).

Fig. 3. Vista prospettica del procedimento dell'anamorfosi catottrica con superficie riflettente cilindrica. Figura virtuale c appartenente al piano obliquo β (disegno degli autori).



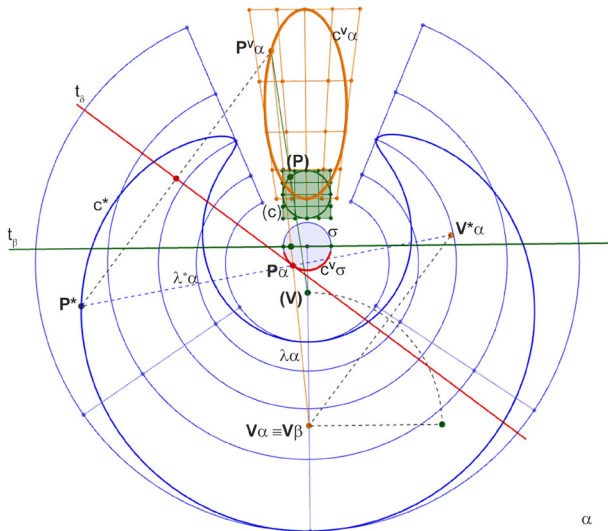


Fig. 4. Proiezione ortogonale del procedimento dell'anamorfofi catottrica con superficie riflettente cilindrica e un piano ausiliario verticale β . Costruzione geometrica con riga e compasso (disegno degli autori).

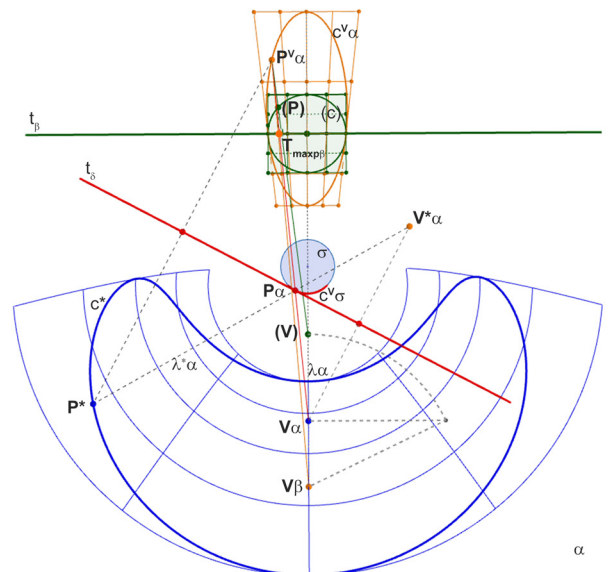


Fig. 5. Proiezione ortogonale del procedimento dell'anamorfofi catottrica con superficie riflettente cilindrica e un piano ausiliario obliquo β . Costruzione geometrica con riga e compasso (disegno degli autori).

c^* che rappresenta la proiezione anamorfica della curva assegnata e $c^V\sigma$, la curva gobba appartenente alla superficie cilindrica riflettente.

Per ottenere la visione del disegno originale, cioè la circonferenza e la griglia circoscritta scevri di deformazioni, è necessario osservare la curva anamorfica riflessa sullo specchio cilindrico dal punto di osservazione V ; così facendo la circonferenza c si sovrapporrà alla curva gobba $c^V\sigma$. Dal confronto delle due casistiche, si evidenzia la differente natura geometrica delle curve risultanti anamorfiche, secondo le osservazioni suddette. Questo secondo approccio, di validità generale, che tiene conto delle regole della catottrica, verrà impiegato per l'implementazione algoritmica descritta nel paragrafo successivo.

Nelle costruzioni grafiche digitali proposte, si impiegano i metodi di rappresentazione della geometria descrittiva, applicando procedure tradizionali di trasformazioni piane di entità geometriche con riga e compasso (figg. 4, 5).

Ribaltando il piano ausiliario β sul piano α , attorno alla retta intersezione t_β , si instaura un'omologia che mette in corrispondenza biunivoca i due piani sovrapposti.

Vengono identificati il punto di vista V ; la traccia t_β , cerniera di ribaltamento del piano ausiliario, e il punto (P) appartenente alla curva ribaltata (c) . Si definisce, quindi, V_β come proiezione di V sul piano α secondo la direzione della retta di massima pendenza del piano ausiliario β . Si definisce $T_{\max p\beta}$ punto traccia della retta di massima pendenza ribaltata del piano β sul piano α condotta per (P) . Si determina, infine, $P^V\alpha$, come intersezione delle rette $V_\beta T_{\max p\beta}$ e $(V)(P)$.

Si instaura quindi una omologia con i seguenti elementi: centro di omologia (V) , asse di omologia t_β , e una coppia di punti corrispondenti (P) e $P^V\alpha$.

Note le proprietà fondamentali, punti corrispondenti in una omologia sono allineati con il centro e rette distinte corrispondenti si secano sull'asse. Il punto $P^V\alpha$ descrive l'ellisse luogo geometrico $c^V\alpha$ al variare di (P) su (c) .

Conducendo una retta per $V\alpha$ e per $P^V\alpha$ si determina: il punto di intersezione $P\alpha$ appartenente alla direttrice circolare della superficie cilindrica riflettente σ , la retta t_δ , tangente

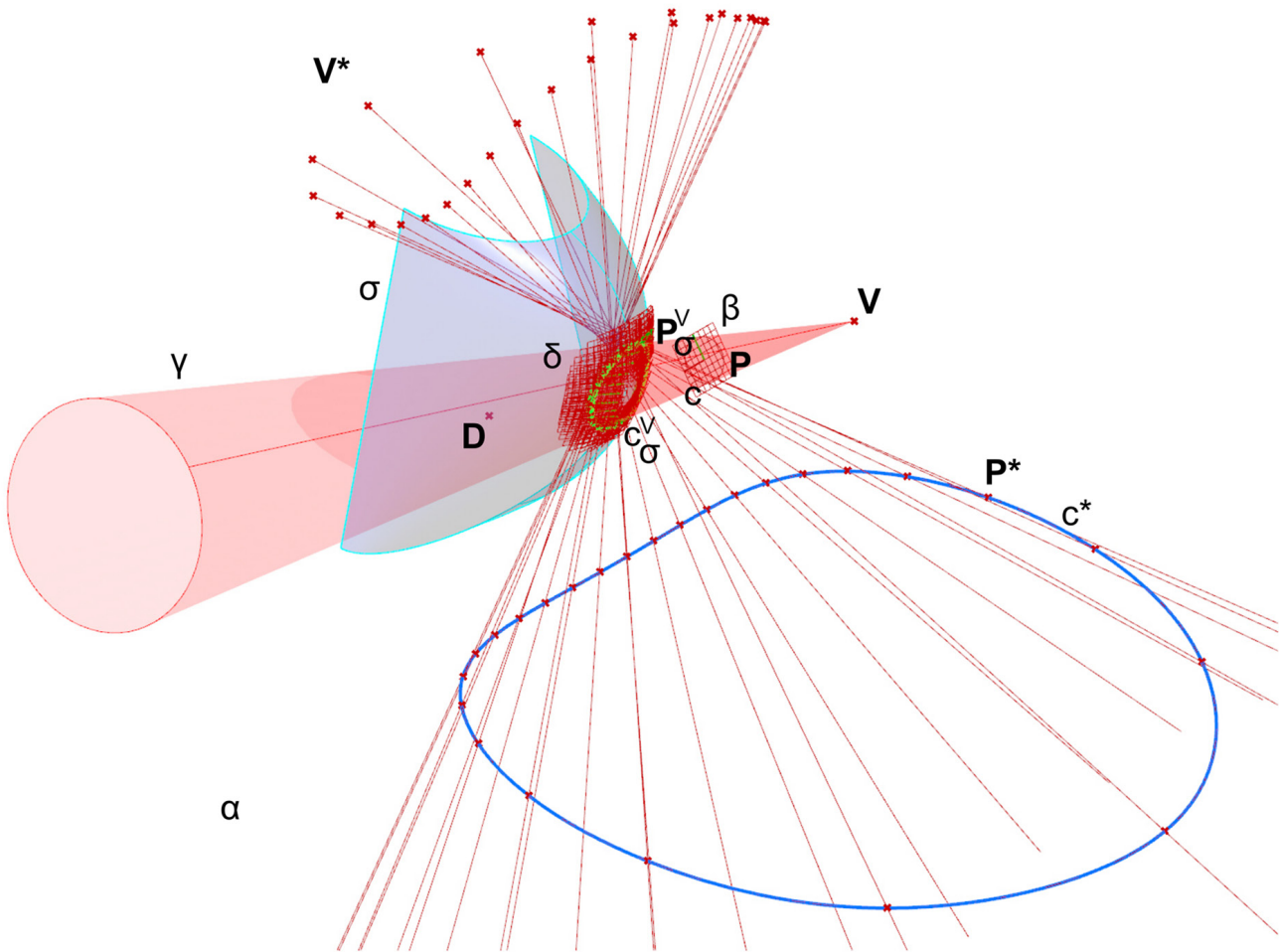


Fig. 6. Schema semplificato che illustra una disposizione convenzionale per riprodurre il processo illusorio di anamorfosi catottrica su superfici convesse (disegno degli autori).

alla direttrice e, per simmetria assiale a quest'ultima, il punto P^* , simmetrico di $P^V\alpha$. Il punto P^* descrive, al variare di (P) su (c), il luogo geometrico c^* , curva anamorfica deformata.

Anamorfosi catottrica su superfici *free-form* a curvatura variabile. Metodo, strumenti e casi studio

Come anticipato, la metodologia impiegata nel presente studio presuppone considerazioni relative al fenomeno fisico della riflessione di un raggio visivo. In particolare, si considerano noti dallo stato dell'arte i meccanismi di riflessione su uno specchio planare e su specchi curvi con geometrie regolari (specchio sferico concavo e convesso, specchio parabolico). Per similitudine si considera noto il meccanismo di riflessione su specchi cilindrici e conici utilizzato storicamente nella realizzazione di anamorfosi catottriche, come descritto nel precedente paragrafo.

Tale semplice tracciamento risulta non essere più possibile a prescindere dal punto di vista scelto se la superficie riflettente non possiede proprietà geometriche note e di semplice definizione. Ad esempio, una superficie NURBS generica a doppia curvatura senza piani di simmetria causerà una deformazione non equivalentemente controllabile degli elementi della griglia riflessa [Eigensatz et al. 2010; Flöry, Pottmann 2010; Wallner, Pottmann 2011].

Realizzazioni di anamorfosi catottrica che impieghino superfici riflettenti complesse e/o composte sono poco diffuse e solitamente il risultato di un procedimento empirico, che vede l'autore – predominantemente un artista – calibrare il risultato voluto per successive approssimazioni con poca o nessuna rigorosità geometrica.

Si propone un procedimento algoritmico per punti che permette di definire l'immagine distorta allentando i vincoli dati dalle caratteristiche geometriche della superficie specchiante [Buratti 2012].

Utilizzando il fenomeno della determinazione dell'immagine riflessa di un punto da una superficie riflettente planare tramite la determinazione di un contro-osservatore, si itera il procedimento per i punti costituenti la curva in vera forma, interpolando quindi i risultanti punti anamorfici.

Il piano speculare per ciascun punto viene identificato nel piano tangente la superficie riflettente nel punto virtuale giacente su tale superficie, come di seguito delineato.

La possibilità di generalizzare la realizzazione dell'anamorfosi catottrica permette di estendere il campo di applicazione al di là della piccola scala tipica di questo

genere di fenomeno, come ad esempio per realizzazioni a scala architettonica.

Nell'ambito dell'utilizzo di tale procedimento algoritmico da parte di un progettista, vengono individuati i seguenti elementi notevoli: il punto di vista o osservatore V , la direzione del raggio visivo data dal punto di destinazione della vista D , la curva in vera forma c , la superficie riflettente σ , e il supporto ricevente α .

In aggiunta a tali elementi geometrici notevoli, vengono utilizzati due ulteriori valori: un coefficiente di scala omotetica della curva e il numero di punti di campionamento (risoluzione) (figg. 6-7).

Definita la direzione del raggio visivo, la curva in vera forma c viene posizionata perpendicolarmente ad esso su un piano ausiliario β rappresentante il risultato percettivo del procedimento anamorfico. Si definisce un cono generico γ avente per direttrice la curva in vera forma, per vertice l'osservatore, e per generatrici i raggi visivi. Tale cono γ interseca la superficie σ definendo la curva virtuale $c^V\sigma$.

Per ciascun punto di campionamento P sulla superficie σ , viene quindi definito il piano specchiante δ tangente la superficie σ . Ciascun piano δ viene utilizzato nella determinazione del contro-osservatore V^* , riflesso del punto V rispetto al piano, per ciascuno dei punti di campionamento (in alcuni casi particolari, punti di campionamento distinti hanno il medesimo contro-osservatore, ma ciò non è vero in generale e vi è una relazione di biunivocità tra punti di campionamento e contro-osservatore).

Si individua la retta congiungente ciascun contro-osservatore V^* con il corrispondente punto di campionamento P . Dove tale retta incontra la superficie α , si determina il punto anamorfico P^* .

Il procedimento così descritto viene iterato per ciascuno dei punti P_1, \dots, P_n di campionamento.

Una volta determinati i punti anamorfici, la curva anamorfica viene ricostituita mediante interpolazione.

Per evidenziare le potenzialità didattiche, divulgative e artistico-espressive che la tecnica potrebbe offrire in contesti attuali, si presentano alcuni esempi di applicazioni con diverse superfici quadriche e *free-form* di diversa complessità: un'applicazione a piccola scala, come ad esempio una macchina matematica per utilizzo didattico e museale (fig. 8); una geometria riflettente simile all'opera di *land art* "Cloud Gate" dell'artista Anish Kapoor [1] (fig. 9); una possibile applicazione a larga scala che sfrutti le superfici riflettenti curvilinee del Palazzo della Regione Lombardia a Milano di Pei Cobb Freed & Partners (fig. 10); e infine un modello della

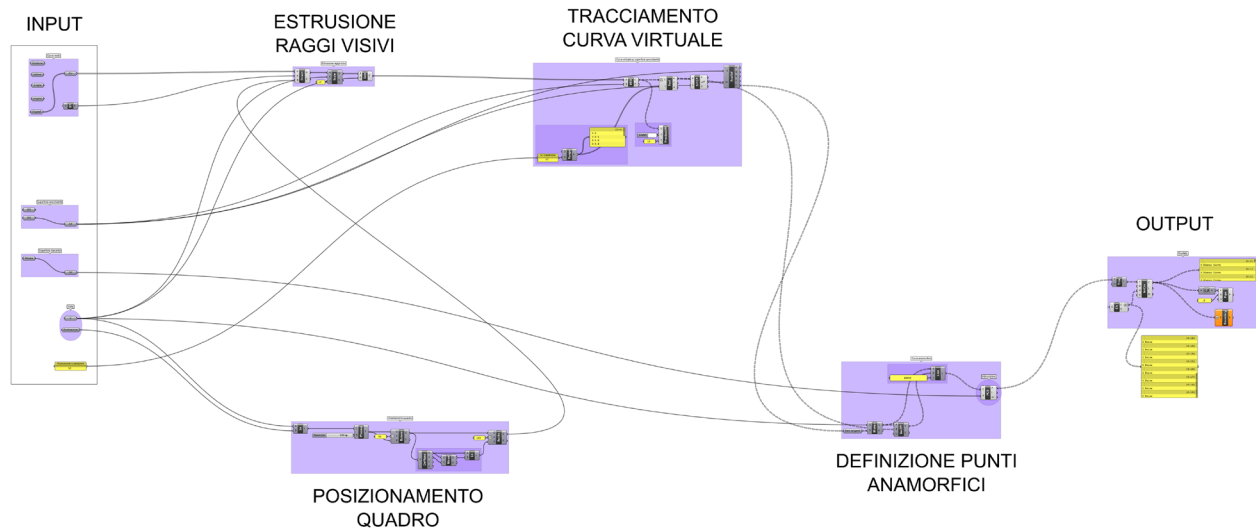


Fig. 7. Definizione della struttura dell'algoritmo visuale che controlla la generazione del processo illusorio nell'area di lavoro del plugin Grasshopper (disegno degli autori).

superficie *free-form* riflettente del Museo Boijmans Van Beuningen a Rotterdam dello studio MVRDV (fig. 11). Per ciascuno di questi esempi viene riportata una visualizzazione realizzata dal punto di vista privilegiato dell'osservatore e viste isometriche rappresentanti le curve anamorfiche in vera forma.

Conclusioni

La metodologia proposta offre la possibilità di implementare processi geometrici di anamorfosi catottrica di notevole potenzialità espressiva in contesti progettuali multi-scalari con riferimento a elementi riflettenti di rilevante estensione e di complessità geometrica con un controllo parametrico generalizzabile [Rossi, Buratti 2017; Saggio 2007]. In particolare, nell'impiego di superfici *free-form* generiche, il metodo definito guida il progettista nella costruzione dell'anamorfosi,

il quale può misurare rigorosamente le figure deformate e le corrispondenti immagini riflesse sulle superfici riflettenti, prevedendo, in riferimento al punto di vista scelto, gli esiti del fenomeno proiettivo [Bianconi, Filippucci 2019]. L'algoritmo sviluppato permette di determinare l'anamorfosi catottrica per pressoché qualsiasi superficie o porzione di superficie convessa, ma non restituisce un risultato altrettanto affidabile nel caso in cui la superficie sia concava o presenti un cambio di concavità. Ciò è dovuto alle caratteristiche fisico-ottiche del fenomeno di riflessione della luce, che negli esempi ben noti di riflessione in specchi concavi sferici e paraboloidi presenta, nel caso generale, una inversione dell'immagine riflessa. Nel caso di superfici interamente concave si ha una maggiore difficoltà nella gestione dell'immagine risultante, mentre nel caso di cambio di concavità l'inversione dell'immagine riflessa rende impossibile la determinazione di una immagine anamorfica univoca. Ciò è vero sia per superfici *free-form* che per superfici rigate con tali caratteristiche.

Note

[1] <<http://anishkapoor.com/>> (consultato il 10 novembre 2020).

Fig. 8. Anamorfosi catottrica, esempio di applicazione a piccola scala, macchina matematica di laboratorio didattico; a destra, render del punto di vista privilegiato (immagine degli autori).

Fig. 9. Anamorfosi catottrica, esempio di applicazione a media scala, la scritta "Disegno 2020" riflessa su una geometria simile all'opera di land art "Cloud Gate" dell'artista Anish Kapoor; a destra, render del punto di vista privilegiato (immagini degli autori).

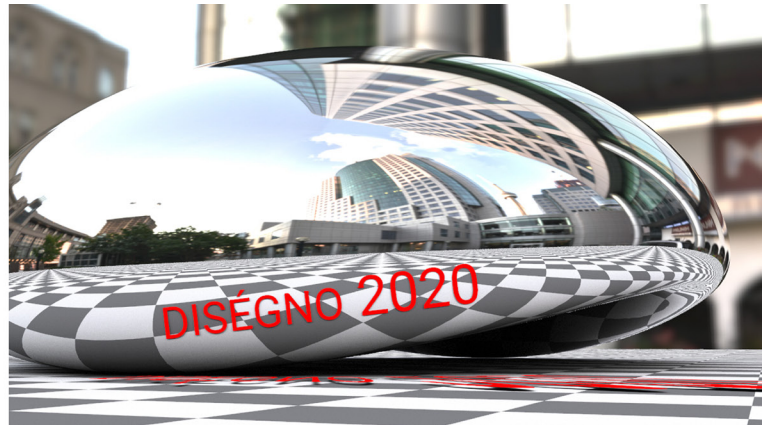
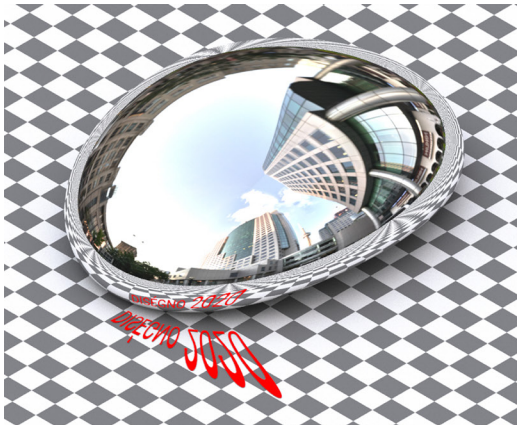
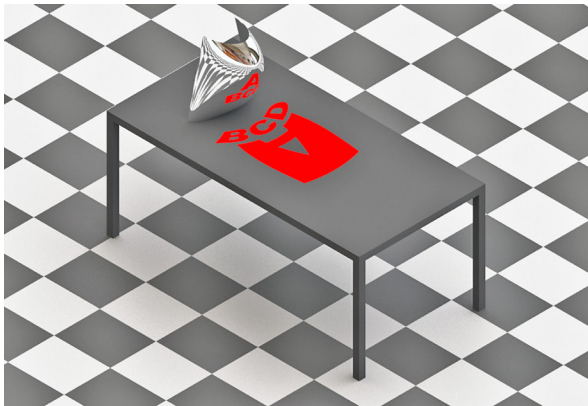
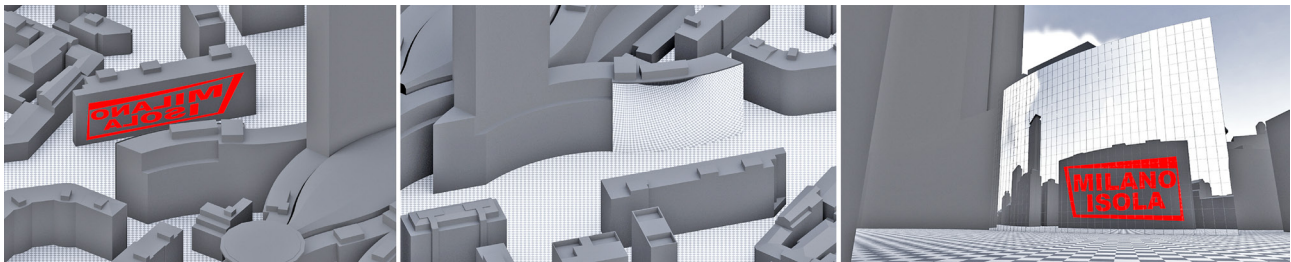


Fig. 10. Anamorfosi catottrica, esempio di superficie convessa a grande scala. Render che riproducono la riflessione su un prospetto di edificio; a destra, punto di vista privilegiato. Riproduzione della forma del prospetto principale del Palazzo Regionale Lombardia, Milano. (immagine degli autori).

Fig. 11. Anamorfosi catottrica, esempio di superficie complessa a grande scala. Render che riproduce la forma del Museo Boijmans Van Beuningen, Rotterdam; a destra, punto di vista privilegiato (immagine degli autori).



Autori

Francesco Di Paola, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, francesco.dipaola@unipa.it

Pietro Pedone, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, pietropedone91@gmail.com

Riferimenti bibliografici

- Accolti, P. (1625). *Lo inganno degli occhi*. Firenze: Pietro Cecconcelli.
- Baltrušaitis, J. (1969). *Anamorfoosi o magia artificiale degli effetti meravigliosi*. Milano: Adelphi.
- Bianconi, F., Filippucci, M. (2019). *Digital wood design: innovative techniques of representation in architectural design*. Cham: Springer.
- Buratti G. (2012). Generative algorithms and associative modelling to design articulate surfaces. In M. Rossi (Ed.). *Relationships between Architecture and Mathematics. Proceedings of Nexus Ph.D. Day*, pp. 93-98. Milano: McGraw-Hill.
- Čučaković, A., Paunović, M. (2015). Cylindrical Mirror Anamorphosis and Urban-Architectural Ambience. In *Nexus Network Journal*, n. 17, pp. 605-622.
- Càndito, C. (2011). *Il disegno e la luce. Fondamenti e metodi, storia e nuove applicazioni delle ombre e dei riflessi nella rappresentazione*. Firenze: Alinea Editrice.
- De Rosa, A., et al. (2012). Memoria e oblio. Scoperta e rilievo digitale dell'anamorfoosi murale di J.-F. Nicéron. In *Atti della Conferenza Nazionale ASITA*. Fiera di Vicenza, 6-9 novembre 2012, pp. 595-602.
- De Comité, F. (2010). A General Procedure for the Construction of Mirror Anamorphoses. In G.W. Hart, R. Sarhangi (Eds.). *Bridges Pécs-Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture*, pp. 231-239. Pécs: Tessellations Publishing.
- De Comité, F. (2011). A New Kind of Three-Dimensional Anamorphosis. In R. Sarhangi, C. Séquin (Eds.). *Bridges Coimbra-Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture*, pp. 33-39. Coimbra: Tessellations Publishing.
- De Comité, F., Grisoni, L. (2015). Numerical Anamorphosis: an Artistic Exploration. In *SIGGRAPH ASIA 2015*. Kobe, Japan.
- Di Lazzaro, P., Murra, D. (2013). *L'Anamorfoosi tra arte, percezione visiva e "Prospettive bizzarre"*. Roma: ENEA.
- Di Paola, F., et al. (2015). Anamorphic projection: Analogical/digital algorithms. In *Nexus Network Journal*, n. 17, pp. 253-285.
- Di Paola, F., Inzerillo, L., Santagati, C. (2016). Restituzioni omografiche di finte cupole: la cupola di Santa Maria dei Rimedi a Palermo. In G.M.Valenti. (a cura di). *Prospettive Architettoniche: un ponte tra arte e scienza*, pp. 163-189. Roma: Sapienza Università Editrice, vol. 2.
- Eigensatz, M., et al. (2010). Paneling architectural freeform surfaces. In *ACM SIGGRAPH*, n. 45, pp. 1-10.
- Flöry, S., Pottmann, H. (2010). Ruled Surfaces for Rationalization and Design in Architecture. In *LIFE information. On Responsive Information and Variations in Architecture, Proc. ACADIA 2010*, pp. 103-109.
- Gardner, M. (1975). L'affascinante magia dell'arte anamorfica. In *Le Scienze*. Vol XIV, n. 81, pp. 92-99.
- Hunt, J.L., Harding MacKay A. (2011). Designing a human-scale cylindrical-mirror anamorphosis for an outdoor art installation. In *Journal of Mathematics and the Arts*, vol. 5, n. 1, pp. 1-16.
- Nicéron, J.F. (1638). *La perspective curieuse, ou magie artificielle des effets merveilleux de l'optique par la vision directe, la catoptrique, par la réflexion des miroirs plats, cylindriques & coniques, la dioptrique, par la réfraction des cristaux: Chez la veufue F. Langlois, dit Chartres*, Paris: Pierre Billaine.
- Rossi, M., Buratti, G. (2017). Disegno e complessità. Verso nuovi scenari di progetto. In A. Nebuloni, A. Rossi (a cura di). *Codice e progetto. Il computazionale design tra architettura, design, territorio, rappresentazione, strumenti, materiali e nuove tecnologie*, pp. 83-87. Milano: Mimesis Edizioni.
- Saggio, A. (2007). *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*. Roma: Carocci.
- Schott, G. (1657). *Magia universalis naturae et artis. Pars I, Liber III*: Frankfurt: Joannis Godefridi Schönwetteri.
- Ugo, V. (2002). *Fondamenti della Rappresentazione Architettonica*. Bologna: Società Ed. Esculapio.
- Wallner, J., Pottmann, H. (2011). Geometric computing for freeform architecture. In *Journal of Mathematics in Industry*, vol. 1, n. 4, pp. 1-18.