Sulla genealogia della geometria nel disegno per il design: futuro primitivo di un tema tecno-estetico

Fabrizio Gay

Introduzione

Fare storia della geometria del disegno per il design – secondo l'intento dichiarato in questo numero di *diségno* – ci dovrebbe aiutare anzitutto a capire di che di cosa parliamo, oggi, quando parliamo di geometria nell'ambito delle ricerche universitarie coltivate specialmente nelle scuole di progettazione, di pedagogia, di arti e nei *design study*. In quest'ambito di studi, la storia della geometria non dovrebbe genericamente confondersi con storie della matematica [Chasles 1837; Loria 1921], né con la storia dell'arte, né con un'erudizione antiquaria: questi domini storiografici generali hanno altre (autorevoli) sedi scientifiche e pubblicistiche. La "geometria per il disegno" costituisce effettivamente un ambito tematico unitario se si dimostrano almeno due condizioni: 1°) che abbia un oggetto tecnico comune a studi di svariata provenienza disciplinare; 2°) che i diversi punti di vista in materia abbiano un vocabolario comune e metodi condivisi.

1°) Intendiamo la "geometria per il disegno" come una scienza applicata che studia le categorie della forma degli oggetti, nonché le loro rappresentazione proiettiva e diagrammatica. La storia di questa geometria pratica raccoglie studi che, pur muovendo da punti di vista molto diversi, riguardano tutti – esplicitamente o implicitamente – questioni geometrico-morfologiche pertinenti al campo della storia e dell'antropologia degli artefatti visuali, specie di quelli fabbricati apposta per "rappresentare". Si tratta dunque di storie di artefatti visuali che indagano specifiche questioni geometrico-morfologiche.

Articolo a invito per inquadramento del tema del focus, non sottoposto a revisione anonima, pubblicato con responsabilità della direzione.

Gli studi storici su una geometria così intesa, spaziando in domini molto diversi – dalla storia di artefatti visuali esemplari, alla trattatistica o all'odierna modellazione parametrica – offrono un panorama diversificato ma che dovrebbe comprendersi in un ambito tematico unitario, seppur trans-disciplinare.
Nel suo complesso la "geometria per il disegno" appare come una batteria di modelli geometrici, una sorta di pluralità sincronica (storica e attuale) di quelle che potremmo chiamare (al plurale) "Geometrie descrittive", per rimarcare una genealogia che precede e prosegue dopo la parabola storica della Geometria descrittiva.
Consideriamo queste "geometrie descrittive" alla stregua dei concreti artefatti; attribuiamo loro lo stesso modo di esistenza degli oggetti tecnici descritto da Gilbert Simondon [Simondon 1958; 1992; 2013] e, come tali, le cogliamo – seguendo la formulazione del filosofo francese – nella loro specifica dimensione tecno-estetica.
2°) L'unitarietà di questa batteria di modelli geometrici è posta in due aspetti: i) nella confrontabilità (traducibilità) reciproca tra i modelli e ii) nella loro adeguatezza, cioè nella loro attitudine a descrivere gli aspetti più significativi delle forme degli oggetti e delle loro immagini. È a queste due condizioni – i) confrontabilità dei modelli e ii) loro adeguatezza esplicativa – che si potrebbe stabilire l'unitarietà tematica e l'attualità di studi storici sulla morfologia geometrica degli artefatti visuali.
Molti sono i punti critici di questo ragionamento.
Un realista ingenuo, come me, si chiede che cos'è la reale adeguatezza esplicativa dei modelli geometrici. Per adeguare le descrizioni geometriche ai valori fisici e antropologici (culturali) che danno senso alle forme degli oggetti è necessario avere una chiara consapevolezza (necessariamente storica) della concreta dimensione tecnica ed estetica di una geometria.

Dalla geometria descrittiva alla geometria computazionale

Nel motore a scoppio di un'automobile odierna pulsa ancora qualcosa di analogo a una macchina a vapore. Ce ne rendiamo conto solo immaginando di risalire la genealogia dell'ideazione di quel tipo di motore, fino alla macchina di Watt. Eppure l'automobile odierna è un artefatto meccatronico tanto complesso che non è più possibile rendersi conto dei calcoli che un insieme di algoritmi – a nostra completa insaputa – svolge in frazioni di secondo, per esempio, per dosare il comando di frenata sulle quattro ruote in funzione delle loro specifiche velocità. La consistenza di quegli algoritmi – simili a quelli che pilotano gli aerei, regolano il traffico o la secrezione di ormoni – sfugge anche all'immaginazione dei loro autori. Così anche il funzionamento delle reti di microprocessori negli oggetti che ci circondano si basa su un'algoritmica che va ben aldilà dell'immaginazione visiva e oggettuale degli antichi teatri di macchine e del disegno tecnico.
La macchina a vapore e la *Géométrie Descriptive* (DG) sono entrambe oggetti tecnici connaturati alla prima rivoluzione industriale alla fine del Settecento; mentre gli odierni artefatti meccatronici, spesso dotati di percezione artificiale, sono connaturati alla Geometria computazionale (CG) e, come lei, sono frutto della terza e dell'incipiente quarta rivoluzione industriale.
Geometria descrittiva (DG) e Geometria computazionale (CG), pur in epoche diverse, sorgono nel corso di un medesimo sviluppo storico: quello dei mezzi di concezione tecnica degli artefatti. L'una (la DG) connessa a l'*art du trait*, alla stereotomia, al disegno meccanico e alla fotogrammetria; l'altra (la CG) ai sistemi CAD e CAM, alla fotogrammetria automatica e alla visione artificiale. Entrambe sono concepite come sistemi di traduzione di entità geometriche tra una rappresentazione matematica da un lato e disegni, prototipi e modelli, dall'altro. Entrambe sono nate elaborando nuove categorie di curve e superfici come oggetti matematici da tradurre geometricamente e realizzare concretamente in un'officina. Gaspard Monge, parallelamente alla *Géométrie Descriptive* e alla fabbricazione di cannoni, fondava la geometria differenziale dove la "superficie di pendio costante" porta ancora il suo nome. Pierre Bézier, parallelamente al perfezionamento delle macchine a controllo numerico nelle fabbriche Renault, segnando la preistoria dei sistemi CAD e CAM, realizzava una CG *ante-litteram* attraverso l'invenzione delle curve e delle superfici polinomiali che – realizzate ancora oggi attraverso gli algoritmi di Paul de Casteljau – portano il suo nome.
Superfici di Monge e superfici di Bézier, DG e CG, oltre a nascere lungo il medesimo sviluppo bisecolare della progettazione e della manifattura industriale, sorgono anche dal medesimo sviluppo (più che millenario) della scienza della visione.
La DG nasce quasi secoli prima della sua istituzione, con l'invenzione della teoria prospettica rinascimentale – cioè dello sviluppo dell'ottica geometrica nella *perspectiva artificialis* – e con le prime proposizioni proiettive della geometria pratica. Mentre l'ulteriore sviluppo della scienza della visione verso i modelli computazionali della psicologia

della percezione e verso la visione artificiale (robotica) ha segnato lo sviluppo e le applicazioni della CG, come vedremo in conclusione.
Inoltre – passando dallo sfondo scientifico alle pratiche tecniche – si noti che DG e CG sono entrambe connaturate alle pratiche di rilevamento delle superfici dei corpi reali nello spazio ambiente. Il metodo di rappresentazione per antonomasia della DG è la proiezione bicentrale, cioè, una forma di visione stereoscopica derivata dall'antico sistema di rilevamento topografico per "intersezione in avanti", schema analogo al modello geometrico della stereo-fotogrammetria.
Anche la CG costituisce uno sviluppo potenziato della fotogrammetria che, però, sfrutta l'evoluzione tecnologica dei sensori digitali e la loro sensibilità a uno spettro più ampio di radiazioni e fenomeni vibratori. Con la diffusione delle tecniche d'acquisizione digitale delle immagini, grazie agli algoritmi di CG, i procedimenti fotogrammetrici della DG e, soprattutto, quelli della geometria epipolare, sono oggi alla portata di tutti, tramite software in grado di funzionare su personal computer economici, con immagini fornite da semplici fotocamere amatoriali o disponibili in rete. In più, la CG si è sviluppata negli anni Ottanta in stretta concomitanza con la straordinaria fioritura dei sistemi di acquisizione ottica dei dati 3D – dalla triangolazione attiva alla luce strutturata – applicando agli schemi topografici e fotogrammetrici tradizionali l'invenzione incessante di nuovi sensori e forme di scansione degli oggetti naturali o artefatti, minerali o viventi.
È impossibile indicare qui, anche sommariamente, lo spettacolare sviluppo tecnologico dei sistemi d'acquisizione dei dati geometrici spaziali negli ultimi trent'anni, nonché l'irraggiamento delle loro applicazioni nei campi più diversi – dalla biologia all'astronomia, dall'industria manifatturiera all'*entertainment*, dall'immagine medicale alla visione robotica – fino a pervadere, istallati negli smartphone e nei mezzi di trasporto, la più comune vita quotidiana.
Per esempio, basterebbe considerare l'evoluzione della tomografia – partendo dalle prime macchine di Godfrey Hounsfield per la scansione a raggi X – per comprendere come la CG abbia esteso le applicazioni della DG al trattamento di corpi e dimensioni prima inaccessibili all'occhio e all'immaginazione umana.
Dalla scala molecolare – per esempio nello studio dei fenomeni di vibrazione di proteine – a quella astronomica – nello studio della forma spugnosa della distribuzione della materia nello spazio cosmico – la CG sta consentendo lo sviluppo di

Fig. 1. Rilievo delle traiettorie del doppio pendolo con fotografie a lunga esposizione (elaborazione grafica di E. Calore, F. Giordano, E. Pettenà; IUAV, Corso di morfologia degli artefatti, prof. Fabrizio Gay, a.a. 2015-2016).

diverse "geometrie descrittive". Ma queste nuove "geometrie descrittive computazionali" possono studiare le forme degli oggetti lavorando anche all'inverso della tradizionale DG.
Nella DG, come nella modellazione CAD, la forma è data matematicamente a priori rispetto alla rappresentazione concreta. All'opposto, nella CG la forma è praticamente ricavata a posteriori, è scoperta come struttura geometrica soggiacente a un'enorme massa di dati spaziali.
La CG è uno strumento morfologico atto a studiare i *pattern*, le regolarità stocastiche, i sistemi di macchie, corrugazioni e ondulazioni, le morfologie dei tessuti organici o geografici, le tassellazioni di alveoli, le crettature, le marezzature, striature, zebrature nelle pigmentazioni animali e minerali, le ramificazioni, ecc.
Mentre la DG era principalmente uno strumento di rappresentazione, la CG è una sorta di geometria "estesica". La CG serve oggi a costruire strumenti di percezione e categorizzazione dei corpi nello spazio ambiente e delle reti d'immagini, ricostruendo processi analoghi a quelli che negli esseri viventi portano al riconoscimento e alla cognizione estesica degli oggetti del mondo.

La traduzione (storica) tra geometrie e la nozione primitiva di "distanza"

Computational Geometry è il titolo della tesi dottorale di Michael Shamos che tratta «delle questioni che sorgono nel risolvere problemi geometrici attraverso il computer, cosa che – per il fatto che tali macchine sono state realizzate solo di recente – obbliga a considerare aspetti del calcolo geometrico che non sono semplicemente contemplati nelle matematiche classiche e, dunque, richiedono nuovi metodi». [Shamos 1978, p. I]

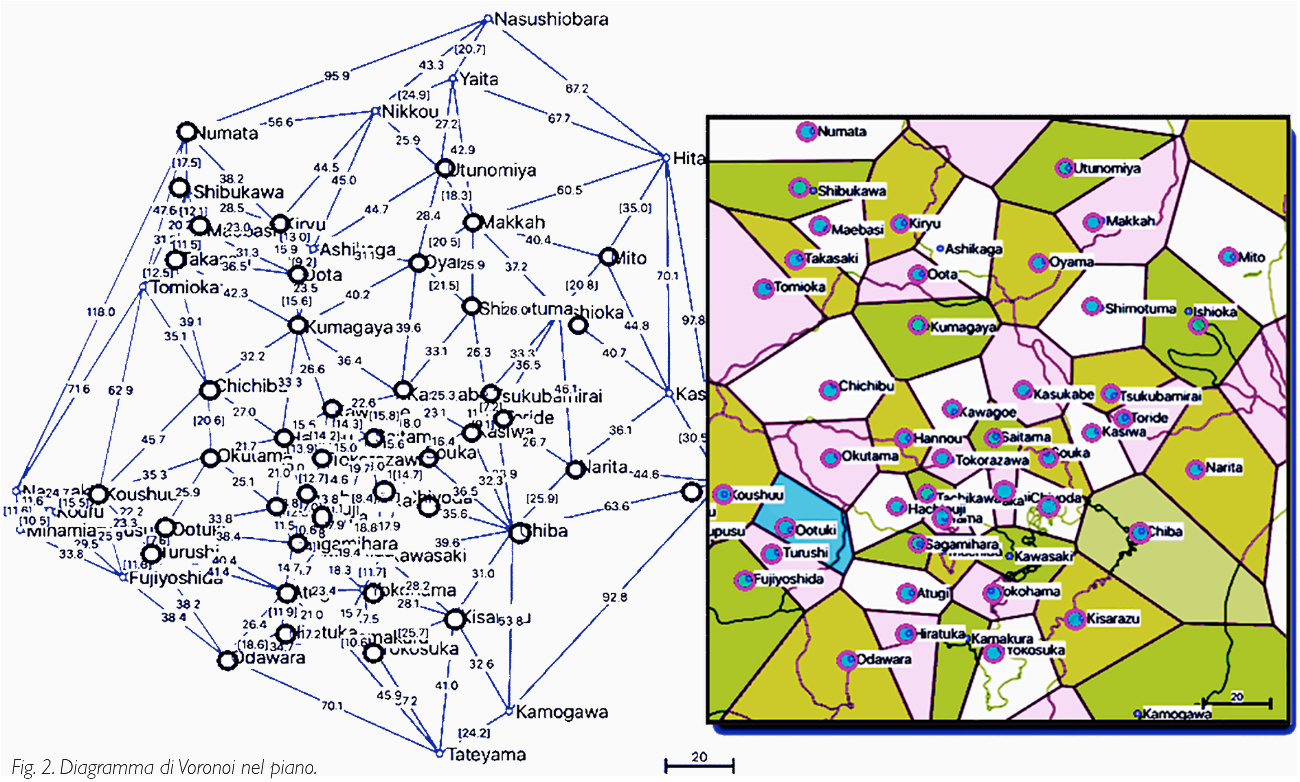


Fig. 2. Diagramma di Voronoi nel piano.

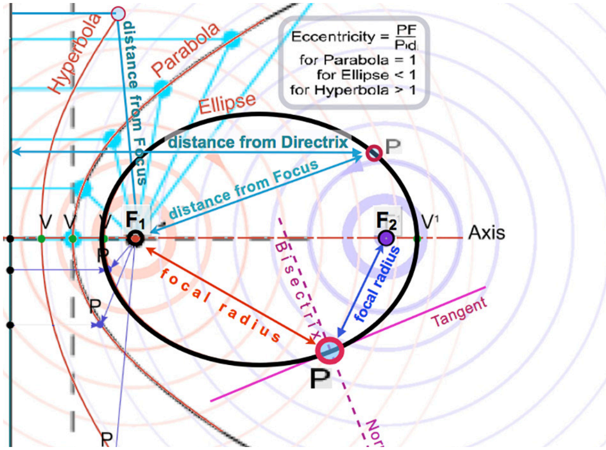


Fig. 3. Eccentricità e proprietà focali delle coniche.

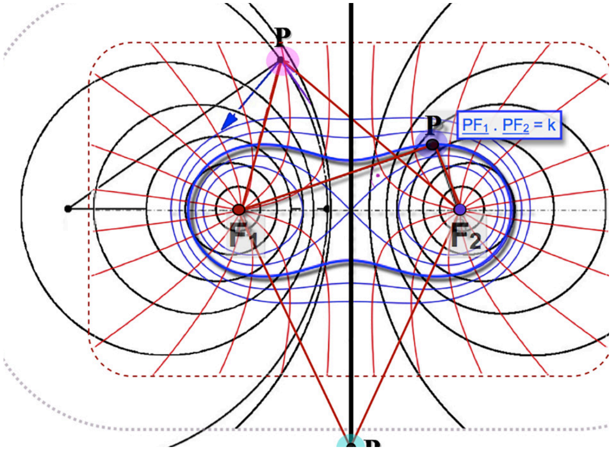


Fig. 4. Circoli di Apollonio e lemniscate di Bernouilli con le iperboli a esse ortogonali.

Un esempio di tali questioni è il problema – detto *Closest-Pair* – di trovare i due punti più vicini in un dato insieme di *n* punti. Ciò che noi tenteremmo di valutare "a occhio" è, geometricamente, il risultato di un'efficiente strategia di calcolo. Ma se una macchina misurasse la distanza di ognuna delle $m = n \cdot (n - 1) / 2$ coppie degli *n* punti dati, poi ordinasse e confrontasse le distanze, compirebbe un lavoro di complessità $O(n^2)$. L'autore [Shamos 1978, p. 163] propone invece un algoritmo ricorsivo del tipo *divide et impera* che riduce la complessità a $O(n \cdot \log n)$ operazioni elementari. In pratica, il tempo del calcolo su insiemi di dieci milioni di punti passava dalla settimana al secondo.
Questa sparpagliata costellazione di *n* punti evocata sopra può essere trattata dalla CG solo attraverso modelli matematici discreti e la figura che meglio esprime questa discretizzazione dello spazio è il diagramma di Voronoi. Questi consiste (fig. 2) nella ripartizione di uno spazio in regioni distinte (dette "celle di Voronoi") tali che ciascuna di esse contenga solo i punti più vicini a un dato punto (germe) che agli altri punti (germi). I confini delle celle di Voronoi sono i luoghi equidistanti da due o più punti (germi).
La nozione qualitativa di distanza tra due punti è in grado di ridefinire le categorie tradizionali degli enti geometrici in termini computazionali. Non solo il circolo e la sfera si possono definire in termini di distanza – luogo di punti equidistanti da un altro punto –, ma anche la retta e il piano: sono i luoghi dei punti equidistanti da due punti dati. Dunque, retta e piano sono il diagramma di Voronoi per soli due punti.
Il luogo dei punti equidistanti da un punto e da una retta (o da un piano) è ovviamente una parabola (o un paraboloide di rivoluzione). In generale, la definizione metrica delle coniche ci ricorda che l'equidistanza è solo un caso particolare di rapporto tra distanze (= 1). Infatti, le coniche sono definite in generale dalla loro eccentricità, come luoghi dei punti *P* le cui distanze *PF* da un dato punto *F* (fuoco) e *Pd* da una data retta *d* (direttrice) hanno rapporto costante ($PF/Pd = k$). Notoriamente, a seconda che *k* sia maggiore o minore di 1, si ha il caso dell'ellisse o dell'iperbole. D'altronde anche un circolo o una sfera sono definibili come i luoghi dei punti P le cui distanze da due punti dati (F_1 e F_2) hanno un rapporto costante ($PF_1/PF_2 = k$). Si tratta in effetti (fig. 4) del circolo (e della sfera) di Apollonio, che con $k = 1$ degenera in una retta (e in un piano).
La proprietà metrica dell'eccentricità (fig. 3) definisce tutte le coniche ($PF/Pd = k$) ed è direttamente traducibile nelle loro proprietà focali. Come recita ogni dizionario, l'ellisse e l'iperbole sono definite rispettivamente come i luoghi dei punti del piano le cui distanze da due altri punti dati (i fuochi F_1 e F_2) hanno rispettivamente invariata la somma (per l'ellisse si ha $PF_1 + PF_2 = k$) e la differenza (per l'iperbole si ha $PF_1 - PF_2 = k$). Per *k* uguale alla distanza F_1F_2, l'ellisse degenera nel segmento rettilineo finito F_1F_2, l'iperbole in quello infinito F_2F_1.

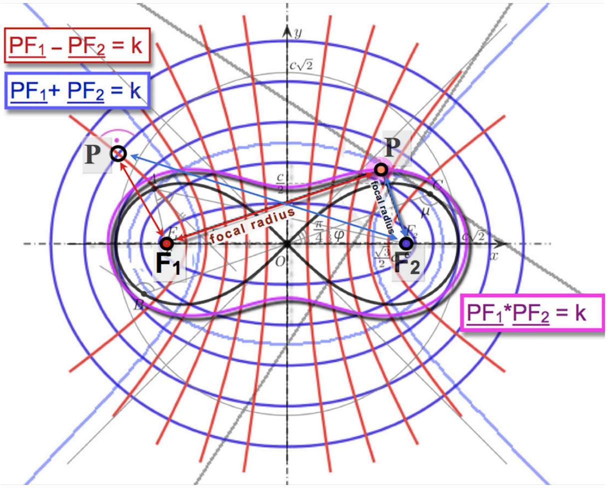


Fig. 5. Coniche e ovali di Cassini confocali.

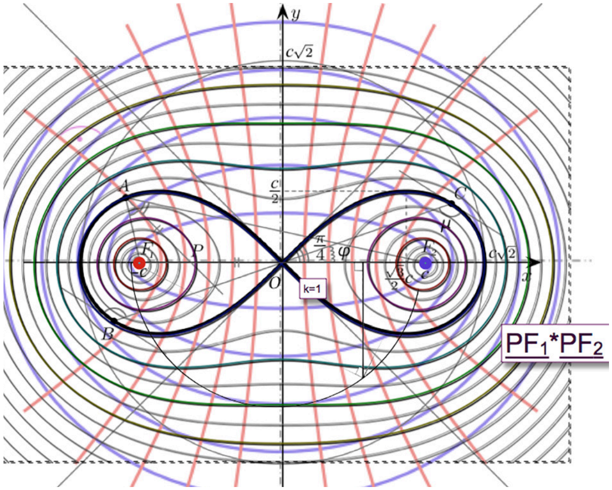
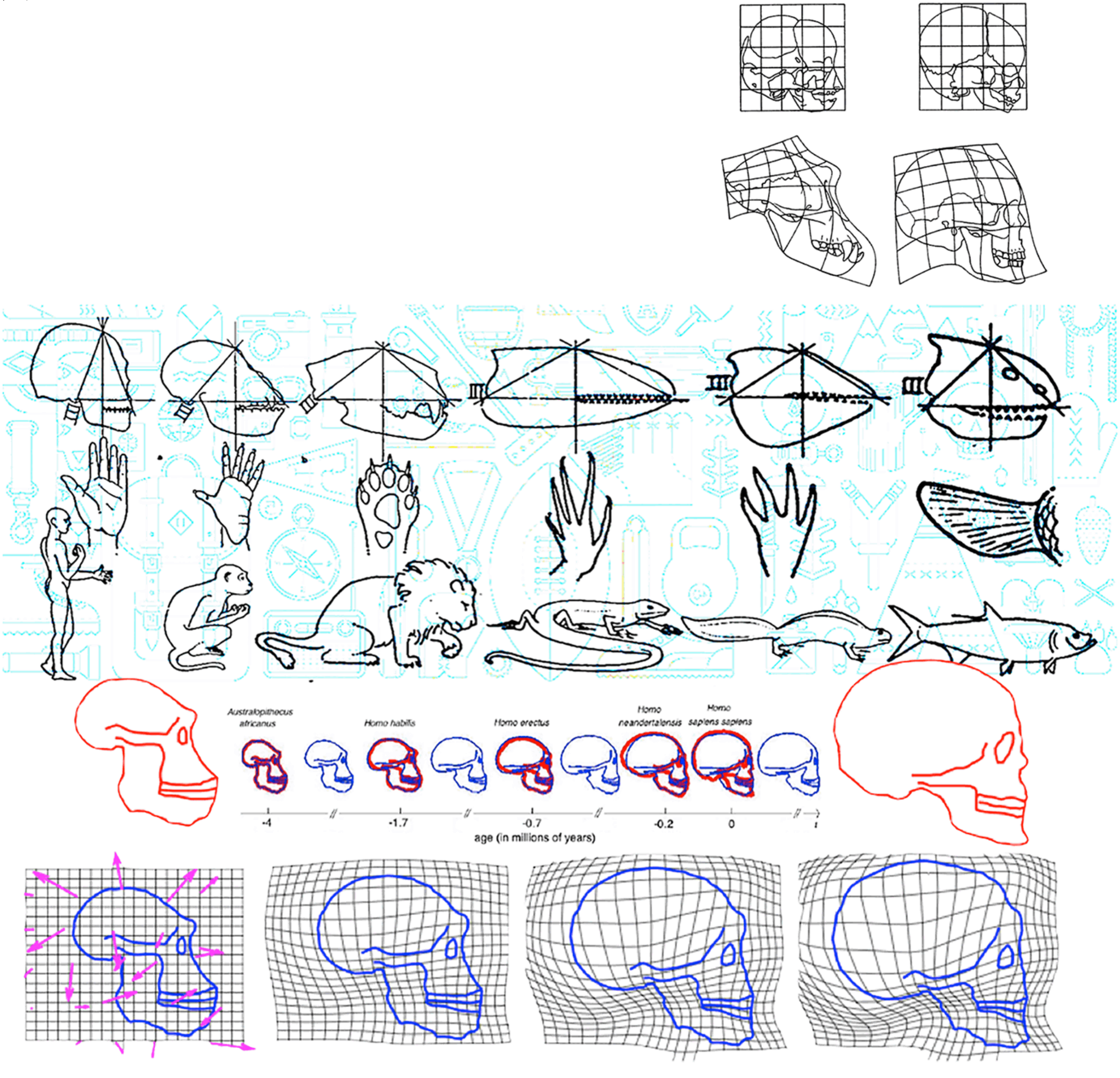


Fig. 6. Fogge delle ovali di Cassini confocali.

Eccentricità e proprietà focali delle coniche hanno consentito di formulare per analogia altre curve e superfici. Per esempio, le curve concali possono essere intese come luogo dei punti dei quali è costante il prodotto delle distanze da un punto e da una retta dati ($PF \cdot Pd = k$). O la lemniscata, che Jakob Bernouilli (fig. 4), nel 1694, definiva ibridando le costruzioni dell'ellisse e del circolo di Apollonio ($PF_1/PF_2 = k$), come luogo dei punti del piano per i quali è costante ($= k^2$) il prodotto delle loro distanze da due fuochi ($PF_1 \cdot PF_2 = k^2$) (fig. 5). La classica forma "a otto" della lemniscata (fig. 6) si ottiene per $k = 1$; mentre per $k < 1$ la curva degenera in due distinti rami, due ovali quartiche, oppure, per $k > 1$, assume le varie fogge delle ovali di Cassini.
Questi esempi mostrano che l'affiorare di nuove definizioni di curve e superfici nella storia della geometria ricategorizza le definizioni precedenti. Con l'invenzione delle coniche anche il circolo, la retta e la coppia complanare di rette sono diventati casi particolari: coniche degeneri. Il fatto saliente nello sviluppo storico della teoria delle coniche è che le nuove proprietà sussumono e semplificavano le precedenti e, soprattutto, si traducevano in proprietà fisiche.
Lo stesso nome dei "fuochi" si deve storicamente alle note proprietà ottiche delle coniche. Dato che (fig. 3) ogni coppia di raggi focali che si incontrano in un punto dell'ellisse è sempre tale che, 1*) la loro bisettrice è la normale alla curva (ortogonale alla tangente) e, 2*) le loro estensioni hanno somma costante; tali proprietà geometriche si traducono fisicamente nel fatto che tutti i segmenti irraggiati da un fuoco si riflettono nell'altro fuoco (a causa di 1*), tutti nel medesimo tempo (a causa di 2*).
Dunque, l'interpretazione energetica della nozione di distanza è ciò che unisce fisica e geometria. Già *ab antiquo* erano definite in termini "energetici" la retta di Archimede – più breve tra le linee che hanno gli stessi estremi –, sia quella di Euclide – linea che giace egualmente rispetto ai suoi punti (curva che coincide con ogni sua tangente) –, come il circolo di Aristotele, inteso come forma del moto perfetto. Dagli esperimenti ustori di Archimede alla fioritura seicentesca delle curve meccaniche e ottiche, fino allo studio ottocentesco dei *pattern* dei campi elettromagnetici, si identificano fisica e geometrica in una concezione figurativa della scienza dell'estensione.
Per questa natura immaginale della geometria non esiste un solo modo formalizzato per categorizzare e immaginare un ente o una figura geometrica. Le categorie eidetiche concettualizzate, formalizzate, costituiscono una rete raramente gerarchica. Il fatto che ciò che sappiamo delle cose non può che essere interrelato con ciò che

Fig. 7. Sequenza degli arti e della scatola cranica dei vertebrati da Leroi-Gourhan 1986 e applicazione dei diffeomorfismi all'analisi statistica delle forme e dei profili del cranio.



sappiamo di altre cose, vale anche per la geometria, per quanto essa sia ordita come un linguaggio simbolico autoreferenziale e assiomatico.
Di fatto possiamo parafrasare correttamente, per esempio, la definizione di sfera come luogo dei punti equidistanti da un punto dato. In termini di rapporti tra distanze la si può tradurre come:
1) luogo dei punti per i quali è costante il rapporto delle distanze da due punti dati (la succitata sfera di Apollonio);
2) luogo dei punti *P* la cui distanza *PX* da un dato segmento *AB* vale sempre e solo la radice quadrata di $AX \cdot (AB - AX)$;
3) ellissoide a due assi con i fuochi coincidenti.
Chiamando in causa la figura dell'angolo retto – o le curve isottiche – potremmo definire la sfera come:
4) luogo dei vertici di tutti i triangoli rettangoli che hanno la stessa ipotenusa *AB*; oppure, luogo dei vertici degli angoli retti i cui lati passano per due punti dati *A* e *B*; oppure, luogo dei punti dai quali "si vede" sempre sotto un angolo retto un dato segmento *AB*.
Da un punto di vista differenziale la sfera è:
5) l'unica superficie a curvatura costante positiva;
6) l'unica superficie che ha geodetiche tutte chiuse e congruenti tra loro;
7) l'unica superficie (oltre al piano) fatta di soli punti ombelicali.
Invece, dall'opposto punto di vista integrale, la sfera può essere:
8) il poliedro regolare che ha un numero infinito di facce infinitesimali;
9) l'inviluppo dei possibili poligoni i cui apotemi hanno la stessa estensione e concorrono in uno stesso punto;
Molte sarebbero poi le varianti della genesi cinematica della sfera come superficie di rivoluzione di un cerchio intorno a un suo diametro; per esempio:
10) superficie che in infiniti modi – in ogni punto – è di rivoluzione;
11) l'unica superficie che un piano seziona sempre in circoli;
12) la più semplice superficie di larghezza costante, le cui tangenti parallele sono sempre equidistanti.
Infine, più efficacemente, si potrebbe definire la sfera come una bolla di sapone, secondo il principio fisico di minimizzazione dello sforzo, cioè, come:
13) la minore delle superfici che rivestono una data quantità di volume.
Queste definizioni – che assomigliano agli *Esercizi di stile* di Queneau – fabbricano diversamente il concetto di sfera. Una bolla soffiata in una membrana perfettamente elastica (def. 13) è cosa diversa da una palla fatta al tornio (deff. 4 e 10) o modellata (deff. 5, 10 e 12), o tessuta di anelli intrecciati (deff. 6 e 11), o impilando dischi omotetici il cui raggio varia in concomitanza al coseno del raggio sferico (parafrasi della def. 2).
Perché queste immagini concettualizzate siano geometricamente traducibili tra loro bisogna assumere una nozione energetica di "distanza". Questa nozione è dunque "primitiva" in tre sensi: logico, storico e psicologico. È logicamente preliminare ad altre ed è più antica; risale a epoche che non distinguevano fisica e geometria, epoche in cui i rapporti tra distanze corrispondevano a rapporti tra forze e le figure più semplici – retta e piano, circolo e sfera – erano solo i più improbabili tra gli spazi "contesi" tra forze opposte.
Da un lato la nozione di "distanza" ci riporta al senso delle antiche operazioni aritmetiche tra segmenti tracciati con riga e compasso. Dall'altro lato rinvia a proprietà fenomeniche e culturali degli oggetti fisici. In questo senso parliamo di una "concezione figurativa" che non ha mai abbandonato la storia delle geometrie, affiorando soprattutto nella questione della "genesi psicologica degli assiomi" [Enriques 1906, pp. 174-201].
L'idea che la geometria sia essenzialmente una scienza "figurativa" – non astratta – percorre tutta la storia di scuola realista della scienza dell'estensione, fino al progetto di una semiofisica [Thom 1988].

Conclusioni: geometrie e categorizzazione degli oggetti

La concezione figurativa della geometria che abbiamo evocato sopra riporta la scienza dell'estensione nell'alveo della filosofia naturale e delle tecniche [Thompson 1945]. Inoltre, ci consente di cogliere meglio le continuità e discontinuità storiche della geometria per il disegno nel passaggio tra DG e CG. Da questo punto di vista la DG e la CG sono episodi che si stagliano entrambe lungo le composite genealogie di due importanti capitoli della filosofia naturale:
1) la "scienza della forma" coltivata soprattutto nella morfologia naturalistica, dall'antica anatomia comparata fino alle teorie morfogenetiche otto e novecentesche;
2) la "scienza della visione", dall'ottica euclidea alla *perspectiva artificialis* rinascimentale, dalla psicologia della percezione otto-novecentesca fino alle recenti tecniche di *computer vision*.

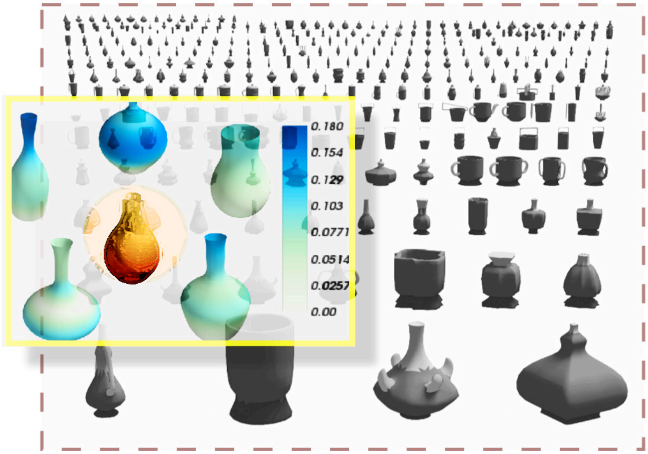


Fig. 8. Analisi statistica delle forme di superfici di vasi sulla base del calcolo della curvatura di Karcher. La "forma media" è al centro [Bauer, Bruveris, Michor 2014].

"Scienza della forma" e "scienza della visione" sono ambiti ben distinti, ma spesso hanno rappresentato il polo oggettivo e soggettivo di analoghe questioni morfologiche. Entrambe condividono alcuni problemi e metodi, alcuni strumenti geometrici e matematici che, con la terza rivoluzione industriale, hanno conosciuto la svolta epocale verso le tecno-scienze e l'attuale dimensione digitale del mondo. Mi spiego.
1) Notoriamente, dal secondo Ottocento, nelle scienze naturali si diffusero metodi comparativi morfometrici e statistici. Essi servivano a costruire tipologie dedotte da vasti *corpora* di *exempla* – costituiti prevalentemente da campioni, calchi o rappresentazioni grafiche – parametrizzati e ordinati per grado di tipicità. A partire da questi corpora, ogni tipologia naturalistica era sempre basata sulla correlazione di caratteri analoghi su campioni omologhi di corpi diversi. Perciò ogni tipologia presuppone una tassonomia misurabile, cioè un paradigma comune all'insieme di corpi comparati e un criterio matematico di misura delle loro differenze. In senso tecnico si tratta di comparare proprietà geometriche, metriche e differenziali, come la distanza e la continuità delle curvature in un punto. Si tratta dunque di quelle trasformazioni geometriche dette "diffeomorfismi" (fig. 7) – a cavallo tra geometria differenziale e topologia – preconizzate nelle pagine più famose del celebre Growth and Form di D'Arcy Thompson. In quelle pagine [Thompson 1945, pp.1026-1090] il naturalista inglese introduce l'uso di diagrammi detti "di trasformazione": grafici che descrivono la variabilità morfologica dei corpi nei termini della deformazione di un reticolo di riferimento composto di linee omologhe in organismi e parti di organismi diversi rappresentati alla stessa scala metrica. Ovviamente i diagrammi di trasformazione sono possibili solo se esiste un paradigma comune ai corpi comparati. Cioè, dipendono dalla scelta delle coppie di luoghi (ontogeneticamente) omologhi in diversi corpi. Dunque, tale reticolo di trasformazione avrebbe dovuto individuare il sistema di parametri più prossimo alle reali linee di crescita della forma (linee ontogenetiche) e prossimo alle parti degli organismi che manifestano le differenze di speciazione (filogenetiche).
La scienza della forma di Thompson, con la svolta epocale che ci ha condotti al mondo digitale e alle tecno-scienze, si è trasformata nel profluvio delle biometrie e morfometrie comparative che – dagli anni sessanta del Novecento – sono accompagnati dallo sviluppo sbalorditivo dei modelli morfogenetici in chimica teorica, fisica e, soprattutto, in biologia teorica.
2) I modelli geometrici che spiegano l'emergere delle forme dalla materia riguardano anche le neuroscienze. Oggi la neurogeometria [Petitot 2008] studia la geometria funzionale dell'apparato percettivo, specialmente i processi della percezione visiva di basso livello. Studia specialmente la trasduzione dell'informazione visiva dallo stimolo prossimale (retinico) 2D al formato del percetto elaborato dalla prima corteccia cerebrale visuale (V1). Ovviamente quest'ambito di studi si colloca all'inizio del quadro più ampio dei modelli geometrici usati nello studio dei diversi stadi nei quali si segmenta l'intero processo percettivo visuale:
a) l'estrazione delle prime strutture morfologiche dall'immagine retinica (posizioni, dimensioni, orientamenti, colori, contrasti, distanze, moti);
b) l'emersione di forme visuali;
c) la misura dell'articolazione delle superfici in profondità nell'ambiente;
d) la distinzione di regioni e oggetti come "cose" dell'ambiente effettivo:
e) l'attribuzione della taglia e della posizione delle "cose";
f) la segmentazione percettiva delle "cose" in loro parti;
g) il riconoscimento di "oggetti";

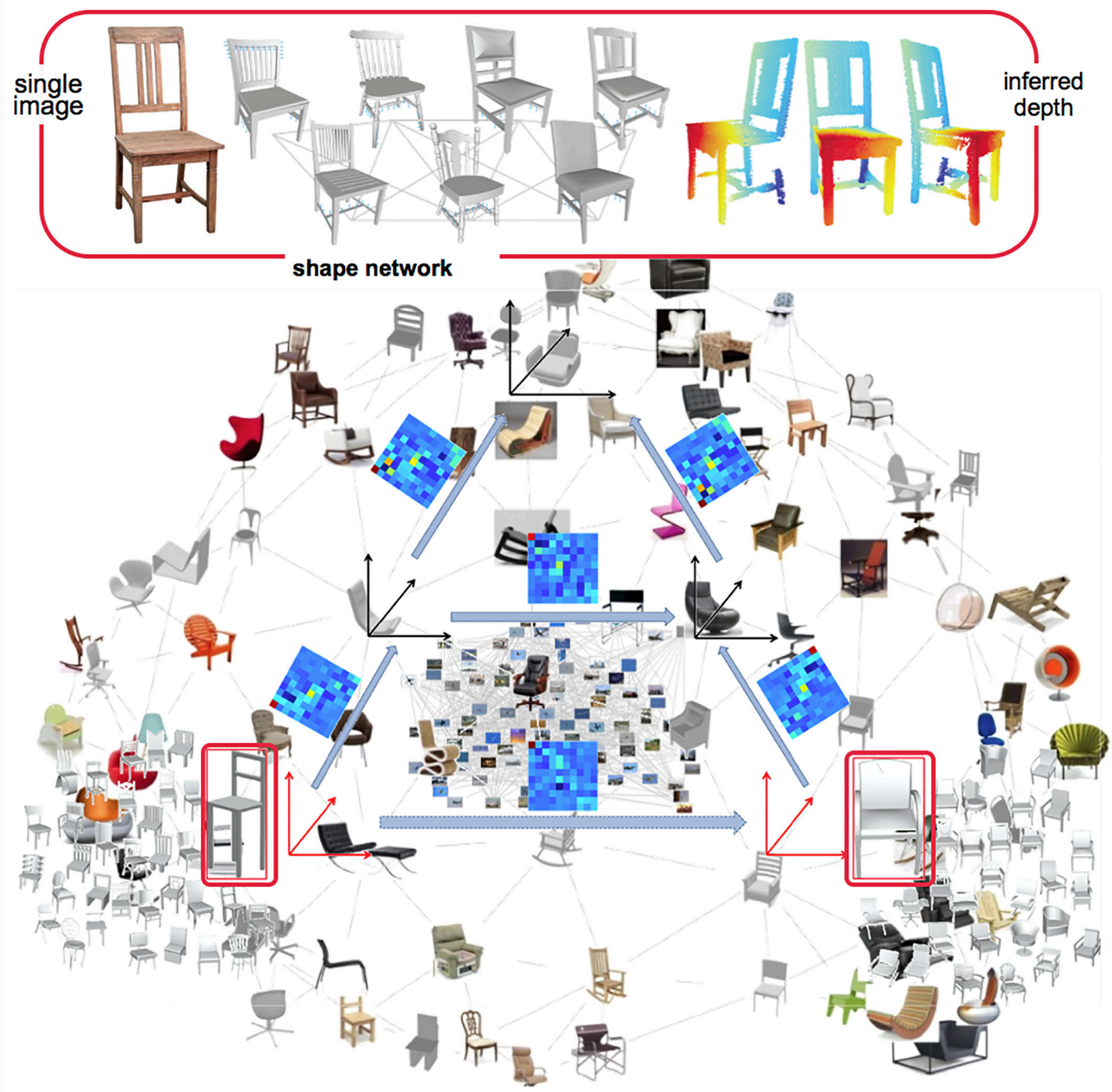


Fig. 9. Riconoscimento e categorizzazione automatica di un oggetto attraverso inferenza di profondità di una singola immagine ed estrazione di caratteristiche da repertori di immagini [Yi et al. 2017].

h) l'attribuzione di categorie (funzionali e culturali) agli oggetti e alle situazioni percepite.
Ad esempio, in rapporto allo stadio "e" il vedere si assimila a una sorta di restituzione fotogrammetrica e stereoscopica della scena vista, trattandola secondo i modelli del cosiddetto "problema inverso" (della rappresentazione) elaborato nella DG.
In rapporto allo stadio "c" si usa una geometria differenziale che descrive il comportamento luministico delle superficie [Palmer 1999, pp. 243-246]. L'ipotesi è che il computo percettivo delle curvature avvenga a partire dall'andamento delle linee isofote, usato come indice della variazione punto per punto delle normali alla superficie.
Anche in rapporto allo stadio "f" si usano i termini della geometria differenziale. Per esempio, nell'ipotesi [Hoffman 1998] della tendenza ad attribuire "nomi" solo alle parti convesse degli oggetti, sono determinanti tutti gli indici percettivi di curvatura di una superficie [Koenderink 1972].
La ricerca di modelli geometrici adeguati a spiegare l'estrazione percettiva delle caratteristiche più significative degli oggetti riguarda anche lo studio dei processi cognitivi di più alto livello ("h"), anche se avviene una categorizzazione percettiva fin dai primi stadi della percezione.
L'ipotesi dominante è che la visione sia guidata in ogni istante dalla categorizzazione tramite strategie di economia computazionale, com'era per i criteri di organizzazione percettiva già ipotizzati dalla *Gestaltpsicologie* che identifica psicologia e geometria della forma-immagine (*Gestalt*).
La svolta del paradigma computazionale ha riguardato tanto la geometria quanto la psicologia della percezione [Marr 2010]. Entrambe, negli stessi anni, sono indistinguibili all'interno della teoria delle reti neurali elaborata da Minsky e Papert [Minsky, Papert 1990].
La storia di questa convergenza è lunga e nota. Ma cosa c'entra la geometria coltivata all'interno dei *design study* con la genealogia convergente nel modello computazionale di varie morfologie nate nelle scienze naturali?
Una prima risposta è storica. Fin dal secondo Ottocento, il modo di misurare morfologicamente la filogenesi ha riguardato anche l'antropologia, allora intesa come "storia naturale dell'uomo". La geometria comparativa dei *naturalia* si tradusse in quella degli *artificialia*. Cioè, il metodo della misurazione per diffeomorfismi si estese anche allo studio delle specie storiche e archeologiche degli artefatti umani, opportunamente ripartiti in *corpora* modellistici e tipologie (fig. 8). Da allora, metodi analoghi alle biometrie statistiche sono giunti all'archeologia analitica [Clarke, Pinnock 1998] e giungono oggi al loro pieno compimento lavorando (*on line*) su *corpora* di modelli digitali ricavati dalla scansione 3D di immensi repertori di reperti.
La CG ha moltiplicato all'inverosimile le possibilità tecniche della morfologia del reperto e del repertorio. Nell'epoca dei *big data*, la CG consente l'estrazione di geometrie a partire da svariati tipi di dati – corpi fisici, misure, repertori e di modelli e d'immagini in rete [Heath et al. 2010; Yi et al. 2017] (fig. 9) – compiendo così elaborazioni semiotiche che vanno al di là delle possibilità umane [Stiegler 2016]. Gli algoritmi in azione nella CG eccedono le possibilità dell'immaginazione umana, ma non quelle della loro storia tracciabile dove la genealogia tecnica e quella estetica non sono separabili.
La geometria – nel suo valore di "morfologia" (scienza della forma) – è parte del sapere estetico investito nella fabbricazione degli oggetti; specialmente la "storia della GD", la "genealogia dei metodi di rappresentazione proiettiva" e la "morfologia delle curve, delle superfici e dei pattern" sono punti di vista rilevanti nello studio dell'evoluzione degli artefatti visuali (artistici e tecnici); perciò sono degli studi che si devono riferire all'ambito tematico della "geometria per il disegno": ambito che si staglia storicamente sullo sfondo del millenario interscambio tra "scienza della forma" e "scienza della percezione".
In queste constatazioni c'è una visione unitaria – retrospettiva e prospettiva – delle vicende storiche della "geometria per il disegno". È questa la tesi che abbiamo cercato di mostrare retrospettivamente e prospettivamente, partendo dal subentro – mezzo secolo fa – della GC alla GD, indicandone continuità e discontinuità. Retrospettivamente, abbiamo sottolineato la discontinuità tra il paradigma meccanico-proiettivo e quello computazionale-informazionale sovrapposta alla continuità profonda di una geometria intesa come scienza naturale: sapere da sempre negoziato tra "morfologia" e "teorie della percezione". Prospettivamente, abbiamo avvalorato questa tesi col fatto che le applicazioni odierne della GC si articolano seguendo – livello per livello – i capitoli della psicologia e semiotica della visione: dall'elaborazione dello stimolo prossimale ai processi di categorizzazione percettiva, cognitiva e culturale.

Autore

Fabrizio Gay, Dipartimento di Culture del Progetto, Università IUAV di Venezia, fabrizio@iuav.it

Riferimenti bibliografici

Bauer, M., Bruveris, M., Michor, P.W. (2014). Overview of the Geometries of Shape Spaces and Diffeomorphism Groups. In *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, n. 50 (1-2), pp. 60-97.

Chasles, M. (1837). *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie: particulièrement de celles qui se rapportent à la géometrie moderne, suivi d'un mémoire de géométrie sur deux principes généreaux de la science, la dualité et l'homographie*. Bruxelles: M. Hayez.

Clarke, D.L., Pinnock, F. (1998). *Archeologia analitica*. Milano: Electa.

Enriques, F. (1906). *Problemi della scienza*. Bologna: N. Zanichelli.

Heath, K. et al. (2010). Image webs: Computing and exploiting connectivity in image collections. In IEEE CS. (ed.). *2010 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, San Francisco CA, 13-18 june 2010. pp. 3432-3439. Piscataway, NJ.: IEEE.

Hoffman, D.D. (1998). *Visual intelligence: how we create what we see*. New York: W.W. Norton.

Koenderink, J.J. (1972). *Models of the visual system*. (Phd Thesis). Tutor M.A. Bouman. Utrecht University.

Leroi-Gourhan, A. (1986). *Meccanica vivente: il cranio dei vertebrati dai pesci all'uomo*. Milano: Jaca Book.

Loria, G. (1921). *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*. Milano: Ulrico Hoepli.

Marr, D. (2010). *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. Cambridge, Mass.; London: MIT Press.

Minsky, M.L., Papert, S. (1990). *Perceptrons, an introduction to computational geometry*. Cambridge, Mass: Massachusetts Institute of Technology.

Palmer, S.E. (1999). *Vision Science: Photons to Phenomenology*. Cambridge, Mass.; MIT Press.

Petitot, J. (2008). *Neurogéométrie de la vision: modèles mathématiques et physiques des architectures fonctionnelles*. Palaiseau: Les Éditions de l'École polytechnique.

Shamos, M.I. (1978). *Computational Geometry*. (PhD Thesis). Yale University, New Haven, CT, USA: <http://euro.ecom.cmu.edu/people/faculty/mshamos/1978ShamosThesis.pdf> (consultato il 17 febbraio 2018)

Simondon, G. (1958). *Du Mode d'existence des objets techniques*. Paris: Ligugé; Aubier: impr. d'Aubin.

Simondon, G. (1992). *Sur la techno-esthétique; et Réflexions préalables à une refonte de l'enseignement*. Paris: Collège international de philosophie.

Simondon, G. (2013). *Sur la technique, 1953-1983*. Paris: Presses Universitaires de France.

Stiegler, B. (2016). *Dans la disruption: Comment ne pas devenir fou?* Paris: Editions Les liens qui Liberent.

Thom, R. (1988). *Esquisse d'une sémiophysique*. Paris: Interéditions.

Thompson, D.W. (1945). *On growth and form*. Cambridge (England): University Press.

Yi, L. et al. (2017). Learning Hierarchical Shape Segmentation and Labeling from Online Repositories. In Association for Computing Machinery (ed.). *SIGGRAPH 2017 - ACM Transactions on Graphics*. Los Angeles CA. July 30 - August 03 2017. 36(4), 70:1-70:12. New York NY: ACM.