DIMENSIONI DEL DISEGNO

ANNO UNO, NUMERO UNO MARZO 1986
RASSEGNA CRITICA DI STUDI
SULLA RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA
E SULL'USO DELLE IMMAGINI
NELLA SCIENZA, NELLA TECNICA E NELL'ARTE

Numero monografico dedicato al convegno sui fondamenti scientifici della rappresentazione

con i contributi di:

GIULIANO MAGGIORA
RICHARD L. GREGORY
CORRADO MALTESE
DECIO GIOSEFFI
RENÉ TATON
ALESSANDRO POLISTINA
MARIO RASETTI

XY, le intenzioni

In quest'ultimo decennio è andata delineandosi con sempre maggiore evidenza l'ampiezza e la continuità tematica degli interessi sul disegno, d'altro canto il progressivo e rapido allargamento delle sue competenze ha resa pressante l'esigenza di riformularne il quadro disciplinare e di verificarne la coesione metodologica.

I problemi teorici ed applicativi dell'immagine grafica sono oggetto di attenzione da parte di numerose basi di osservazione che, da posizioni progettuali, storiche, scientifiche ed artistiche interagiscono con la rappresentazione, confermando l'importanza del suo ruolo, ma segnalando al tempo stesso i disagi causati dalla sua eccessiva segmentazione.

XY intende compiere, nell'ambito della cultura del disegno, una duplice azione di stimolo: verso l'esterno, dove occorre stabilire migliori e più organici collegamenti con i campi di utilizzo dell'immagine, per favorire il formarsi di uno strumento articolato ma coerente; verso l'interno, dove è necessario ricercare i nuovi rapporti che il modificato panorama tecnologico ed applicativo determina con gli elementi fondativi della rappresentazione, stabilmente identificabili con la sua genesi proiettiva e con le sue caratteristiche percettive e comunicative.

Si tratta di obiettivi che chiamano in causa la totalità degli interessi gravitanti intorno all'immagine grafica. XY è un invito ad affrontare sul terreno delle due sole dimensioni fisiche del disegno tutte le altre cui esso rimanda, prima fra tutte la terza, luogo dell'architettura e di tutte le cose rappresentabili, poi la quarta, tempo del movimento nello spazio, e così via le successive, allegoriche, simboliche o metaforiche che siano, purchè analizzate con la cartesiana ragione cui le coordinate X e Y alludono.

Questo primo numero è interamente dedicato alle relazioni di base che introducono gli argomenti di discussione del prossimo convegno romano su "*I fondamenti scientifici della rappresentazione*", promosso dal Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo. Miglior inizio non poteva darsi a questa rivista che intende mettere a confronto, con atteggiamento scientifico, tutte le forze culturali interessate al dialogo costruttivo sui fondamenti del segno grafico.

Il secondo numero conterrà gli atti conclusivi del convegno.

A partire dal terzo numero XY assumerà la sua configurazione definitiva e affronterà le dimensioni del disegno proponendosi come rassegna critica degli studi sulla rappresentazione dell'architettura e sull'uso dell'immagine nella scienza, nella tecnica e nell'arte.

Roberto de Rubertis

XY Dimensioni del disegno,
periodico semestrale
promosso dal Dipartimento
di Rappresentazione
e Rilievo dell'Università
di Roma.

Direttore: Roberto de Rubertis

Comitato scientifico:
Gaspare De Fiore
Margherita De Simone
Mario Docci
Gaetano Fano
Decio Gioseffi
Giuliano Maggiora
Corrado Maltese
Franco Purini

Direttivo di redazione:
Adriana Soletti
Luca Massacesi

Redazione:
Via Francesco Denza 52 00197 Roma

cedis editrice

Redazioni locali:
TORINO Ottorino Rosati
Corso Re Umberto 114 10128
MILANO Alessandro Polistina
Via Asti 15 20149
PARIGI Jean Paul Saint Aubin
10 Rue du Parc Royal 75003
MADRID Jorge Sainz
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
Ciudad Universitaria 28040

Pubblicato dalla Cedis Editrice
Tutti i diritti sono riservati

COMPOSIZIONE: Phototypecenter
Corso Francia 228 Roma

STAMPA: Grafica 2001
con coordinamento tecnico AGE
Città di Castello (PG)

PROGETTO GRAFICO:
Audiovisualgraphik/Cristiana Rinaldi

Iscritta al Tribunale di Roma al n.321/86
il 18 giugno 1986

Ogni numero: lire 15.000
Abbonamento
In Italia: lire 25.000
All'Estero: lire 50.000
Per gli Enti: lire 100.000

AMMINISTRAZIONE E PUBBLICITÀ
Via F. Denza, 52 00197 Roma
Tel.06/87.86.69

VERSAMENTI
Sul conto corrente postale N.51966000
intestato a Cedis s.r.l. Via F. Denza, 52 00197 Roma

In copertina:
Disegno di Eugène Viollet-le-Duc:
Roma, Palazzo della Cancelleria.
Il plastico in perspex della testata
è stato eseguito da Arclab.

Nota della Redazione:
Una parte delle illustrazioni che compaiono in questo fascicolo, a commento degli articoli, è stata rielaborata dalla redazione per la difficile riproducibilità tipografica degli originali, forniti in fotocopia dagli autori.

sommario

1 *XY, le intenzioni*

4 *Mario Docci*
Obiettivi del convegno

5 *Roberto de Rubertis*
Contributi a confronto

15 *Giuliano Maggiora*
Ipotesi sulla significazione estetica

19 *Richard L. Gregory*
L'occhio confuso
(nella traduzione di Gaetano Fano)

49 *Corrado Maltese*
Premesse per uno studio dei rapporti tra potenziale segnico e potenziale visivo nello spazio architettato

55 *Decio Gioseffi*
Rappresentazione geometrica dello spazio

75 *René Taton*
Les grandes étapes de la mathématisation des techniques graphiques: des origines à Dürer, à Desargues et à Monge

89 *Alessandro Polistina*
Computergraphica e rappresentazione dell'architettura

101 *Mario Rasetti*
Complessità della rappresentazione e rappresentazione della complessità

Obiettivi del convegno

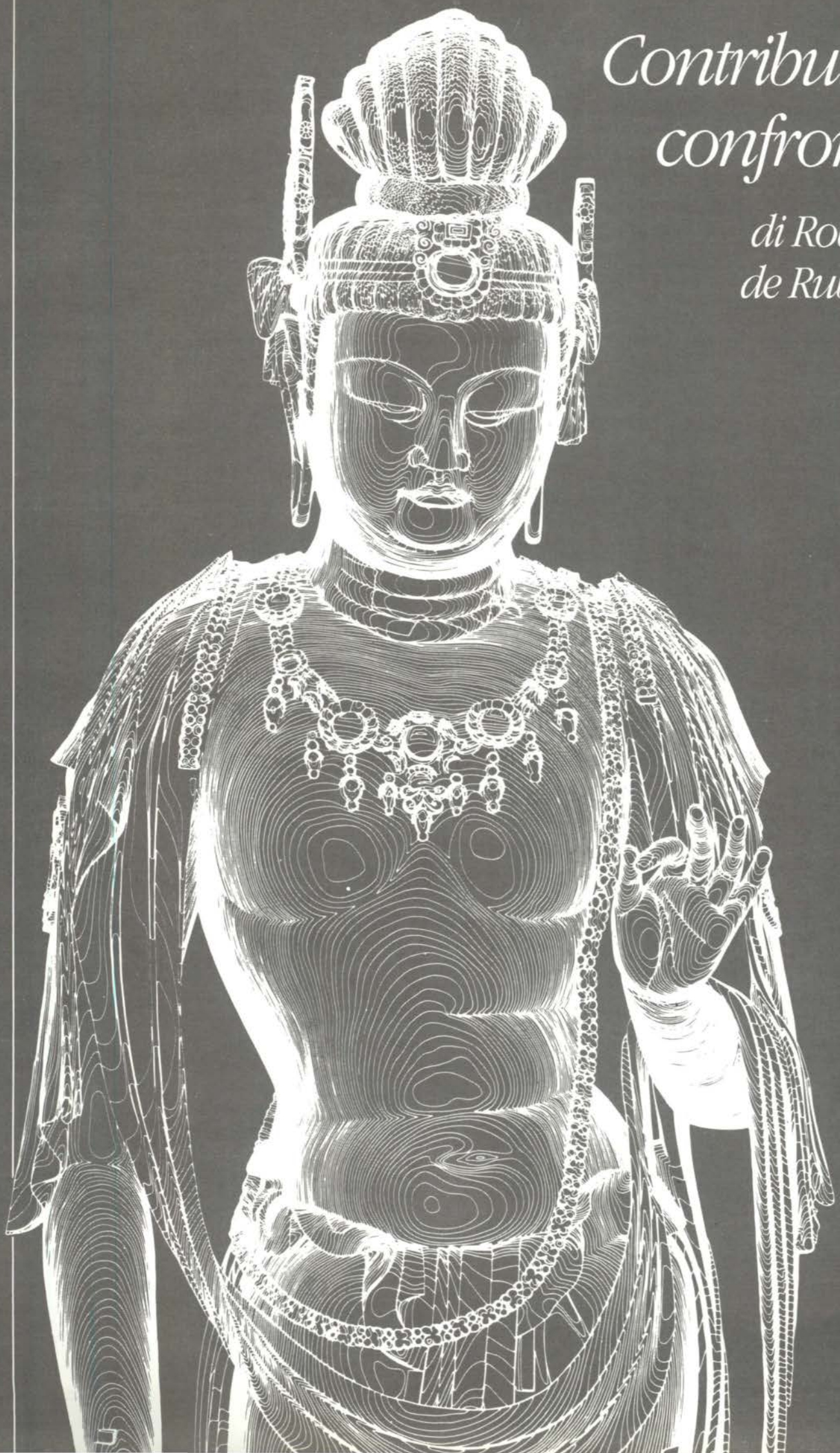
di Mario Docci

Dopo tre anni di attività e dopo aver risolto i più gravi problemi logistici, il Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo, ha sentito la necessità di dedicarsi ai propri compiti istituzionali tesi a promuovere la ricerca scientifica nell'ambito delle discipline del Disegno. A questo fine ci è sembrato opportuno, oltre che incentivare la ricerca all'interno del dipartimento, promuovere due iniziative che potessero coinvolgere tutti i docenti italiani intorno alle problematiche dell'area della rappresentazione.

Ci è sembrato che un convegno, che affrontasse alcuni aspetti relativi ai fondamenti scientifici del disegno e una rivista, finalizzata ai più ampi problemi della rappresentazione, potessero essere stimoli, l'uno mirato e a breve termine, l'altro più ampio e a medio termine, volti entrambi ad instaurare un dibattito culturale intorno a questi temi. Dal convegno contiamo di ottenere un apporto su argomenti in ombra da alcuni anni, quali la psicologia della percezione, i fondamenti semiologici della comunicazione per immagini, i contributi della costruzione geometrica nella rappresentazione e i problemi posti dalle nuove tecnologie alla rappresentazione dell'architettura.

La rivista, la cui direzione è affidata al collega prof. de Rubertis, pensa invece di porsi come strumento di approfondimento culturale su tutte le problematiche del disegno.

Il convegno intende inoltre riallacciarsi agli ideali enunciati nel primo incontro dei docenti della rappresentazione organizzato nel 1979 da Gaspare De Fiore a S. Margherita Ligure e a quelli successivi di Lerici, fino agli ultimi promossi da Margherita De Simone a Palermo. Ricollegandoci a queste insostituibili esperienze ci proponiamo di dare il nostro contributo al Disegno nel nome della continuità di un'idea.



Contributi a confronto

di Roberto de Rubertis

La breve ma già tenace tradizione degli incontri liguri e siciliani sul tema della rappresentazione ha reso possibile il consolidamento culturale di un'area disciplinare non facile da circoscriversi. Soprattutto ne ha esplorate con completezza le relazioni con due fondamentali ambiti limitrofi, da cui e verso cui muovono gli interessi teorici ed applicativi del disegno: l'ambito della storia e quello della progettazione.

Nel corso di tali incontri e in esito alle riflessioni ivi maturate si è andata configurando una nuova esigenza, al tempo stesso più disciplinare, perchè rispondente a richieste emergenti dal mondo dell'immagine, e più interdisciplinare, perchè aperta al confronto con interessi estremamente vasti: l'esigenza di un riesame critico dei fondamenti scientifici della rappresentazione, vale a dire di tutto l'insieme di conoscenze, di teorie e di osservazioni cui viene fatto continuo e talora contraddittorio riferimento nell'esposizione dei costrutti logici e nello sviluppo dei procedimenti applicativi riguardanti il segno grafico.

Tale esigenza, dietro la quale non intende insinuarsi la surrettizia aspirazione ad improbabili teorie unificate del disegno, manifesta in realtà lo stato di disagio causato da una insufficiente base di riferimento, almeno convenzionalmente comune, sulla quale impostare il confronto delle esperienze, la formulazione delle ipotesi e il dialogo costruttivo nel vasto arcipelago dell'immagine.

Le connessioni del disegno con la geometria, con l'estetica e con la semiotica fanno parte della sua storia fin dalle origini. Relazioni sostanziali sono innegabili anche nei confronti di alcuni aspetti della matematica, della fisica, dell'antropologia, della fisiologia, della psicologia, così come non possono escludersi implicazioni logiche con la gnoseologia, la fenomenologia della percezione e l'epistemologia, per finire con le più nuove connessioni stabile con l'informatica e con la sociologia.

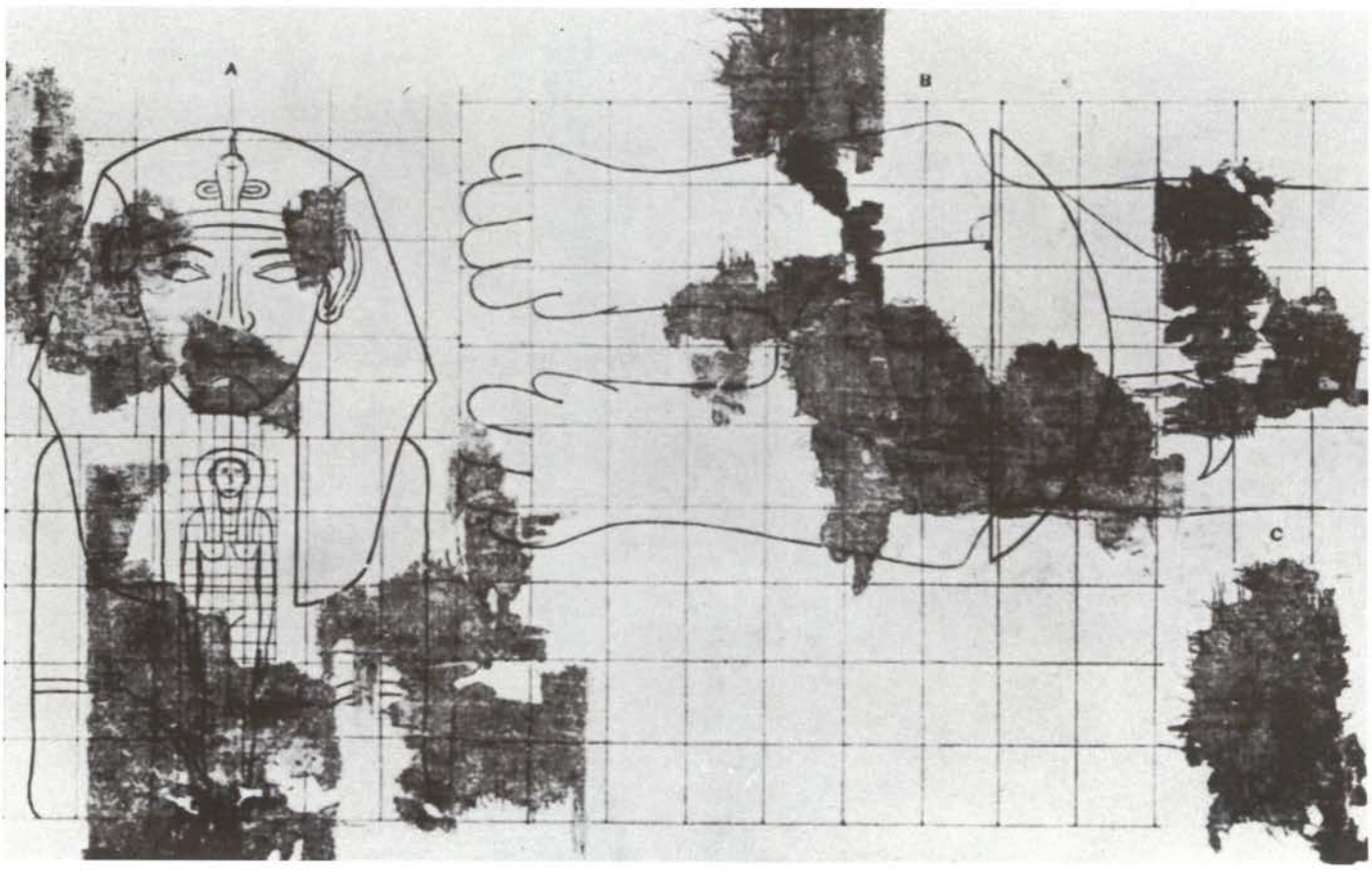
Una così ampia frontiera, priva peraltro di demarcazioni convenute, favorisce migrazioni di esperienze non sempre immuni da fraintendimenti o dilettantismi; non c'è infatti studioso dei problemi rappresentativi che non annoveri nel proprio curriculum interessi, curiosità o tentazioni rivolte a campi limitrofi, non soltanto perchè dall'aspetto più verde, ma soprattutto per l'onesta necessità di controllare, ad ogni buona occasione, le procedure di ingresso e di uscita delle informazioni dal proprio ambito di lavoro.

L'incertezza metodologica di tali operazioni rende difficoltoso il procedere organico degli studi sull'immagine, così pressantemente richiesti dalla società contemporanea, e mostra l'urgenza di definire con maggiore chiarezza, le condizioni al contorno dell'area del disegno e soprattutto i fondamenti scientifici che ne assicurino la difendibilità del ruolo culturale.

E' verosimile che il disegno, nella complessità dei suoi aspetti, non possa mai essere del tutto inquadrato in una struttura definitiva, come pure che non possa essere ordinato da un elenco di proposizioni conseguenti, capaci di condurre a formulazioni generali, se non in ambiti di pensiero talmente ri-

Pagina precedente: National Research Institute of Cultural Properties di Nara (Giappone). Rilievo stereofotogrammetrico della statua in bronzo di Bodhisattva Gakko Bosatsu.

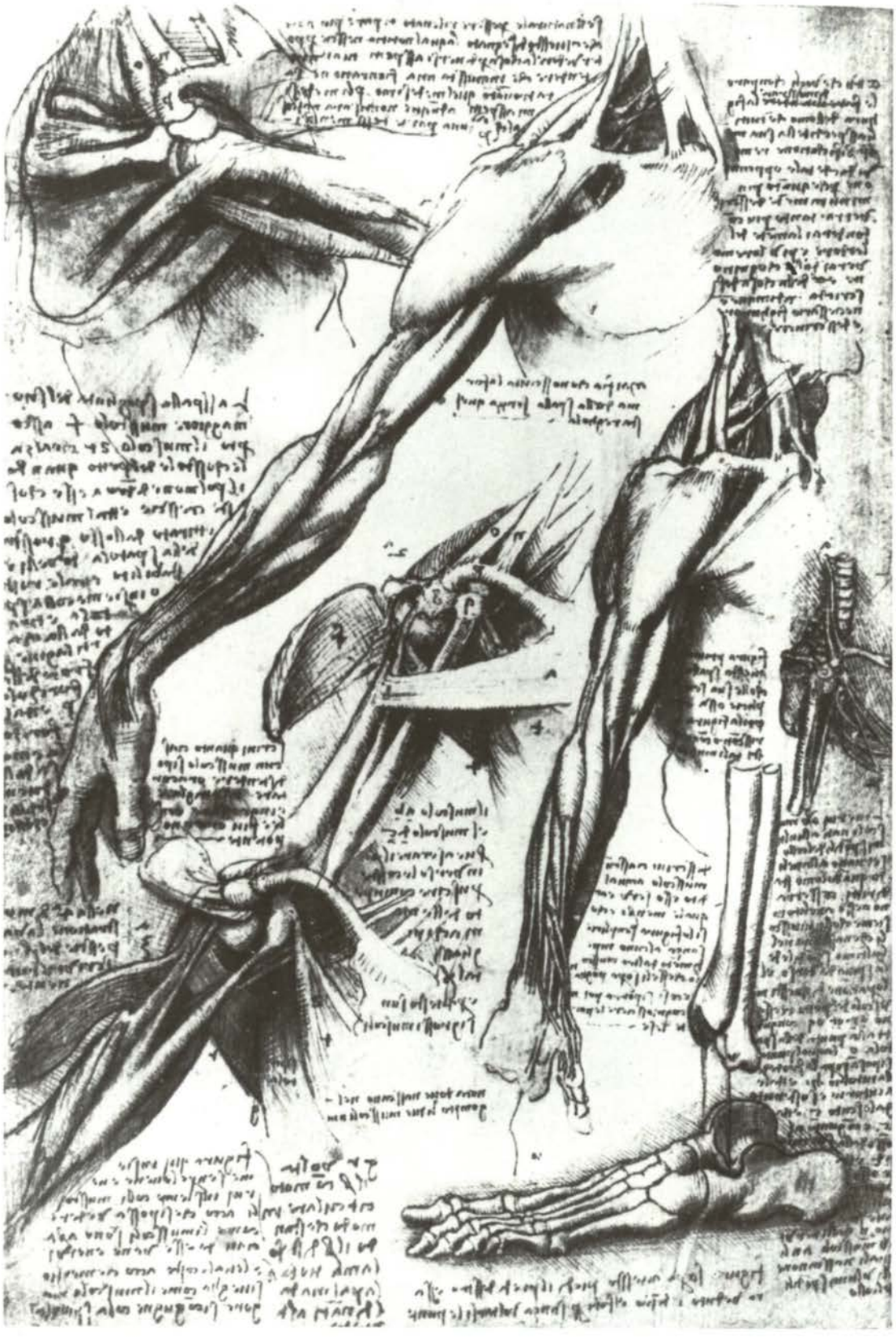
Papiro egizio con progetto di sfinge in prospetto e pianta su reticolo proporzionale. Età tolemaica, Berlino, Staatliche.



stretti e sotto condizioni talmente limitative da rendere sterile ogni sforzo in tal senso.

La presenza della rappresentazione iconica in una estesa molteplicità di ambiti culturali, solitamente regolati da sistemi di convenzione autonome, giustifica l'improbabilità, ed in definitiva anche l'indesiderabilità, di un rigido quadro di riferimento complessivo per le varie articolazioni teoriche del segno, o di un paradigma univoco per le sue diverse applicazioni. La diffidenza che da più parti viene mostrata verso metodologie d'approccio integralmente unitarie al mondo del disegno è prova non solo del timore di possibili riduzioni d'autonomia culturale da parte di determinate aree di interesse, ma anche della difficoltà di affrontare ottimisticamente un problema di così difficile risoluzione.

E questo nonostante che l'immagine del rea-



Leonardo
Disegni anatomici
(Windsor, Castle).

le, prodotta con qualsiasi mezzo su superfici, sia oggetto di interesse primario per buona parte dell'estetica, della semiologia, della geometria, dell'arte figurativa e delle comunicazioni visive, e che compaia inoltre come oggetto d'interesse collaterale o strumentale per una serie non elencabile di aree disciplinari per le quali non di rado costituisce la forma privilegiata di trasmissione delle idee.

Sulla non perseguibilità di un obiettivo, quale quello della formulazione di una teoria universale del segno, si ha il conforto della moderna epistemologia che impedisce ad ogni costruzione teorica di potersi considerare, al proprio interno, completa, generale e definitivamente comprovata. Limitazione che presenta la sua maggiore evidenza dove maggiore è l'interdisciplinarità e quindi la possibilità di posizioni contraddittorie. Ne ha dato atto il tentativo strutturalista di dimostrare il costrutto linguistico della comunicazione iconica, sul quale tante speranze sono diventate illusioni.

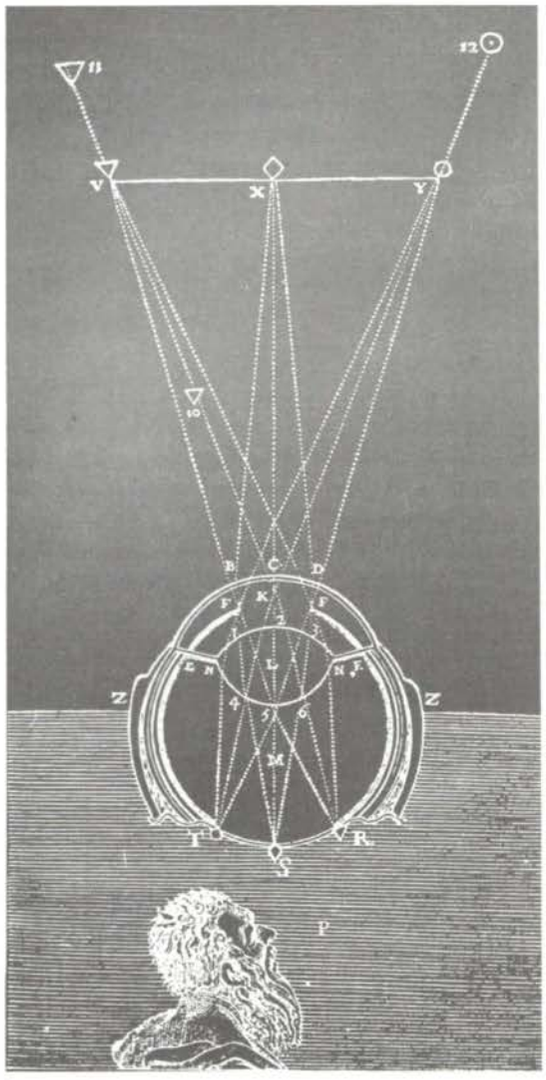
Anche la geometria ha da tempo circoscritto il proprio controllo agli aspetti metrici e di relazione tra configurazioni, rinunciando contro ogni (forse legittima) aspirazione "prospettica" a descrivere con le proprie leggi le qualità generali dello spazio rappresentato.

Così pure l'avventura gestaltica, programmaticamente totalizzante, ha esaurito la forza delle "leggi percettive" sull'inconsistenza scientifica dei loro presupposti, conclusivamente (ma non per tutti) dimostrata dal paradosso dell'esperimento impossibile di Musatti. Alla sua contraddizione non va attribuito il senso goedeliano di incompletezza del sistema, ma quello, più definitivo, di impossibilità per la sua logica di occupare spazi diversi da quelli di una valutazione puramente estetizzante dell'immagine.

Molti interessi sono oggi rivolti alla ricerca iconologica, nell'attesa di chiarificazioni sia sui processi di formazione del segno, sia sull'ampliamento del suo potenziale comunicativo in questo momento di grande richiesta di processi unificativi del linguaggio grafico. È però in larga misura prevedibile che anche i suoi più significativi risultati difficilmente avranno accoglienza in ambiti disciplinari nei quali il processo evolutivo della comunicazione è scarsamente influente e nei quali non hanno interesse le distinzioni filologiche tra iconico e non-iconico.

Se quindi non è prevedibile, nè auspicabile un processo unificativo dei diversi atteggiamenti di pensiero con i quali il disegno viene affrontato, non per questo può ritenersi giustificato nè l'innalzamento di barriere a protezione dei vari idiomi culturali, nè il proliferare dei medesimi oltre ogni ragionevole necessità. Al contrario per rendere comunicative e produttive le ricerche condotte in campi distinti si rende sempre più necessario consentire il confronto degli obiettivi, il ricircolo delle esperienze e lo scambio dei risultati in un ambiente culturale in cui il dialogo sia un'attività praticata con successo.

È necessario che i numerosi segmenti operativi in cui si articola la vasta area del disegno, possano disporre di un comune bagaglio di certezze, criticamente fondate su conoscenze oggettive, nelle quali l'innesto di linee di ricerca liberamente orientate e soggettivamente condotte possa reggersi più sul riconoscimento delle basi comuni e su maturati dibattiti chiarificativi che non sulla contraddizione gratuita e sul linguaggio criptico.



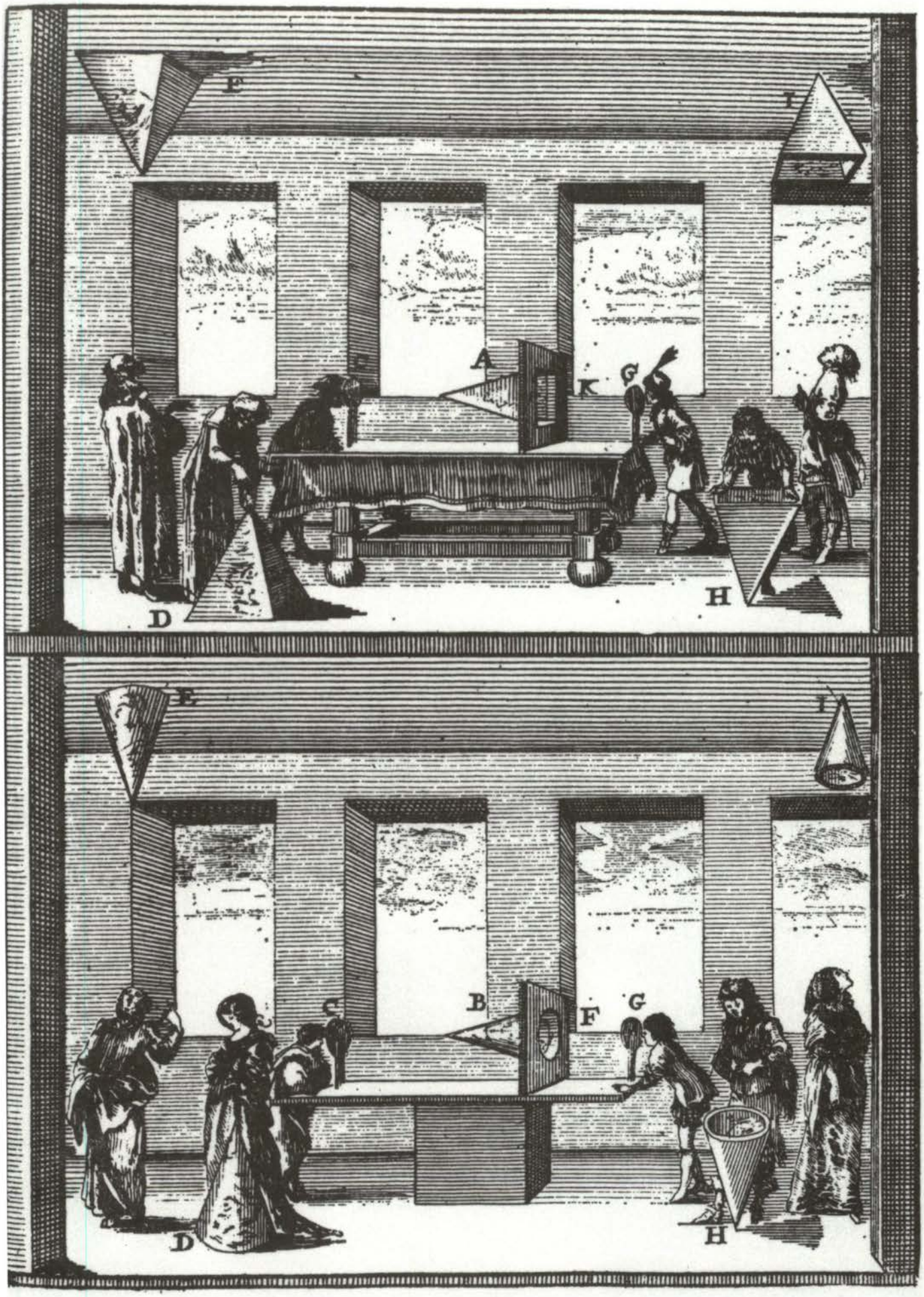
Frans van Shooten, tavola per la "Dioptrique" di Cartesio. Leida 1637.

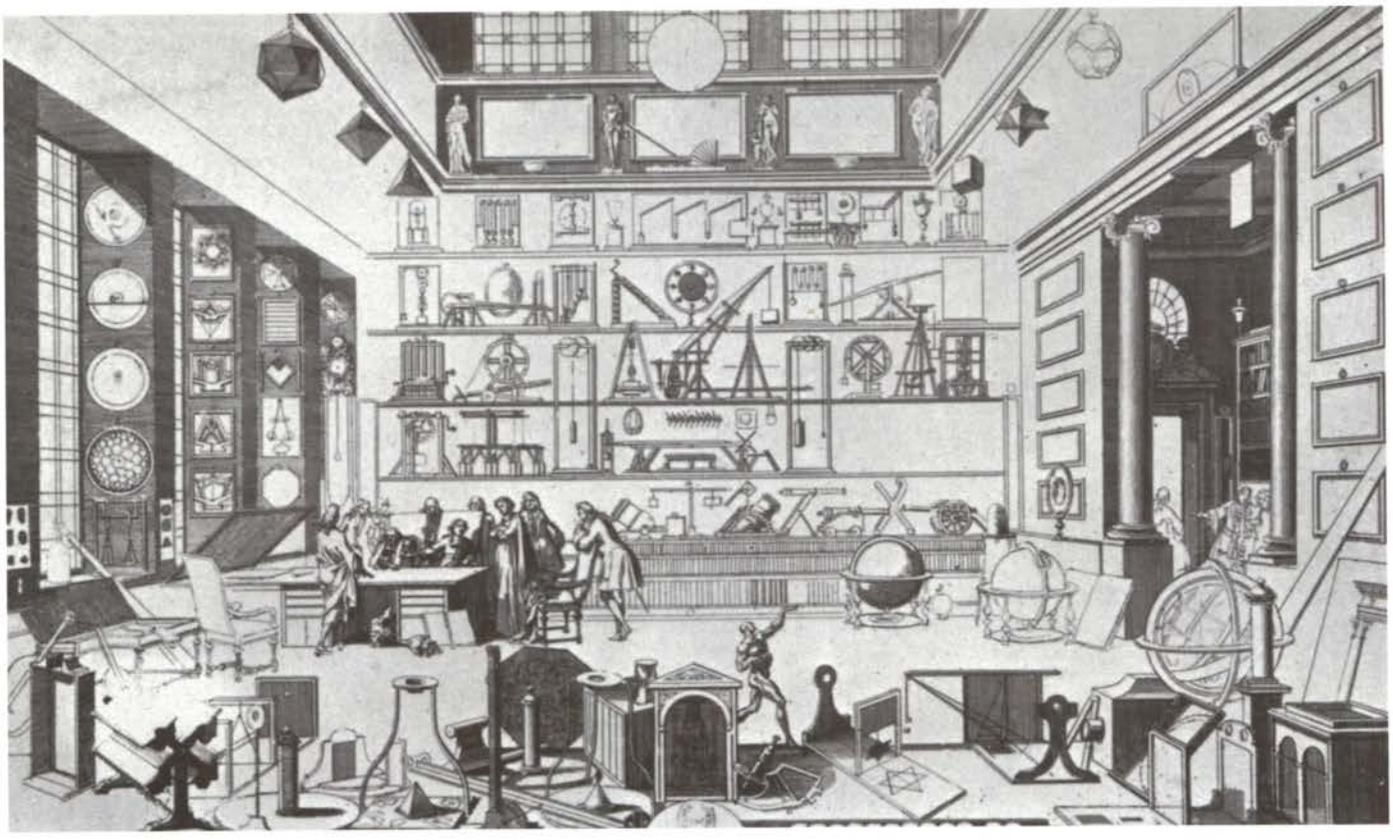
L'ipotesi di lavoro sulla quale si basa questo convegno consiste nel convincimento che dove esiste omogeneità nel tema (il disegno), negli strumenti (la sua produzione) e negli obiettivi (il suo uso) deve potersi convenire un linguaggio inequivocabile e che questo debba essere costruito sottoponendo a controllo scientifico le strutture di pensiero o i singoli enunciati che sul tema, sugli strumenti e sugli obiettivi vengono formulati dai diversi ambiti disciplinari.

In tal senso l'apertura di un dialogo sui "fondamenti scientifici della rappresentazione" costituisce al tempo stesso un'opportunità di verifica delle ipotesi messe a confronto e un momento di reciproca informazione per linee di ricerca convergenti o intersecantisi.

È necessario inquadrare correttamente il concetto di fondamento scientifico, non solo perchè in suo luogo non si fraintenda il generico atteggiamento scientista che

Père Du Breuil, La perspective pratique, Parigi 1649.


E
I
A
K
G
D
H
E
I
B
F
G
C
D
H



Anonimo francese del 1700. Laboratorio di Fisica.

caratterizza gli interessi per l'avanzamento tecnologico, ma perchè sia correttamente intesa la stessa definizione di oggettività che ne determina il significato.

L'oggettività della conoscenza scientifica è per Kant non già il riferimento ad una verità oltre la conoscenza sensibile, nè l'accettazione selettiva dei soli fenomeni concordanti con una teoria certa, ma il convincimento prodotto da ripetuti e attenti controlli sulle osservazioni effettuate e la collegabilità di queste ad una legge accettabile logicamente.

Il requisito richiesto è quindi quello della controllabilità, della ripetibilità e della coerenza delle osservazioni entro i limiti della ragionevolezza umana. È scientifico infatti, anche secondo l'impostazione operazionista, il fenomeno che può essere descritto e riprodotto quante volte si vuole e che può essere associato ad una norma esprimibile in termini generali, finchè non sarà smentito o falsificato da nuove più puntuali osservazioni.

Secondo Popper non è nemmeno necessario che "prima di essere accettata ogni asserzione scientifica debba essere stata di fatto controllata ...(ma che) sia passibile di essere controllata" (K. R. Popper, Logica della scoperta scientifica – p.31 – Einaudi, Torino 1970.), e quindi confermata o falsificata anche solo potenzialmente.

Il criterio della falsificabilità come demarcazione tra ciò che è scientifico e ciò che non lo è permette di escludere tutte le teorie, ipotesi, osservazioni o definizioni per le quali non esistono controlli che possano unificarne o rafforzarne la validità. Al contrario la stessa disponibilità alla verifica sperimentale, al confronto dialettico e al controllo empirico mette in evidenza che la forma logica con cui sono condotte certe osservazioni è di tipo scientifico.

Il convegno sui "Fondamenti scientifici della rappresentazione" è allora l'occasione per approfondire una serie di riflessioni suscettibili di costituire punto di riferimento comune in un campo di osservazione estremamente ampio ed è quindi anche l'occasione per ridurre, nell'area del disegno, il margine delle incertezze metodologiche a favore della possibilità di costruire un nucleo concettuale ad alto livello di universalità: un insieme di asserzioni che, se pure non assimilabile ad una teoria, sia in larga misura noto ed accettato e sia quindi spodestabile non con arbitrio, ma solo da ipotesi di livello scientifico superiore.

La distinzione, proposta da Giuliano Maggiora, tra segno iconico e segno astratto, nella sua provocatoria schematicità, rappresenta in tal senso una pertinente introduzione alla ricerca di un fondamento scientifico del linguaggio grafico.

Fuori dalle sabbie mobili di una equivoca identificazione tra arte e comunicazione, già esclusa brillantemente da Gombrich (vedi il saggio "L'immagine visiva come forma di comunicazione" in: L'immagine e l'occhio, Einaudi Torino 1985.), Maggiora propone un paradigma delle relazioni tra il messaggio estetico e quello concettuale in linea con le più recenti conclusioni biopsicologiche e stimolante per ricercare negli studi iconologici la chiave più disponibile per applicazioni interdisciplinari con l'area del disegno.

Valga per tutti il suo cenno alla geometria intesa come impiego del segno iconico nell'esprimere astrazioni (un linguaggio oggettivo per concetti oggettivi) da cui non può che deri-

Dagherrotipo di L.J.M.Daguerre, Strada di Parigi nel 1839 con il primo uomo mai fotografato.

varsi l'impossibilità dell'accezione panofskiana della prospettiva come forma simbolica di una cultura specifica (un linguaggio soggettivo per concetti soggettivi).

Sulla stessa linea si colloca l'analisi condotta da R.L. Gregory sul parallelo che può essere stabilito tra il procedere delle ipotesi scientifiche nella formulazione di una teoria e il procedere delle ipotesi percettive nella formulazione di un atto conoscitivo.

La trattazione è condotta proprio attraverso il progressivo controllo delle "deviazioni" che i fe-

nomeni di illusione percettiva costituiscono rispetto al panorama di ipotesi conoscitive formulate sulla base dell'esperienza, e, oltre ad essere un esempio rigoroso di applicazione di un metodo scientifico nel senso prima inteso, rappresenta un contributo di fondamentale importanza nel campo della percezione e della rappresentazione, per la prima volta pubblicato in Italia nella traduzione di Gaetano Fano.

Se ne ricavano sistematiche prese di posizione nei confronti della Gestalt, che non mancheranno di produrre una definitiva chiarificazione di quelle equivoche conseguenze metodologiche in cui negli ultimi decenni era stata riposta eccessiva fiducia.

Tutte le osservazioni sulle quali Gregory costruisce il proprio pensiero fanno parte di un mondo cognitivo "polare" che vede l'osservatore al centro di un campo fenomenico descrivibile come proiezione bidimensionale della realtà. Sulle superfici che costituiscono il "luogo" della proiezione avviene il controllo scientifico della sua tesi fondamentale, secondo la quale le percezioni sono ipotesi e le illusioni ipotesi fallite.

La rappresentazione diventa quindi al tempo stesso lo strumento di studio per la verifica di una teoria sulla psicologia della percezione e l'oggetto di studio per l'approfondimento delle condizioni secondo le quali è possibile la sostituzione dell'immagine alla realtà nelle diverse forme di descrizione dell'ambiente fenomenico. L'attenzione di Gregory è volta prevalentemente al primo aspetto del problema, ma le occasioni di riflessione che offre sono estremamente pertinenti sia perchè consentono un riesame in chiave percettiva dei problemi specifici del disegno, sia perchè costituiscono la più esplicita dimostrazione di quanto siano ampie e stimolanti le frange di sovrapposizione disciplinare tra il disegno e la scienza.

L'argomento proposto da Corrado Maltese riconduce l'attenzione all'architettura, luogo dei più singolari temi rappresentativi, affrontando in chiave semiologica il problema della quantità e qualità delle informazioni trasmissibili dall'ambiente all'osservatore e potenzialmente registrabili in immagini.

L'inseparabilità degli aspetti visivi della percezione da quelli sensori in senso lato, e quindi la correlazione complessiva che la ricezione dei segnali ha con l'intero comportamento umano, sottolinea l'importanza che deve essere attribuita ai canali comunicativi e alla loro capacità informativa. Maltese propone a tal fine un paradigma per il potenziale segnico e per quello percettivo nella trasmissione dell'immagine architettonica, dal quale si evince una chiara indicazione di metodo per le ricerche nel settore. Le prospettive evolutive che ne scaturiscono, per la rappresentazione, sono ampie e vanno cercate nell'immagine totale, animata, tridimensionale, avvolgente, capace in sostanza di riprodurre al massimo livello sensorio complessivo le condizioni di stimolazione proprie dell'ambiente reale.

Ad un così esplicito invito ad esplorare maggiormente la dinamica evolutiva del segno, anche attingendo dalla tecnologia e dalla scienza fa riscontro il pensiero di Decio Gioseffi che scopre insospettati nuclei formativi della conoscenza all'interno del disegno, tanto che si sarebbe tentati di rovesciare, secondo il suo pensiero, il tema di questo convegno in "fondamenti rappresentativi della scienza".

Al di là del paradosso, infatti, la sua trattazione presenta una tale ricchezza di legami sostanziali tra considerazioni di carattere geometrico e prospettico, da un lato, e di carattere epistemologico, semiologico, fisico, matematico, psicologico e musicale, dall'altro, da rafforzare il convincimento che nella storia della conoscenza il ruolo delle costruzioni grafiche, prospettiche in particolare, sia da considerarsi assai più essenziale di quanto generalmente ritenuto.

Il pensiero di Gioseffi, che muove dalle posizioni della teoria operazionista di Bridgman, accentra nel soggetto osservante e nella sua interazione col mondo gli aspetti essenziali della conoscenza, accettando come scientifiche quelle osservazioni che si verificano per confronto tra loro o con i modelli funzionali che le descrivono.

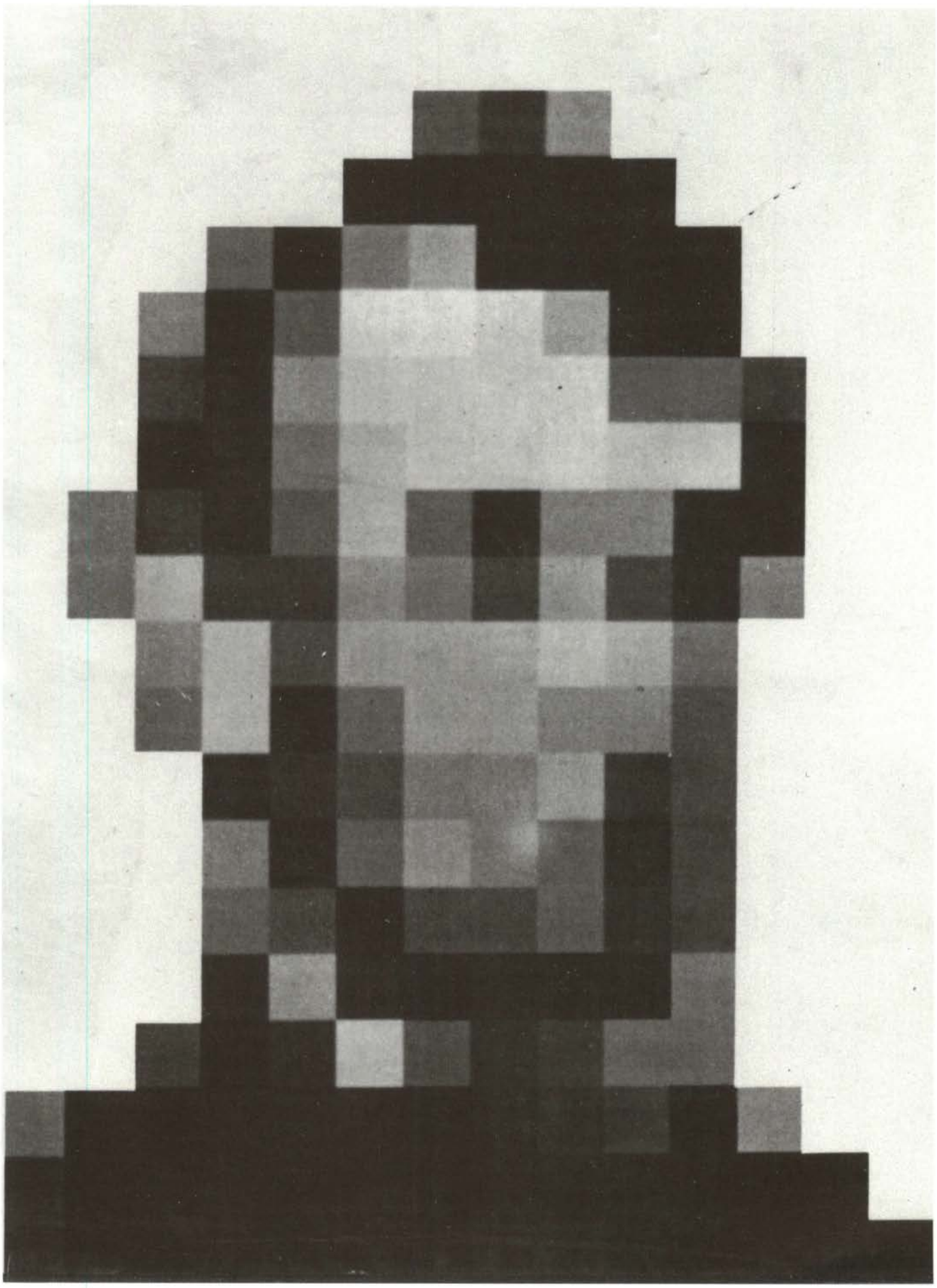
Azioni, percezioni e sistemi di segni sono quindi tra loro indissolubilmente legati nello sviluppo del pensiero, tanto da giustificare perchè la rappresentazione, e la geometria che ne regola le corrispondenze con lo spazio fenomenico, si trovino tanto frequentemente all'origine dei modelli esplicativi dei fenomeni naturali. "La prospettiva precede", dice infatti Gioseffi e questa sua affermazione, che si presta così bene ad una provocatoria estensione di significato fuori dai limiti da lui stesso concepiti, può essere chiamata a fornire gli stimoli per un dibattito costruttivo nel quale la conoscenza scientifica non possa essere definita reazionaria nè i giochi di parole possono assurgere ad assiomi.

Il meno che ci si possa attendere dal confronto delle idee su questi temi è una chiarificazione dell'influenza che la contrapposizione tra geometria euclidea e non euclidea ha avuto nelle questioni sulla validità assoluta dei procedimenti proiettivi di rappresentazione, come pure il senso di una presenza non evolutiva, quale quella della prospettiva, in un processo forse evolutivo, quale quello del disegno. E non è poco.

René Taton includerebbe certo volentieri anche la prospettiva in una visione evoluzionistica della conoscenza, giacchè propone un'analisi storica dei metodi di rappresentazione visti come un racconto del loro incessante avanzamento intellettuale. Nella sua narrazione la lunga ed illuministica via del progresso geometrico, pur se disseminata di frequenti "sfortunati" momenti di oscurantismo, è deterministicamente orientata verso la chiarificazione degli aspetti pratici ed applicativi del disegno, in un costante processo di matematizzazione delle tecniche grafiche.

Taton, oltre a considerare molto positivo il graduale trasferimento della prospettiva nel domi-

L.D.Harmon, Elaborazione su A. Lincoln.



nio della geometria (la teoria generale delle coniche le avrebbe dato in tal senso un assetto stabile e definitivo), che non mancherà certo di sollevare vivaci polemiche, attribuisce anche una scala di valori ai successivi avanzamenti della conoscenza nel settore; scala proporzionale alla presenza della matematica nel rinnovamento dei metodi di rappresentazione, pur sempre originati, come egli stesso riconosce, dalla "necessità".

Una posizione così fermamente orientata verso la ricerca di un fondamento scientifico "dinamico" del disegno, mentre sembra aprire una porta, anzi una strada maestra, al tema centrale di questo convegno, d'altra parte non potrà non entrare in conflitto con l'opinione di chi giudica meno incalzante e condizionante l'evoluzione della geometria e più lontana nella storia la radice dei processi logici che conferiscono scientificità al segno grafico.

E' indubbiamente questo uno dei punti fondamentali da risolvere e bisogna augurarsi che il dibattito cui darà origine possa consentire una valutazione, non solo marginale, di quanto la scientificità delle discipline grafiche sia collegabile alla logica sovrastorica di approccio alla conoscenza e quanto sia collegabile al processo.

Estrapolare queste considerazioni per delinare il futuro della rappresentazione, ultimo tema di questo convegno, è operazione rischiosa per due motivi. In primo luogo perchè potrebbe facilmente prestarsi ad affrettare conclusioni definitive in settori non sufficientemente consolidati, in secondo luogo perchè potrebbe suggerire erroneamente l'esistenza di uno scenario tecnologico avanzato, nel quale i problemi classici della rappresentazione siano superati o ignorati.

Al contrario, segnalati questi pericoli e scongiurate almeno le loro conseguenze più controllabili, deve mettersi in luce che il futuro dell'immagine si presenta fortemente problematico e con caratterizzazioni contraddittorie. Da un lato si osserva una crescita esponenziale delle possibilità di costruzione, duplicazione e comunicazione del segno iconico, una crescita dell'offerta, quindi, cui corrisponde, come si è già osservato, una pari crescita della domanda; dall'altro lato si registra una stasi degli studi in grado di connettere l'avanzamento tecnologico con i contenuti culturali della rappresentazione.

Le ragioni della frattura sono forse da ricercarsi in un gap generazionale, in tal caso presto superabile, o in una disorganica ripartizione di competenze, certo di più difficile risoluzione. Sono in effetti pochi i ricercatori che da solide posizioni di consapevolezza epistemologica nell'area del disegno, guardino con interesse ai suoi sviluppi futuri; minore ancora è il numero di coloro che, attenti al quadro evolutivo, siano in possesso della citata consapevolezza.

Una prospettiva di sviluppo applicativo su cui occorre meditare a fondo è quella segnalata dalla relazione di Mario Rasetti che tratta della rappresentabilità delle leggi descrittive di fenomeni scientifici altamente complessi.

Le tradizionali conoscenze dei rapporti tra realtà tridimensionale e rappresentazione bidimensionale, ferri del mestiere di ogni cultore del disegno, ne ricevono una vigorosa scossa e devono essere ricollocate in una visione più ampia delle relazioni tra oggetto e immagine. Non solo infatti Rasetti descrive situazioni geometriche in cui la pluralità delle dimensioni dello spazio fa perdere il senso euclideo della proiettiva classica, ma espone un mondo di superfici, di curve e di fantastiche forme iperspaziali in cui lo stesso concetto di immagine perde ogni significato abituale.

La presenza del calcolatore nella costruzione di modelli di leggi scientifiche complesse, rende però accessibili e comunicabili, anche nelle forme tradizionali dell'immagine visiva, universi morfologici di estrema ricchezza, la cui configurabilità è generalmente preclusa a chi si avvale di strategie conoscitive di tipo percettivo.

Messa in crisi come risultato proiettivo, l'immagine torna quindi a mostrarsi insostituibile per edificare almeno un simulacro geometrico delle leggi matematiche sul quale poggiare quel pilastro della conoscenza che è ancor sempre costituito dal modello visivo della realtà.

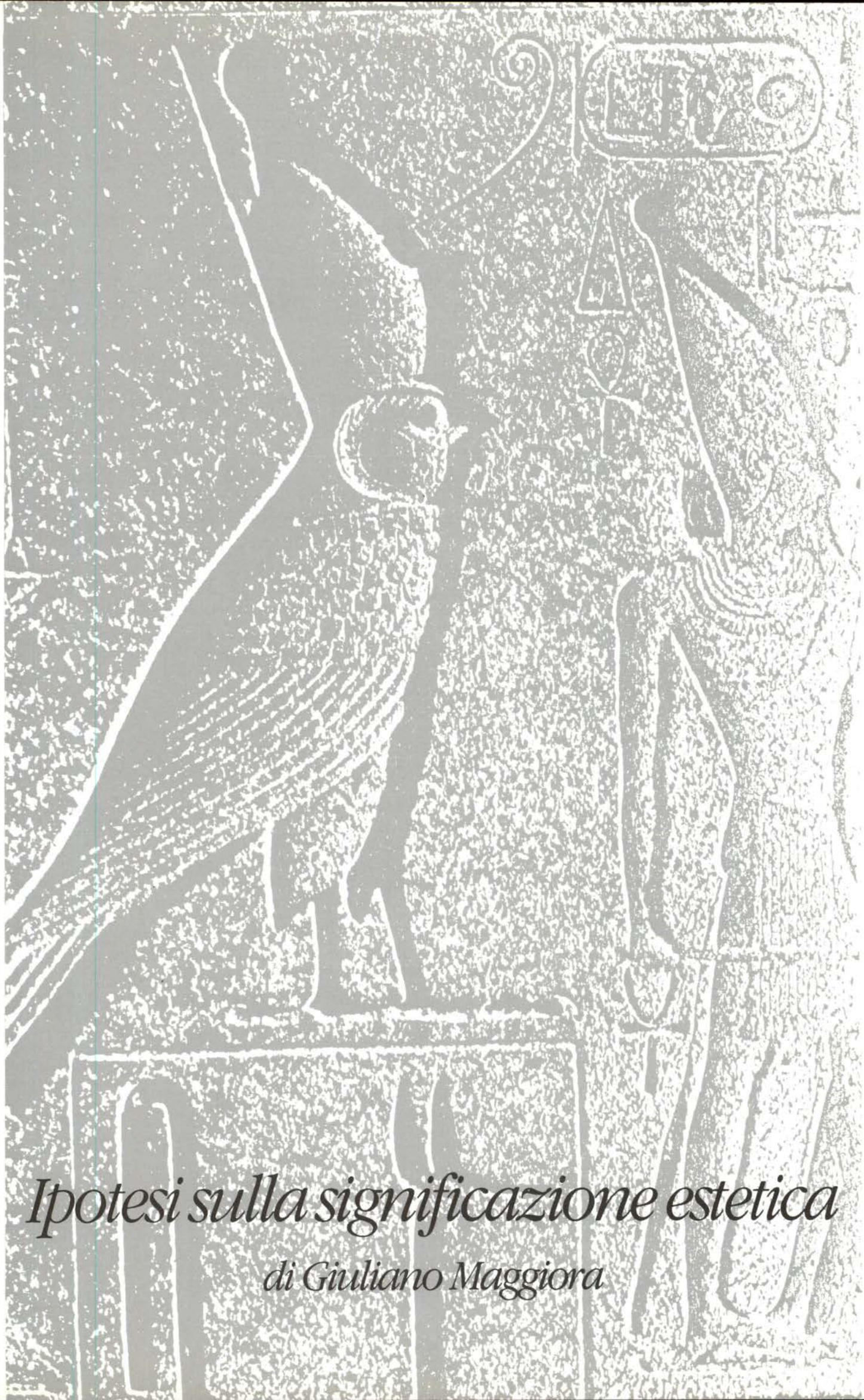
Si tratta di una dimensione del disegno certamente nuova ed esplorabile unicamente con procedimenti tecnologici avanzati.

La relazione di Alessandro Polistina porta nel convegno altri elementi stimolanti su questo problema e, oltre a descrivere lo stato attuale delle ricerche nel settore del disegno automatico, introduce un tema quale quello della rinnovata esigenza di una rappresentazione "integrale" della realtà tridimensionale, forse oggi meno utopico con la nuova strumentazione, ma non per questo meno difficile da affrontare.

Polistina propone anche un superamento dell'attuale posizione di stallo sulla ben nota questione prospettica che vede contrapporsi l'ipotesi della riduzione lineare delle grandezze e l'ipotesi della loro costanza percettiva in funzione della profondità.

I richiami di Polistina alla posizione panofskiana, per quanto attiene a quest'ultimo punto, troveranno certo in questo convegno altri momenti di confronto. Sebbene non pochi studiosi abbiano risolto diversamente il problema, e qualcuno si dichiari ormai stanco di una polemica più che trentennale, è però evidente che il nodo non è ancora sciolto e che non si spegne in silenzio la voce di chi, come lo stesso Gioseffi ebbe a dire, «resta nel bene e nel male il punto di partenza e il primo motore di tutte le indagini ulteriori».

Forse né questo né altri nodi saranno portati a soluzione, ma è doveroso non dimenticare su quali e quanti fondamenti, talvolta anche oscuri, è edificato il disegno, e parlarne ancora, con serio atteggiamento scientifico e in presenza dei protagonisti della ricerca contemporanea, non potrà non lasciare un segno.



Ipotesi sulla significazione estetica

di Giuliano Maggiora

Il mio intervento richiede due affermazioni preliminari che cercherò di fare nel modo più semplice possibile.

La prima riguarda l'identità fra conoscenza e sistemi di significazione.

La conoscenza consiste sempre nello stabilire delle leggi di relazione fra i fenomeni, per poter prevedere il loro comportamento e orientarci così nel mondo dell'accadere. Tali leggi sono ovviamente una costruzione della mente (ipotesi), non un dato di natura. Di qui la necessità di ricorrere ad artifici (segni) che permettano di simularle. Questi artifici si sviluppano in linguaggi.

L'altra riguarda l'esistenza evidente di due procedimenti linguistici opposti, che vorrei analizzare.

Il primo tende a stabilire delle leggi di relazione fra i fenomeni valide indipendentemente dalle circostanze nelle quali i fenomeni si presentano. È utile quando si ha ragione di temere che le circostanze possano inquinare la prevedibilità desiderata. Naturalmente l'eliminazione di queste ultime implica quella del valore che i fenomeni possono avere per noi nell'immediato: l'interesse si concentra unicamente sulle caratteristiche (dei fenomeni) che sono valutabili facendo astrazione dal posto e dal momento in cui ci appaiono. Sembrerebbe questa la genesi dei sistemi di significazione logico-matematici e concettuali in generale, comprese le lingue fonetiche perchè gli oggetti con esse descrivibili non corrispondono a nessuna circostanza in particolare. Lo chiamerò "procedimento concettuale", e "astratti" i segni che ne derivano.

L'altro tende invece a stabilire delle leggi volte a rendere prevedibile proprio il valore che i fenomeni possono assumere per noi a motivo del posto e del momento nei quali si presentano, che è il loro valore esistenziale.

Mentre nel primo torna comodo adottare segni depurati da ogni allusione alla circostanza (quindi immotivati e perciò concordabili, al fine di costruire degli oggetti "universali" o essenze), nel secondo torna meglio estrarre gli elementi segnici dalle condizioni stesse nelle quali i fenomeni si presentano alla percezione: cioè adottare segni iconici.

Chiamo "iconico" qualsiasi artificio inteso a costituire una valutazione dei fenomeni in base alle loro relazioni (percettive) di vicinanza, di differenza di posto e di misura anzichè in base a quelle (astratte) di uguaglianza, di differenza e di numero. Siccome questo tipo di segno è reso possibile dai mutamenti del quadro percettivo dovuti alla mobilità dell'organismo, chiamerò "procedimento iconico" qualsiasi tecnica volta ad articolare le idee mediante la combinazione di attività mentale e di stimolazione cinestetica. Quest'ultima è chiamata a svolgere lo stesso ruolo che gioca l'articolazione dei suoni nelle lingue fonetiche: senza di essa non si avrebbe quella delle idee.

Con una differenza: mentre nel procedimento concettuale, il significato di un segno preesiste sempre all'impiego di quest'ultimo (è infatti concordato), in quello iconico non può preesistere perchè è legato alla percezione. Più precisamente: alle tecniche personali messe in atto per costruire l'immagine della circostanza, e si forma con quella (anche se all'interno di sistemi di aspettative che ne orientano la comprensione).

Per questa via sembrerebbero formarsi i sistemi di significazione che costituiscono il campo della conoscenza estetica, intesi a descrivere il reale come sistema di valori esistenziali e nei quali, infatti, i significati non preesistono ai segni ma dipendono dal modo di esistere di questi.

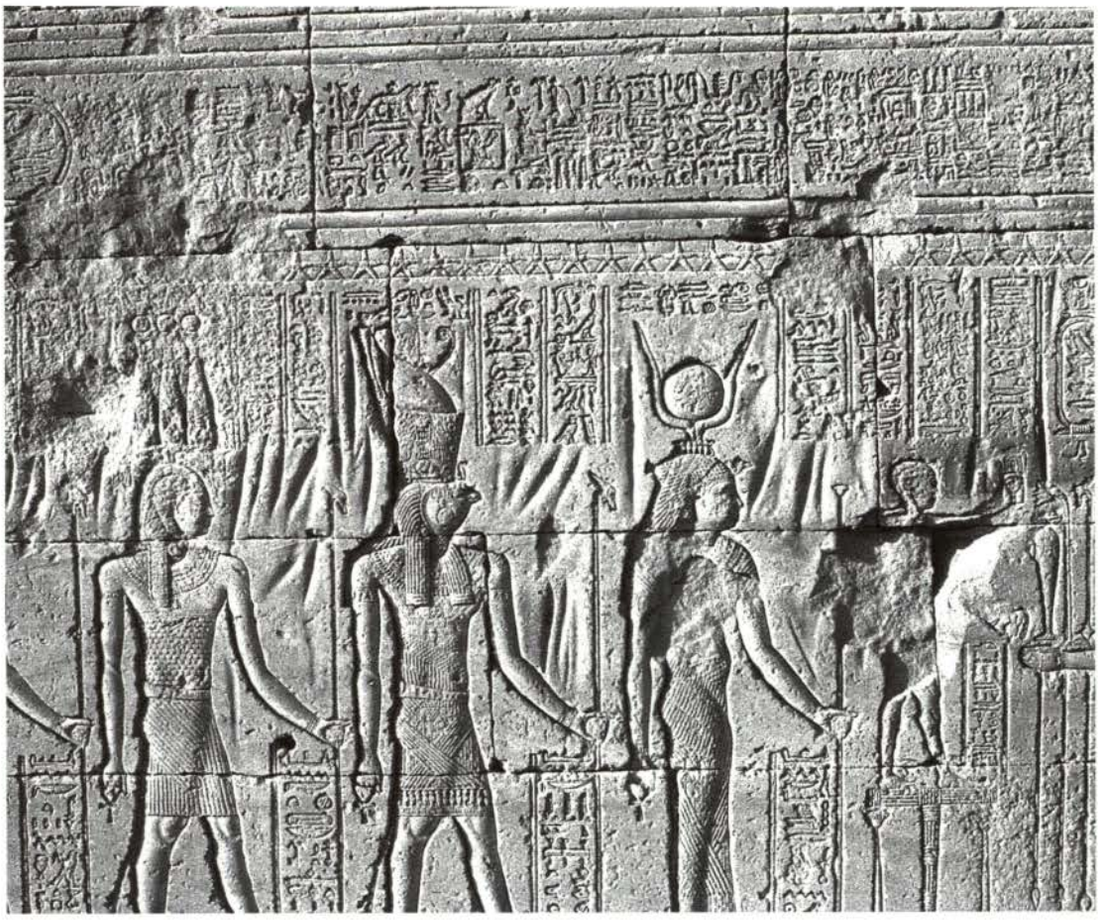
La possibilità di questo duplice procedimento di invenzione linguistica sembra confermata dai più recenti studi sull'attività cerebrale, che assegnano all'emisfero destro del cervello una particolare attitudine a risolvere compiti spaziali, diversa da quella dell'emisfero sinistro attivo invece nelle formulazioni verbali.

Possiamo però chiederci: è possibile impiegare anche i segni astratti in modo iconico? Cioè in modo che i termini acquistino significato non in forza delle relazioni concettuali che indicano, ma delle relazioni spaziali e temporali con cui si presentano?

Certamente sì: basta prevaricare sui loro riferimenti codificati a beneficio di altri determinati dal tono della voce, dal metro, dalla strofa, dalla rima, perfino dalle stesse spaziature tipografiche: cioè dal tempo e dallo spazio. Gli oggetti significati risulteranno valutazioni fatte non più solamente a livello razionale, ma soprattutto emotivo. Si potrebbe dire che si tratta di un uso improprio dei segni concettuali, di una loro distorsione a fini estetici (che il Carducci, in uno slancio di autocritica, definì una volta: "pensare balzellon balzelloni"). È però ovvio che gli oggetti significati mediante questa "distorsione" non potrebbero esserlo senza, volendo impiegare quei segni.

Simmetricamente, possiamo anche chiederci: è possibile impiegare segni iconici per esprimere invece astrazioni, cioè valutazioni d'ordine razionale anzichè emotivo?

Certamente sì: gli sviluppi della geometria



Alle origini della comunicazione scritta la dicotomia tra il segno iconico e quello concettuale, tra la forma e il simbolo, tra il pensiero figurato e quello astratto, cui si riferisce Giuliano Maggiora nel suo articolo, si presentò in forma molto meno accentuata di quanto non sia poi accaduto nei linguaggi più evoluti. Nel geroglifico la tendenza all'immagine e quella alla parola non erano ancora marcatamente distinte e la forma comunicativa che ne derivava fornisce uno dei più interessanti esempi di "slittamento" della denotazione verso la connotazione e viceversa.
Le immagini che la redazione ha affiancato al testo rappresentano decorazioni e geroglifici dei templi di Karnak, Dendera e Abydos.

come scienza stanno a dimostrarlo. Ma anche dei semplici diagrammi, grafi o figure quotate rappresentano una prevaricazione delle relazioni astratte di uguaglianza, di differenza e di numero su quelle percettive di vicinanza, di differenza di posto e di misura. Si tratta anche in questo caso di una distorsione, dell'uso improprio di artifici tipicamente iconici per fini conoscitivi d'ordine concettuale, e sembra ovvio che gli oggetti significabili con questo procedimento non possano essere gli stessi significabili invece a livello di conoscenza emotiva.

Nell'impiego dei segni iconici come di quelli concettuali ci troviamo dunque di fronte a due procedimenti possibili e opposti: di "deiconizzazione" nei primi, di "iconizzazione" nei secondi, ovviamente per opposti fini conoscitivi.

Se questi procedimenti potessero essere assimilati alla dialettica denotazione/connotazione nella quale sembra consistere ogni pratica linguistica, potremmo definire la connotazione come uno slittamento verso l'iconicità (il segno si carica di notazioni spaziali e temporali, dunque di caratteri estetici) e la seconda come uno slittamento verso l'astrazione (il segno si scarica, si concettualizza, si codifica).

Potremmo allora considerare il fenomeno della connotazione come il risultato di un'operazione estetica – di spazializzazione, di temporalizzazione – dove, cioè, il significato non precede il segno ma nasce con quello; e la denotazione come un'operazione concettuale di razionalizzazione dei nessi fenomenici, di una loro sistematizzazione, intesa a far dipendere da questa i significati enunciabili.

Se si accettasse questa ipotesi, allora non esisterebbero più linguaggi solo estetici o solo concettuali, ma semplicemente i linguaggi. Estetici o concettuali sarebbero solo i procedimenti generatori dei segni. Procedimenti completamente opposti fra loro, e perciò abilitati a completarsi l'un l'altro nella pratica linguistica.

Quei linguaggi nei quali l'interesse connotativo resta emergente – con più largo ricorso a procedimenti di iconizzazione – potrebbero essere chiamati tutt'al più: a predominante carattere estetico; e a predominante carattere concettuale quelli nei quali l'interesse si concentra non sui valori, ma sulle essenze: in questi il processo di connotazione deve essere mantenuto in sordina, e si fa perciò più largamente ricorso a procedimenti non iconici.

L'ipotesi che ogni linguaggio consista sempre di questa continua integrazione fra attività concettuale e attività estetica, con la prevalenza or dell'una or dell'altra, sembra accordarsi con le conclusioni più recenti della biopsicologia: nella misura in cui le varie zone cerebrali – a prevalente attività spaziale o a prevalente attività verbale – appaiono avere compiti differenziati, esse devono integrarsi. La creatività, anzi, consiste proprio in questa integrazione che assicura ai processi mentali risultati superiori a quelli che si avrebbero sommando i contributi di ogni singola zona.

Giuliano Maggiora

Ordinario di Composizione Architettonica nella Facoltà di Architettura di Firenze, dirige attualmente il Dipartimento di Progettazione dell'Architettura dell'Ateneo fiorentino.
Si interessa in particolare degli aspetti linguistici della disciplina, intesa – prima ancora che come mezzo di comunicazione – come una delle molteplici forme della conoscenza, e precisamente di una forma collocabile nell'ambito dei cosiddetti linguaggi "estetici".
I suoi studi – che si rifanno alla scuola saussuriana da un lato, e alle ricerche sperimentali del Piaget dall'altro – tendono a mettere in evidenza non solo le ovvie assonanze strutturali ma anche le sostanziali divergenze di tali linguaggi nei confronti dei sistemi linguistici concettuali come per esempio quelli fonetici, che dunque è erroneo prendere unicamente a modello; tendono inoltre a mettere in evidenza il ruolo necessario dell'invenzione tecnologica nella formalizzazione dei primi, e quello insostituibile del metodo scientifico nel controllo delle concezioni formali.
In "Architettura come linguaggio" (FI, Teorema 1978) ha cercato di analizzare la struttura linguistica caratteristica delle espressioni architettoniche, a partire da quelle spontanee, i modi di formazione dei loro codici, la dialettica fra processi denotativi e connotativi che ne assicura lo sviluppo.
In "Le forme del linguaggio in architettura" (FI., Teorema 1978) ha avanzato alcune ipotesi circa le operazioni elementari costitutive dello spazio architettonico, sulla falsariga di quelle costitutive delle relazioni formali nel campo della logica.
"La pulce nell'orecchio" (in "Atti del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura", Firenze 1985) è una proposta per analizzare il ruolo del disegno di architettura inteso come "Modello" in senso galileiano nella ricerca progettuale.
Altri contributi: "Il campo dello specifico architettonico" (in collaborazione) in Parametro n. 81, Bologna, novembre 1979 (sul controllo linguistico nei processi figurativi); "Quattro dimensioni del segno architettonico" in AA.VV. "La Figurazione dello Spazio in Architettura", Firenze, LEF 1981.

L'occhio confuso

di Richard L. Gregory

(traduzione di Gaetano Fano)

Gli scienziati combattono l'errore mentre gli artisti corteggiano l'illusione. Questa ammissione potrebbe tentarci, inducendoci a credere che la scienza sia assimilabile al Cavaliere Bianco teso alla ricerca della verità, mentre l'arte rappresenterebbe il Cavaliere Nero immerso nell'errore – il che non sarebbe giusto. Molte delle illusioni riscontrabili nella percezione sono qualcosa di più che semplici errori: potrebbero essere, invece, esperienze per sé giuste. Esse possono concorrere nel chiarire la realtà. È proprio siffatto potere dell'illusione al chiarimento della realtà che viene in qualche modo utilizzato dall'artista. Per lo scienziato le illusioni costituiscono una singolare sfida: poiché malgrado che si tratti di fenomeni, esse non costituiscono una fenomenologia del mondo fisico dello scienziato – sono fenomeni solo in quanto rappresentano deviazioni da quanto egli considera appartenente alla realtà.

In determinate situazioni, l'occhio ed il cervello vengono indotti in confusioni tali da generare delle illusioni. Queste possono consistere in meri errori ovvero costituire terrorizzanti o affascinanti esperienze ultraterrene, in grado di stimolare l'immaginazione e farci sedurre dalla realtà. Alcune illusioni producono irritazione o sono dannose; ma altre risultano almeno tanto interessanti quanto divertenti, come la realtà.

Le illusioni costituiscono un problema per la scienza

Molta parte della scienza ha realizzato progressi con l'esame di fenomeni dall'apparenza insignificante ma nel contempo imbarazzanti e forse la natura stessa della percezione può rivelarsi nell'imbarazzo provocato dalle illusioni. Le illusioni sono essenzialmente *fenomeni percettivi*. Non possono essere fenomeni del mondo dell'oggetto fisico poiché si tratta di sistematiche deviazioni dal fatto fisico. Questa situazione rende lo studio dell'illusione un caso singolare e forse unico, nel campo dell'investigazione scientifica: per il motivo che non ci troviamo ad essere interessati all'universale ma piuttosto alle differenziazioni dell'insieme della restante scienza dall'oggetto dello studio. Forse che ciò vuol significare che la scienza non ha possibilità di spiegare il fenomeno dell'illusione? Di certo, molti tra i fenomeni *illusori* come il miraggio, sono stati spiegati nei libri di testo: in questo particolare caso, la spiegazione sta nella deviazione della luce prodotta dalla rifrazione nell'aria avente un elevato gradiente termico.

Ancora, l'osservazione del proprio volto attraverso uno specchio, malgrado la consapevolezza di trovarsi *di fronte* ad esso – nel posto in cui si pensa che esso si trovi – può essere spiegata in termini di ottica. Oppure no? Perché il fatto di sapere che il proprio volto non attraversi ma sia posto di fronte allo specchio, non risulta sufficiente a correggere l'errore? Ancora, in uno specchio ci vediamo nella giusta posizione verticale ma con il lato sinistro spostato sulla destra e viceversa – perché ciò si verifica? È forse dovuto interamente alle caratteristiche ottiche degli specchi? E questi specchi sono in grado di distinguere tra linee verticali ed orizzontali? Certamente no. È sorprendente il constatare che ci guardiamo negli specchi per tutta la vita eppure non riusciamo mai a comprendere per quale ragione ci vediamo *attraverso*, sinistra-destra invertite ma nella giusta posizione verticale! La risposta all'enigma – fonte delle cosiddette illusioni dello specchio – va forse ricercata nello specchio oppure in noi stessi? Se essa è in noi stessi, quale tipo di spiegazione sarebbe appropriata?

Quando si cominciano a porre quesiti circa le illusioni, è sorprendentemente difficile sapere quale quesito porre e come considerarlo. Dovremmo forse farlo in termini di ottica, di fisiologia, di psicologia o persino in termini attinenti la natura della consapevolezza? Abbiamo bisogno di sapere in che modo la percezione normale funzioni per comprendere il perché degli errori?

L'occhio ed il cervello si combinano assieme per fornire una dettagliata conoscenza degli oggetti situati non a portata di mano. Il modo nel quale questa coordinazione operi rimane in vario modo misterioso; ma sappiamo ora che le specifiche caratteristiche degli oggetti vengono selezionate e combinate in modo da rendere un'intrinseca informazione del mondo oggettivo. Ciò comporta sicuramente lo svilupparsi di processi della massima complessità. La facilità con la quale osserviamo, apparentemente mediante la semplice apertura dei nostri occhi, nasconde il fatto che questa rappresenta, probabilmente, la più sofisticata tra tutte le attività del cervello; il richiamo di tutti i dati di memoria immagazzinati; la richiesta di acute classificazioni, comparazioni e decisioni logiche occorrenti affinché i dati sensoriali possano tradursi in percezione. Siffatta nozione generale della percezione, comunque, non è stata sempre sostenuta. Una tradizionale posizione filosofica che non è stata ancora del tutto abbandonata, sostiene che la percezione costituisce un'immediata (e divina) conoscenza della realtà esterna. Il concetto in questione venne sviluppato da Emanuele Kant (1724-1804), che usava in proposito la parola germanica *Anschauung*, per solito tradotta come *intuizione*. Per Kant, questa immediata conoscenza fornita dalla percezione è collegata con la capacità di individuare la verità intuitivamente come nelle proposizioni matematiche. La nozione secondo la quale noi vediamo il mondo attraverso gli occhi e gli altri organi di senso, direttamente o *intuitivamente*, molto vicina al modo nel quale ci sembra di *vedere* la verità di una proposizione matematica o geometrica con un anelito per il capire – un'esperienza *Aha*, secondo quanto

Come la tartaruga diceva:
non posso avanzare senza far sporgere il mio collo in fuori.

Pagina precedente:
Figura 1
«Mercato degli schiavi con l'apparizione del busto invisibile di Voltaire (Particolare)»
di Salvador Dalì.

Figura 2
Quello che è rappresentato è un cubo. Quando viene osservato in silhouette appare appiattito; col crescere dell'illuminazione frontale, la sua vera forma tridimensionale diviene gradualmente apparente – ed allora la sua forma al contorno risulta mutata in maniera impercettibile. Evidentemente la costanza, attivata dall'informazione della sua forma tridimensionale, modifica il profilo. Si tratta di una situazione che non è stata investigata a pieno.

N.d.T.
(1) Ayer, Alfred J. (1910), filosofo inglese esponente del neopositivismo. Uno dei princìpi da lui sostenuto è quello che un'asserzione non è dotata di significato se la sua verità o la sua falsità non possono essere accertate mediante l'osservazione. In proposito cfr. la sua pubblicazione: Linguaggio, Verità e Logica (1936).
(2) Helmholtz, Herman von (1821-94), scienziato tedesco. Noto per le sue ricerche di ottica teorica della visione tricromatica e di acustica fisiologica. Le sue teorie filosofiche gli fecero accettare una visione materialistica kantiana sostenendo, peraltro, il carattere acquisito della percezione dello spazio e la non trascendentalità degli assiomi della geometria.

afferma in proposito A.J. Ayer(1) – è senz'altro da considerarsi morta. Vi sono diverse persone di spicco che lavorano sulla percezione, le quali sostengono ancora questo passivo o intuitivo punto di vista. Comunque, essi hanno poco o nulla da dire circa le illusioni. Cosa potrebbe dire? Che dopo tutto alcune forme di percezione non sono così dirette? Che alcune conoscenze del tipo intuitivo sono false? Ma allora se alcune forme di percezione non rappresentano la diretta consapevolezza della realtà, e se alcune intuizioni possono dimostrarsi false, per quale ragione dovremmo ritenere che qualsiasi percezione sia la diretta conoscenza della realtà? L'esistenza delle illusioni ci fa dubitare di questa filosofia.

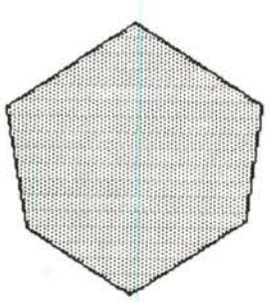
La interpretazione alternativa della percezione è che le percezioni di oggetti sono rese per interferenza, da dati forniti dai sensi ed immagazzinati nella memoria. Sotto questo aspetto, qualsiasi percezione può risultare falsa, così come qualsiasi argomento può essere falso. Può essere falso perché le sue assunzioni non sono corrette, o perché la forma dell'argomento può essere ingannevole. Sotto il predetto aspetto della percezione, le illusioni assumono la stessa importanza che, sia i paradossi che le ambiguità, assumono per i filosofi interessati nell'accertamento della natura dell'argomento; ovvero di come i dati possono essere utilizzati per scoprire la verità, o un fatto. Le illusioni divengono allora i sintomi degli inganni e delle assunzioni non comprovate circa il mondo degli oggetti. Le illusioni sono talvolta considerate come deviazioni dai fatti; ma questa descrizione non è sufficiente. In primo luogo non è di alcuno aiuto definire illusione ogni sorta di deviazione dai fatti. Tutte le osservazioni – sia quelle sensoriali che quelle strumentali – sono soggette a impedimenti casuali, così che esse subiscono deviazioni comprese nell'intorno di una media di letture o rapporti. Non è di aiuto definire *illusioni* ogni deviazione.

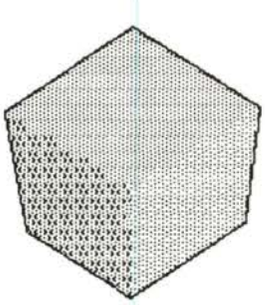
Le illusioni dovrebbero essere considerate piuttosto quali *sistematiche* deviazioni dal fatto. Ma allora, possiamo chiederci, *cosa si intende per fatto?* Possiamo assumere, o che i fatti siano rappresentati dagli oggetti risultanti dalle constatazioni, ovvero dalle percezioni che sono generalmente considerate veritiere; oppure possiamo assumere i fatti veritieri, per quello che sono in effetti – alla maniera in cui li vede l'occhio di Dio. Fortunatamente (almeno per il momento) non dobbiamo decidere tra questi aspetti della verità per poter discutere sulla percezione e sull'illusione. Il grande propositore della percezione quale somma di deduzioni essenziali, fu il fisico e fisiologo tedesco Hermann Von Helmholtz (1821-1894)(2). Helmholtz introdusse il termine di deduzione inconscia guardando alle percezioni come *conclusioni* che probabilmente sono più o meno vere, in relazione ai dati sensoriali disponibili ed alle difficoltà inerenti la soluzione del problema percettivo. Sino a poco tempo fa, la nozione di deduzione inconscia sembrava a molti psicologi autocontraddicentesi – dato che essa, di solito, veniva assunta in base alla convinzione che la consapevolezza è necessaria per rendere possibile la deduzione. Forse ancora una volta per effetto dell'influenza dei computers (che nessuno considera mezzi consapevoli ancorché siano in grado di produrre almeno alcuni tipi di deduzione) questa obiezione non è più considerata valida. Ritenere che la *deduzione inconscia* rappresenti una nozione autocontraddittoria, secondo le tendenze attuali, sembra una questione di mera inerzia semantica.

Per una ragione o per l'altra, le teoria di Helmholtz non trovò seguito per un secolo o più. Al contrario, l'attenzione fu concentrata sui meccanismi psicologici sussidiari della percezione – questi hanno continuato ad essere l'argomento di una ricerca stimolante e fruttuosa – in uno con le teorie filosofiche e psicologiche relative a quello che siffatti meccanismi si pensa producano, il che ha rappresentato un capitolo di gran lunga meno felice. La teoria principale (che personalmente considero come un Medio Evo) dopo Helmholtz, è stata quella della Gestalt. Si tratta di una strana specie di *intuizionismo*, che ha tentato il connubio tra la nozione relativa alla conoscenza diretta, per il tramite della percezione, con una spiegazione percettiva. I teorici della Gestalt approdarono in effetti ad interessanti scoperte – incluse alcune relative a nuovi tipi di illusioni – ma le loro nozioni psicologiche furono mal concepite. Mancarono non solo di una conoscenza relativa alla psicologia dell'apparato cerebrale, quale quella di cui disponiamo attualmente; i loro punti di vista comportavano seri problemi logici che avrebbero dovuto essere debitamente riconosciuti.

L'idea essenziale, al di là della teoria Gestalt sulla percezione, fu rappresentata dalla nozione relativa alle *tracce elettriche del cervello* considerate tali da assumere la forma degli oggetti che si stanno percependo. (*Questa nozione prese il nome di isomorfismo*). In tal modo, guardando una circonferenza, si supponeva il prodursi di una traccia cerebrale di forma circolare; per una sfera, una traccia sferica, e presumibilmente, per una casa, una corrispondente traccia a forma di casa. Adesso sappiamo che non è proprio così (anche se per comune ammissione si verifica uno stadio preliminare nel quale l'immagine retinica della stimolazione, si conforma su di un'*area di proiezione* appartenente alla corteccia visuale striata).

Le tracce cerebrali indicate dalla Gestalt si supponeva che possedessero proprietà dinamiche e pertanto in grado di generare il fenomeno percettivo. Esse erano considerate quali campi elettrici capaci di costruire alcune forme ed in tal modo produrre effetti visivi, incluse alcune distorsioni. Si supponeva anche, che le tracce cerebrali adottassero costruzioni formali stabili che a loro volta corrispondessero a percezioni altrettanto stabili. Ed inoltre, che le segmentazioni del campo percettivo venissero collegate grazie alla tendenza dei campi corticali a fluire con movimenti trasversali alle segmentazioni stesse. L'assunzione in que-





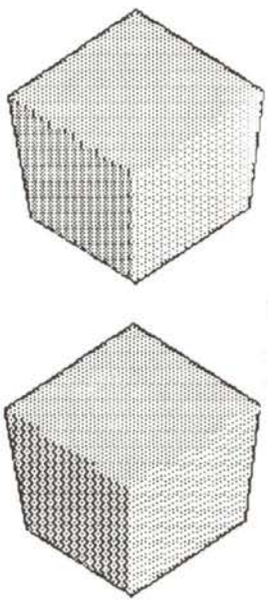
stione portò i gestaltisti alla scoperta del *fenomeno phi* – movimento apparente trasversale ad una segmentazione compresa tra due luci lampeggianti alternativamente. Le illusioni distorsive furono attribuite alla tendenza dei campi cerebrali ad orientarsi secondo contorni circolari, o comunque di forma più possibilmente chiusa. Pertanto, si suppose che le ellissi assumessero un'apparenza quasi circolare. Un ulteriore aspetto della teoria fu rappresentato dalla negazione pressoché totale dell'importanza dell'apprendimento ai fini della percezione; lo stesso valeva nei confronti di ogni sorta di teoria *intuizionista*. L'apprendimento è generalmente considerato in senso limitativo, quale mezzo per individuare strategie volte a derivarne conoscenza diretta; così come dove rivolgere gli occhi o quali aspetti formali sono utili.

Molta parte delle assunzioni proposte dalla scuola Gestalt possono sembrare attraenti. Esse sostenevano il confortante pensiero che noi siamo in grado di conoscere la realtà direttamente – senza indovinare, né scommettere – nel momento stesso in cui diamo alla mente qualcosa da fare. È abbastanza sorprendente il modo nel quale l'apparato cerebrale viene completamente escluso da alcune teorie psicologiche della percezione. Forse ciò andava a genio anche ad alcuni artisti, in quanto, in apparenza, forniva loro una ragione per giustificare il perché della superiorità di alcune forme rispetto alle altre. È per questo motivo, dunque, che essa è stata largamente (anche se non completamente) abbandonata come teoria della percezione – e così pure come modo di considerare l'illusione? Vi sono molte ragioni in proposito e in questo contesto possiamo solo sfiorarle.

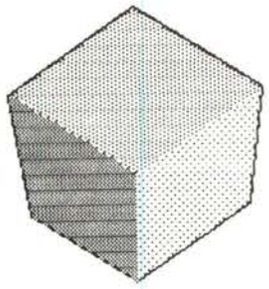
In primo luogo, vi è molto di più per la percezione che per il riconoscimento di una forma. In che modo l'idea dell'*isomorfismo* può tener testa ad altri aspetti percettivi? Consideriamo il colore: dovremmo forse credere che quando scorgiamo il verde di una postazione semaforica per il traffico, parte del nostro apparato cerebrale si colora di verde? Ciò sarebbe possibile solo se vi fosse una specie di *occhio interno* per *vedere* la traccia del verde – il che genererebbe, però, un interminabile avvicendarsi di tracce ed occhi e tracce e occhi... che ci porterebbe a distanze infinite, con nulla di diverso dall'inizio degli avvicendamenti. Si tratta, infatti, di un problema logico relativo a tutta la nozione di traccia: cosa creano le tracce? Se esse rappresentano piccoli modelli elettrici della realtà, come possono essere viste senza l'ausilio di un occhio interno in grado di dar origine ad un inutile avvicendarsi? Questa domanda non ha mai ottenuto risposta. Per quanto riguarda l'illusione, è stata avanzata l'ipotesi che – alla stessa maniera delle molle o delle bolle – le tracce tendono verso determinate forme: ma si tratta di una spiegazione di tipo debole. In parte è debole perché la tendenza alla forme *chiuse* supposta dalla Gestalt, il collegamento delle segmentazioni del campo percettivo e così via, si verificano soltanto in casi speciali; ma dovrebbero verificarsi sempre se esse sono determinate dalle fondamentali proprietà delle tracce. Ed ancora, per quale ragione gli stati stabili delle tracce corrispondono alle percezioni stabili per una così estesa varietà di forme? Ad esempio, le forme dei volti sono estremamente stabili; ma per quale motivo dovrebbe esserci una ragione fisica, di siffatta specie, tale da far sì che le tracce cerebrali aventi la forma di un volto siano aspetti stabili della forma stessa? Non dovremmo aspettarci ciò dai campi elettrici. Questa questione della stabilità percettiva costituisce un'acuta obiezione alla teoria Gestalt delle tracce. Il semplice fatto che le percezioni tendono verso (e sono stabili) gli *oggetti familiari*, costituisce una valida prova in favore dell'importanza dell'esperienza e dell'apprendimento per la percezione.

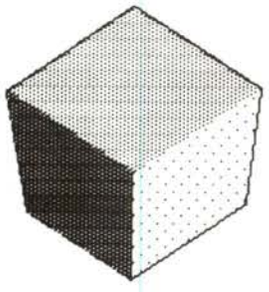
Una volta accettato il concetto che l'apprendimento è importante per la percezione, viene a cadere ogni diretta relazione *intuizionista*; per il motivo che nessuno reputa possibile l'immediata conoscenza del passato. Il passato non può essere percepito direttamente; ma se l'informazione immagazzinata, derivata dall'esperienza passata, risulta vitale per la percezione presente – se il presente è letto in termini del passato – allora ci siamo allontanati dalla posizione intuizionale o Gestalt, verso una teoria molto più vicina alla nozione di Helmholtz relativa alla percezione come risultato di una deduzione tra dati sensoriali e dati memorizzati.

Cosa può dire la fisiologia? La più importante lezione della fisiologia è che l'apparato cerebrale, ad ogni determinato momento, dispone di un limitato numero di forme oggettuali. In effetti, ciò risulta vero in maniera ovvia – Se guardo il mio tavolo da una certa distanza non sono in grado di sentire che è solido; ma devo presumere che esso sia solido e forte altrimenti non affiderei le mie cose al suo sostegno, o me stesso a quello della mia sedia. Un ragionamento siffatto si adatta persino ad oggetti non familiari, poiché non disponiamo di dati sensoriali diretti per il riconoscimento delle proprietà che debbono essere note, o presunte, a che il comportamento sia adeguato. Tutto ciò era stato compreso dai filosofi del XVII e XVIII secolo (malgrado che da allora, sia stato dimenticato da molti psicologi); ma l'attuale conoscenza fisiologica è di gran lunga più specifica su questo punto. Si tratta di produrre prove su quali aspetti formali provenienti dagli organi sensoriali sono accettati dall'apparato cerebrale; specialmente su quali aspetti delle immagini retiniche sono accettati per la visione – il che è stato discusso dettagliatamente da Blakemore nell'ultimo capitolo.(3) In breve, l'orientamento delle linee, il movimento e determinate forme, tali come gli spigoli e gli angoli, sono rappresentati con l'eccitazione di singole cellule situate nella corteccia striata *visuale*. Questi aspetti formali vengono selezionati da specifici *circuiti* neurali che sono *sintonizzati* per accettarli. Vi è una prova di recente acquisizione, in gran parte per merito di Blakemore, in base alla quale, questa operazione di *sintonizzazione* per specifici aspetti for-



N.d.T.
(3) Blakemore, Colin, ha contribuito con un proprio studio nell'edizione del volume, Illusioni nella Natura e nell'Arte, Duckworth, Londra, 1973, curato da E.H. Gombrich e R.L. Gregory. Il testo dello studio di R.L. Gregory, L'Occhio Confuso oggetto della presente traduzione, è compreso nel volume predetto.
(4) Il brano riportato dall'Autore riproduce, in corsivo, il testo originale del pensiero dell'Helmholtz che inizia, nella traduzione, da: In condizione di visione...





mali, è il risultato di una precedente esperienza relativa ai predetti aspetti formali come l'orientamento delle linee. Si tratta di un'informazione di importanza vitale, ma lascia in sospeso la domanda: Questi aspetti formali nella loro rappresentazione neurale, come vengono combinati assieme per rendere la percezione degli oggetti? Un suggerimento è che non è richiesta alcuna combinazione di aspetti formali – che vi sono singole cellule *sintonizzate* per qualsiasi oggetto, comunque complicato, che possiamo riconoscere. Queste cellule sono state descritte come *cellule della nonna*. Il riferimento scherzoso evidenzia alcune difficoltà: In qual modo una singola cellula potrebbe essere sintonizzata ad un'altra cellula della nonna, malgrado il fatto che la nonna ha girato la testa per cambiare il suo profilo oppure che nasconde parte del suo viso dietro il giornale che sta leggendo? La difficoltà di vedere come ciò potrebbe funzionare è così grande che si è generalmente assunto che molti aspetti formali trasmessi sono in qualche modo uniti assieme allo scopo di costruire la percezione di oggetti servendosi dei dati disponibili.

A questo punto torniamo alla nozione di Helmholtz sulla percezione quale deduzione inconscia. *Deduciamo*, forse, la presenza di nostra nonna, dalla percezione dei suoi vari aspetti tipici? Deduciamo tavoli e sedie, dalla combinazione di aspetti formali disponibili, quali sono rappresentati dall'attività e dal silenzio delle cellule cerebrali che trasmettono il segnale della presenza o dell'assenza di ogni caratteristica?

Se le percezioni sono deduzioni, basate su dati trasmessi dai sensi ed immagazzinati in memoria, allora ci dovremmo chiedere: cosa sono queste deduzioni? Dipendono dalle assunzioni? Cosa succede se le assunzioni sono errate? Al momento non conosciamo la fisiologia che si trova dietro tutto ciò; ma possiamo almeno porre questa specie di problema al quale speriamo di fornire una risposta.

Adesso sembra una grandissima sfortuna quella che vi sia stato un intervallo di un intero secolo tra Helmholtz e noi, durante il quale queste problematiche non sono state poste. Se procediamo nell'indagare su *cosa è l'illusione?* potremo ben aspettarci di accertare che alcuni tipi di illusione sono determinati da errori della deduzione inconscia. Helmholtz stava arrancando su questo problema quando scriveva: *La regola elementare per tutte le illusioni è questa: In condizione di visione normale, riteniamo sempre di vedere oggetti così come li produce l'immagine retinica di cui siamo effettivamente coscienti*(4). La nostra aspirazione è quella di provare a sviluppare questa idea che sembra rappresentare la chiave di molte illusioni. Essa consente, altresì, a che le illusioni vengano a costituire i dati per scoprire alcune delle assunzioni a monte della percezione.

Una volta fatto il passo concettuale di pensare alla percezione in termini di *deduzione dai dati*, ci è possibile guardare ai meccanismi fisiologici come mezzi per sviluppare funzioni necessarie alla raccolta ed all'immagazzinamento di informazioni e per ricavare deduzioni dai dati sensoriali e da quelli immagazzinati disponibili. Inoltre, allorquando recepiamo i meccanismi fisiologici come sviluppatori di funzioni logiche, secondo più o meno appropriate strategie, ci rendiamo immediatamente conto dell'abbondanza di possibilità per il crearsi di illusioni. Diviene chiaro che le illusioni potrebbero essere generate in due modi fondamentali: a) perché la fisiologia funziona in modo anormale – *cattivo funzionamento dei meccanismi*; b) perché la deduzione, o altra strategia sviluppata dai meccanismi, non è adatta per affrontare il particolare problema allo studio – *improprietà delle strategie. Queste specie di errori sembrano essere fondamentalmente differenti – il che comporta che ci dovremmo aspettare di trovare due corrispondenti specie fondamentali di illusioni percettive. In termini biologici, queste potrebbero essere indicate rispettivamente, fisiologica e conoscitiva.* In termini di ingegneria, esse potrebbero essere indicate come *errori di meccanismo e di strategia*: più precisamente, come conseguenza del guasto del meccanismo, o di una strategia sviluppata al di fuori del meccanismo. È importante estendere i nostri concetti, e la nostra terminologia, al di fuori della biologia se dobbiamo comprendere l'illusione – specialmente le illusioni da strategia. La ragione di ciò è fondamentale: se una strategia risulta ingannatrice, non ci occorre conoscere il modo nel quale la si sta sviluppando per comprendere la ragione dell'errore, o dell'illusione. (Così, se scrivo assurdità a questo proposito, non importa a te, gentile lettore, se le sto scrivendo con una penna d'oca, una matita, una penna a sfera ovvero con una macchina da scrivere. Se mi convinco di aver scritto in maniera errata non devo darne colpa alla mia penna o alla mia macchina da scrivere – e non dovrei necessariamente dare la colpa al mio cervello ovvero a qualsiasi parte del mio sistema neurale o fisiologico: Questi possono non essere responsabili dell'errore malgrado che tutte le mie azioni siano controllate da loro.)

A questo punto possiamo portare un'analogia. Supponiamo che tu, con la tua automobile stai cercando di controllare il tuo percorso servendoti di una mappa. Ti rendi conto d'esserti perso. Qualche errore deve essersi verificato – perché è accaduto? La tua automobile non si è guastata e tu hai potuto controllarla senza difficoltà. L'inconveniente potrebbe essere: (*a*) hai seguito sulla mappa la strada sbagliata; (*b*) la mappa era sbagliata. Ora vi potrebbero essere molte ragioni che ti hanno fatto smarrire il percorso giusto sulla mappa; ma supponiamo che la mappa sia sbagliata. Supponiamo che *il sistema stradale sia cambiato dal momento nel quale la mappa è stata stampata.* Ti trovi adesso a dover avere a che fare con il presente secondo un documento veritiero del passato, mentre nel frattempo il mondo è cambiato. Ora, questa specie di errore dovrà indispensabilmente verificarsi quando il mondo cambia, se il

presente deve essere considerato in termini di informazione immagazzinata dal passato. Non si tratta di un errore meccanico, ed è inevitabile, qualunque mezzo possa essere stato impiegato dal meccanismo per sviluppare la strategia, sia che si tratti di una mappa, del computer o dell'apparato cerebrale. Per comprendere l'errore, o l'illusione, dobbiamo conoscere la strategia e scoprire perché, in siffatta situazione, essa si sia dimostrata inadeguata. Un simile approccio, io credo, avvalora la convinzione di poter procedere nel condurre una ricerca sulle illusioni permanenti, senza ricorrere all'uso della conoscenza fisiologica del meccanismo secondo il quale, il sistema cerebrale e quello nervoso stanno sviluppando le strategie cognitive.

Precisato questo punto, che assorbirà la maggior parte della nostra attenzione, torniamo ora, brevemente, sugli errori del meccanismo determinati da un cattivo funzionamento dei sistemi fisiologici.

Illusioni determinate da errori di meccanismo e di calibrazione.

Uno dei concetti di *meccanismo* che trova applicazione immediata negli organi di senso, è rappresentato dalla nozione di *trasduttori*. I trasduttori convertono i segnali rappresentati da una specie di energia fisica, in equivalenti segnali di una diversa specie fisica. In tal modo, un microfono è un trasduttore che converte la pressione dell'aria in corrispondenti variazioni di voltaggio; le cellule fotoelettriche convertono la radiazione elettromagnetica (luce o infrarossi) in variazioni elettriche che possono servire come segnali. Il sistema neurale dispone di molte specie di trasduttori a parte l'orecchio e gli elementi della retina sensibili alla luce, bastoncelli e coni. La pelle, i muscoli e le giunture dispongono di molti trasduttori specializzati: ad esempio per la sensazione tattile, vi sono le cellule di Merkel e quelle di Meissner; per la sensazione del calore, i terminali di Ruffini; per quella del freddo, i terminali di Krause; per la pressione, i terminali di Ruffini; per la sensazione di dolore, i terminali nervosi di Free. Tutti questi trasduttori, con eccezione per quello relativo alla sensazione del dolore, si adattano rapidamente agli stimoli sopportati. Se le variazioni di sensibilità non vengono corrette (per mezzo di una qualche correzione di calibrazione a più alto livello) l'adattamento, o le altre variazioni sensoriali, produrranno corrispondenti errori, ovvero illusioni. Un esempio familiare è quello relativo all'abbagliante luminosità della luce solare che colpisce chi è stato in un ambiente al buio; l'accresciuta sensibilità dell'occhio, prodotta dall'adattamento all'oscurità, crea l'illusione della grande luminosità. Di contro, la stanza sembrerà troppo oscura dopo che l'occhio si sarà adattato alla brillante luce del sole. In biologia, o in fisiologia, questo fenomeno si descriverebbe come

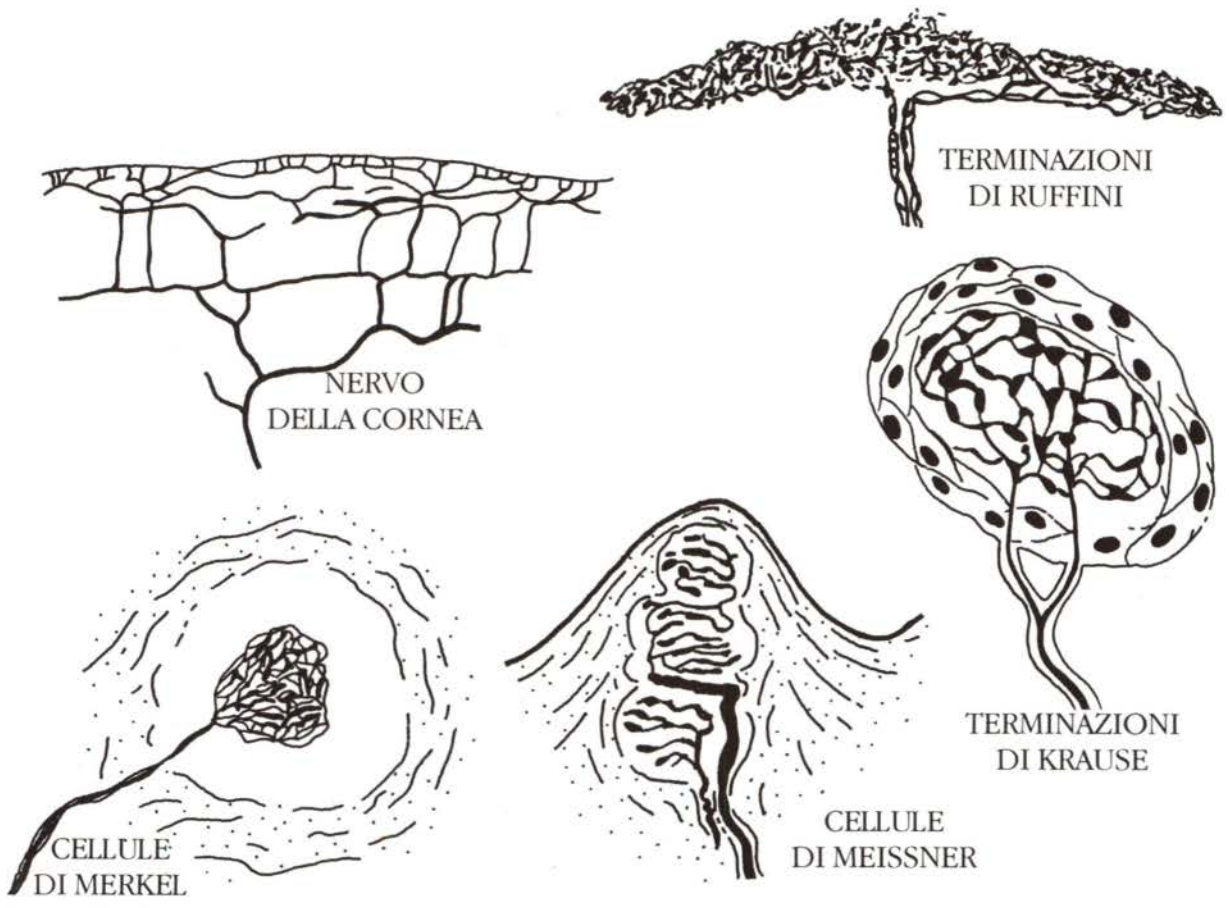


Figura 3
Alcuni recettori che segnalano, al tatto, caldo e freddo al sistema nervoso. Si tratta di trasduttori – interfacce tra il mondo esterno e noi. Plesso nervoso della cornea – Le terminazioni di Ruffini – Il corpuscolo di Merkel – Il corpuscolo di Meissner.

adattamento. In ingegneria, o in fisica, sarebbe indicato come *perdita di calibrazione*.

Si consideri ad esempio, un esposimetro fotografico. Se lo si lascia aperto, alla luce del sole, esso può gradatamente perdere la propria sensibilità così che una determinata lettura sulla sua scala di valori, verrà a corrispondere ad una luce più brillante di quella che sarebbe stata valutata in precedenza. Il che produrrebbe corrispondenti errori – così le pellicole risulterebbero sovra esposte se si seguissero le letture fornite dallo strumento.

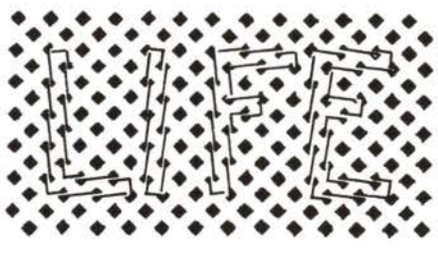
Come è noto, tutti gli organi di senso divengono più o meno adattati, a seguito di una continuata stimolazione. La loro calibrazione viene scompensata e se non si apportano le correzioni necessarie, si produrranno errori sistematici. Nei casi in cui il giudizio umano è particolarmente importante, è necessario adottare speciali mezzi ad evitare errori da adattamento. Nella produzione del formaggio, se la consistenza del prodotto viene giudicata a mano, è stato realizzato un prototipo di cacio in gomma, che va impastato di tanto in tanto, allo scopo di conservare la calibratura delle mani. La visione a colori è forse la più sensibile ai cambi di adattamento; si tratta di un problema veramente serio per le industrie produttrici di pitture e tinte e senza dubbio alcuno, lo è anche per gli artisti che mescolano i colori sulle loro tavolozze.

I fisici e gli ingegneri applicano dovute correzioni per compensare gli errori dei loro strumenti. Queste operazioni possono essere definite *correzioni di calibrazione*. (In biologia non esiste un termine paragonabile a questo e pertanto, dobbiamo forzatamente utilizzare la terminologia ingegneristica: ad ogni modo, il concetto si trasferisce con esattezza). Nella fisica e nell'ingegneria, la strumentazione campione viene tenuta isolata per quanto è possibile dall'influenza dei cambiamenti delle condizioni ambientali che potrebbero interessarla. Essa può quindi essere utilizzata per controllare giornalmente l'operabilità degli strumenti. Vi sono considerevoli prove circa il controllo reciproco esercitato da diversi sensi dell'organismo, al fine di fornire informazioni volte alla *ricalibrazione*. In generale, i sensi più affidabili controllano e correggono quelli meno affidabili. Inoltre, nelle situazioni nelle quali uno dei sensi è più affidabile di un altro ed entrambi forniscono dati incompatibili, si possono senz'altro escludere quei dati sensoriali meno attendibili. Tutto ciò comporta che i diversi meccanismi siano impiegati adottando le strategie per il cui tramite le informazioni vengono selezionate, controllate, comparate e valutate a seconda delle circostanze.

Una correzione di calibrazione (o graduazione) può essere applicata non già ad uno strumento, o ad un trasduttore, ma alla lettura di misurazione. Ad esempio, se le predette letture risultano superiori del 10%, è facile allora correggere gli errori di calibrazione – a condizione che la strategia seguita sia quella giusta. Se non lo è, sarà la strategia stessa a generare errori corrispondenti. In questo modo perveniamo a distinguere due specie di errori – o fonti di illusioni. Nella pratica siffatti errori possono essere molto facilmente confusi.

Nella scienza, la calibrazione degli strumenti può aver luogo mediante una comparazione da farsi con altri strumenti *standard;* mediante il confronto delle letture effettuate con quelle attese in una condizione nota, oppure con quelle ipotizzabili. La calibrazione può essere, conseguentemente, *dal basso verso l'alto*, derivata, cioè, da informazioni rilevate; *laterale*, ottenuta per confronto con altri strumenti; o *dall'alto verso il basso,* derivata da ipotesi. Gli sbagli commessi in una qualsiasi di queste procedure genereranno errori – e constateremo che tutte le tre specie di errori di calibrazione generano illusioni associate nella percezione.

Disponiamo, a questo punto, di due concetti che benché facilmente confondibili, sono, tuttavia, logicamente distinti. Abbiamo: 1) lo *stato di calibrazione sensoria* proprio dei sistemi sensoriali. Detto stato viene rapidamente influenzato dall'adattamento, e molte illusioni che seguono ad un'intensa stimolazione sensoriale (così come la persistenza delle immagini retiniche), ricadono in questa categoria. Il secondo concetto, correlato ma diverso, è: 2) le *correzioni di calibrazione percettiva*. Vi sono molte specie di illusioni che potremmo prendere in considerazione in questo secondo modo. Per esempio, se si adoperano occhiali logori, dopo alcuni minuti o ore (ovvero, in base ad alcuni esperimenti, dopo parecchi giorni e persino mesi) le distorsioni ottiche provocate dai prismi o dalle lenti distorte, divengono gradatamente meno apparenti; e la condotta (di chi se ne serve) tende a diventare normale, malgrado la continuità delle distorsioni portate dall'informazione sensoriale. Con ciò il sistema percettivo ha sviluppato nuove costanti di calibrazione, al fine di correggere le distorsioni determinate dall'informazione ricevuta. Cosa accade, dunque, allorquando viene rimossa la causa della distorsione ottica? Ci troviamo, a questo punto, di fronte a *distorsioni percettive opposte alle precedenti distorsioni ottiche*. Così che, *le correzioni per la calibrazione percettiva generano a*



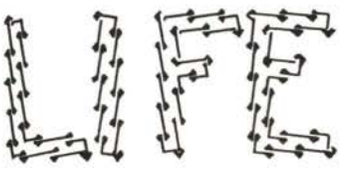


Figura 4
Queste lettere in effetti, giacciono su linee verticali ed orizzontali ma sembrano inclinate. È assai probabile che i rilevatori dell'orientamento non siano attivati dalle singole linee inclinate, e che i loro segnali non siano correttamente sommati a rendere l'orientamento delle figure, in scala maggiore. (Nella nostra terminologia, questo sarebbe un errore da meccanismo.)

loro volta illusioni – poiché esse vengono rese improprie con l'eliminazione delle distorsioni ottiche che esse stavano correggendo.

Di conseguenza ci rendiamo conto della vitale importanza delle strategie per derivare dati da strumenti – e dagli organi di senso. Qualunque sia l'indicazione degli strumenti e degli organi di senso, questi non possono fornire dati se non quando i loro rilevamenti o segnali risultino calibrati su alcuni standard; ed interpretati in termini di probabili ipotesi su quello che può essere il caso.

Illusioni determinate da assunzioni non corrette.

Tutto questo, continueremo a ripeterlo, è importante per comprendere le classiche illusioni dipendenti da distorsione visiva. Siffatto tipo di illusione che può forse essere compresa solo in termini di considerazioni sulla strategia e non sul meccanismo, trova la controparte nell'apprendimento di tutte le tecniche. Supponiamo di apprendere la pratica di uno sport come il tennis: dopo di che ne apprendiamo un'altra in un certo modo simile come quella relativa al tennis da tavolo. L'abilità raggiunta nel tennis può, in qualche modo aiutare; ma per altro verso, spesso specifico, può rappresentare un handicap. Ad esempio, la maniera di colpire la palla da tennis con il braccio teso, è inadatta per il tennis da tavolo, per il quale il braccio inflesso ed il lavoro di polso danno migliori risultati. Così, se il braccio teso della tecnica del tennis viene trasferito per il tennis da tavolo, si crea un handicap, descritto come una *traslazione negativa*. Si tratta dell'equivalente al generare illusioni percettive con l'adozione di strategie non adatte. Queste strategie possono coinvolgere correzioni di calibrazione, ovvero rigraduazioni di vario tipo; ma vi sono molte altre specie di strategie che, se sono inadatte, possono dare origine ad illusioni.

Consideriamo un paio di oggetti che possono essere sollevati con una sola mano, un oggetto dei due sia considerevolmente più grande dell'altro, malgrado che entrambi abbiano lo *stesso peso*. Allorché uno viene sollevato dopo l'altro (ovvero simultaneamente, uno per ciascuna mano) l'oggetto più piccolo darà l'impressione; e sarà giudicato di essere, più pesante di quello più grande. L'illusione è che l'incremento (o il decremento) del peso apparente sia pari a circa il 30 per cento. L'illusione in questione si verifica a condizione che non vi sia alcuna consapevolezza dell'entità dei pesi, generalmente fornita dalla loro osservazione. Il fatto si spiega molto semplicemente, supponendo che i muscoli siano preparati a sollevare il *probabile* peso dell'oggetto, e naturalmente gli oggetti grandi, in genere, risultano più pesanti di quelli di piccola dimensione. In questo caso, perciò, un'aspettativa appropriata secondo la norma, ha generato un'illusione forte – allorché le densità di peso non sono conosciute. L'illusione in questione è probabilmente il più chiaro ed il più semplice caso di *illusione conoscitiva permanente*. La variazione del peso apparente è funzione della supposta massa dell'oggetto – e si basa sulla conoscenza memorizzata relativa alla sensazione del peso degli oggetti. L'illusione può essere individuata direttamente nell'assunzione che un oggetto grande sarà più pesante di uno piccolo – presunzione che in questo caso è errata. I dettagli della fisiologia che media il giudizio sul peso sono irrilevanti nel processo di comprensione delle basi di questa illusione. Vi è un'implicazione relativa al tipo di illusione che è raramente menzionata e cioè: per la percezione occorrono più sensazioni, persino di tipo elementare come quella relativa al peso, che non segnali trasmessi tramite trasduttori passivi. Poiché l'aspettativa influenza la sensazione di peso (nella stessa misura ed alla maniera convincente dell'adattamento) siamo obbligati a supporre che la *preventiva conoscenza degli oggetti, in apparenza, influenzi le sensazioni e le percezioni primarie*. Resta implicito che forse tutti gli stimoli sensoriali, o i canali, saranno influenzati dal tipo di oggetto scelto per la prova. Così, per comprendere la percezione e l'illusione, dobbiamo essere a conoscenza di quali assunzioni si pongono e se esse sono appropriate. Questa è tutt'altro che una lista di risposte – stimolo – ma è necessaria se vogliamo fare progressi malgrado che la situazione sia complicata.

Possiamo scoprire se qualcuno soffre di un'illusione (diciamo di dimensione, forma o distanza) chiedendogli di selezionare (o determinare) un oggetto *test*, della stessa dimensione, forma o distanza di quello che può apparirgli distorto. Con un controllo metrico accerteremo, quindi, se gli oggetti (o le linee) che egli ha giudicato eguali sono effettivamente tali. Dobbiamo ovviamente assicurarci che questi oggetti *test* non siano essi stessi permanentemente distorti – altrimenti i nostri controlli non dimostreranno alcunché, e in ogni caso ci fuorvieranno. Si potrebbe obiettare che tutto quello che possiamo provare si limita ad un tipo di distorsione *comportamentale*. Come facciamo a capire se, nello stesso tempo, si tratta anche di una distorsione *percettiva?* Questo è un dubbio insidioso, molto spesso discusso. Senz'altro la risposta è che non possiamo mai esserne certi. Quando consideriamo la percezione come un'esperienza interna, dobbiamo assumere che gli errori di esecuzione, nel riscontro o negli altri adempimenti che ci imponiamo per controllare l'illusione, corrispondono agli errori percettivi interni dell'illusione. Possiamo ottenere una conferma verbale della sua esperienza, del suo vedere e toccare; ma per l'esattezza, non possiamo essere certi di stare a controllare le sue esperienze perturbate; poiché i nostri controlli non possono che essere riferiti alla sua percezione personale.

Potrebbe tornare utile immaginare un robot da fantascienza (con occhiali ed occhi metallici) che viene posto di fronte a figure di illusioni, con il compito di stimare le loro lunghezze e così via, esercitando un contatto con le sue dita di acciaio. Dobbiamo forse credere che il robot *percepisce* le

N.d.T.
(5) Hilton, Howard, ha contribuito con un proprio studio, nell'edizione del volume citato.

figure e gli oggetti posti innanzi a sé? Forse che dispone, nascosta in qualche posto nel suo interno, di un'*esperienza* della situazione, che possa essere accurata, oppure soffre di illusioni? L'esempio dà enfasi al problema relativo al fatto che, per l'esattezza, non siamo mai in grado di sapere, per ciascuno di noi, tanto meno per un robot... un primate... un cane... una farfalla... un'ameba... quello che viene sperimentato individualmente. Howard Hinton, nel suo capitolo(5), discute sul modo nel quale gli animali, specialmente gli insetti, possono essere fuorviati; e come la loro suscettibilità per l'illusione e per il potere di creare illusioni, è parte della loro difesa biologica per la sopravvivenza. Ciò che possiamo fare in questa situazione, io credo, è di considerare la percezione delle altre persone (o degli animali) come un postulato più o meno ragionevole. Non siamo in grado di provarlo, e forse ciascuno di noi ne discute per una specie di analogia con noi stessi. Ad ogni modo, forse questa postulazione di altre menti non è così diversa dal proporre postulati su molte altre cose non *viste direttamente,* nella scienza: così come gli atomi, gli elettroni e le forze estranee a quelle che noi sperimentiamo. Lo studio della percezione dimostra che niente viene visto *direttamente* così come lo si suppone nel senso comune. Ma non è utile affermare che *tutto è illusione* – non fosse altro perché la percezione (ancora come la scienza) è profetica. La frase *tutto è illusione* non distrugge il mondo reale ma è la parola *illusione* che cessa di avere significato.

La percezione considerata come ipotesi.

È possibile che io mi sbagli sul fatto che quella toppa azzurra, dall'aspetto bagnato, apparentemente posta in quella zona, sia il mare; o persino che quello che vedo e tocco sia in realtà la mia scrivania. Potrei stare a sognare o potrei essermi drogato. Ciò potrebbe risultare improbabile, ma è possibile; analogamente, le mie percezioni non sono certe. Inoltre, se la luce è debole, o se vi sono ombre confuse, allora mi troverò quasi certamente a scambiare anche la mia scrivania per un altro oggetto o per un'ombra. La riduzione dell'affidabilità del riconoscimento procede gradualmente e continuamente, di mano in mano che i dati sensoriali vengono rimossi, ovvero divengono indisponibili. Sembra che non si determini un'improvvisa interruzione tra il *percepire* un oggetto ed il *supporre* un oggetto. Se tutta la percezione di oggetti richiede un certo supporre, possiamo pensare alla stimolazione sensoriale come il mezzo per fornire *dati* per *ipotesi* riguardanti lo stato del mondo esterno. Le ipotesi selezionate seguendo questa congettura, rappresentano le percezioni.

Indicando le percezioni quali *ipotesi percettive,* realizziamo un'analogia tra come l'organismo assume decisioni, basate su dati sensoriali, e come la scienza assume decisioni e crea le leggi circa l'affidabilità dei suoi dati. Potremmo usare, quindi, la nostra conoscenza dei metodi della scienza per chiarire come vediamo. Può darsi che la suscettibilità all'illusione sia necessaria per essere creativi, poiché, se fossimo controllati direttamente dagli eventi percepiti (ed avessimo visto la realtà per diretta intuizione) saremmo sicuramente tiranneggiati dal qui e dall'adesso – imprigionati da tutto ciò che è. Gli Artisti, con le loro tecniche, in qualche modo si servono dei nostri potenziali per l'illusione, permettendoci di intravvedere e di inventare nuove possibilità. Forse essi estendono in noi ciò che facciamo abitualmente per vedere oggetti del mondo esterno.

Possiamo, quindi, investigare proprio su come le erronee strategie relative alla costruzione di ipotesi ed alla selezione di ipotesi, possono generare errori nella scienza: e – se il nostro argomento è corretto – nei corrispondenti fenomeni percettivi illusori. Procediamo, assumendo alla lettera la nozione che le percezioni siano ipotesi. Ciò ci consente di paragonare il potere di generare il vero e l'errore scientifico, con quello proprio della percezione, di produrre un comportamento appropriato e di generare illusioni. La scienza, con tutti i suoi eclatanti successi, dall'inizio ha prodotto anche, in maniera selvaggia, enunciati errati: le stelle come capocchie di spillo in un globo di cristallo; l'elettricità ed il calore come fluidi; il cervello come organo per raffreddare il sangue; il comportamento come risultato di un'azione di controllo da parte di curve di risposta – stimolo. Si tratta di eclatanti deviazioni da quello che attualmente riteniamo vero; e quando furono inventate, esse rappresentarono deviazioni da ciò che appariva vero. Possiamo affermare che la scienza e la percezione sono entrambe tentativi creativi di usare dati correnti o immagazzinati per dare un rendiconto del presente e per prevedere almeno l'immediato futuro. Ciò richiede, in entrambi i casi, la capacità di fuggire dalla realtà: ma è ridicolo supporre che i salti da ciò che è o da quello che sembra essere, possano risultare sempre mirati verso terreni più solidi. Un salto nel buio può far atterrare su di un nuovo mondo – oppure su di un'illusione.

Le ipotesi della scienza, paragonate con il potere e le illusioni della percezione

Per dare avvio alla ricerca, dobbiamo fare un sommario dei modi in cui le ipotesi scientifiche *valide* possono fornire capacità di dati. Dopo di che dobbiamo guardare a come è possibile che le ipotesi non appropriate o inadeguate, possano generare errori nella scienza. Questo ci porterà a paragonare gli errori scientifici generati da *cattive* ipotesi, con i fenomeni delle illusioni percettive. Se dovesse risultare che vi sono chiari parallelismi (come sospettiamo) tra gli errori della scienza e le illusioni, allora forse avremo già fatto un passo avanti verso un'utile filosofia della percezione e dell'illusione.

Le ipotesi scientifiche, quando sono appropriate possono:

1. *Derivare dati dai segnali e dalle letture degli indici dei quadranti degli strumenti.*

I dati non sono mai forniti direttamente dagli strumenti. Questi devono essere usati secondo procedimenti appropriati. Devono essere controllati e calibrati perché i loro segnali abbiano significato – per rappresentare dati.

2. *Derivare fatti dai dati.*

I fatti non mai sono direttamente forniti dai dati strumentali. Sono richieste procedure di assunzioni e di deduzioni. I cambi di *paradigma* possono modificare ciò che viene accettato come fatto.

3. *Generalizzare dai dati.*

Ciò rende possibile la previsione. L'opinione corrente è che siano necessarie classificazioni preliminari, o almeno semplici ipotesi, affinché i dati possano essere generalizzati in leggi. Sono le generalizzazioni che danno potere alla scienza. La previsione consente: l'anticipazione di (alcuni) futuri stati, eventi ed oggetti; l'interpolazione di dati frazionati – così che gli eventi abbiano bisogno solo di campionatura; la capacità di controllare i sistemi balisticamente – per fornire il controllo *in tempo reale* a dispetto dei ritardi dei sistemi; il preavviso dei nuovi tipi di stato, eventi ed oggetti.

4. *Collegare dati e fatti.*

Non si può affermare che sia i dati che i fatti del mondo esterno abbiano una struttura logica finché essi vengono descritti su base teorica, come avviene per le ipotesi scientifiche. Nel migliore dei casi, le relazioni logiche possono riferirsi al mondo esterno, ed essere utili per le previsioni ed i controlli. Senza ipotesi non possiamo attribuire relazioni casuali derivate dalla regolarità delle osservazioni. Sono le strutture logiche delle ipotesi che ci permettono di riconoscere le funzioni delle componenti delle macchine e degli organismi, e valutare la loro efficienza.

5. *Chiarire le ambiguità.*

Ciascun gruppo di dati può essere interpretato in molti modi – può suggerire diverse ipotesi. Potenzialmente, vi è sempre ambiguità. Per rendere chiare le ambiguità, la scienza adotta criteri come la semplicità e l'eleganza, e pondera altresì, le probabilità basate sui dati.

6. *Risolvere i paradossi.*

I paradossi (ed anche le ambiguità) sono caratteristiche delle ipotesi, non già del mondo esterno, che non può essere né paradossale, né ambiguo. I paradossi vengono considerati come segni di errori logici.

7. *Creare novità.*

Le novità scientifiche possono essere le scoperte ovvero le invenzioni.

Possiamo ora riassumere alcune delle specie di *errori che possono essere generati da ipotesi scientifiche inadeguate o improprie:*

Le ipotesi scientifiche quando non sono appropriate possono:

1. *Fallire nel derivare – ovvero distorcere – dati ottenuti dai segnali e dalle letture dei quadranti degli strumenti.*

Le ipotesi false (ovvero i paradigmi impropri) suggeriscono assunzioni ingannevoli, così che i dati risultano distorti o vengono ignorati. Ad esempio, per la calibrazione o per la graduazione dei quadranti, si possono adottare costanti non corrette.

2. *Fallire nel derivare – ovvero distorcere – fatti ottenuti dai dati.*

Le ipotesi false (ovvero i *paradigmi* impropri) suggeriscono assunzioni ingannevoli così che i fatti ne risultano distorti ovvero ignorati. Ad esempio, la valutazione dei sintomi clinici in funzione di una teoria medica corrente.

3. *Derivare ingannevoli generalizzazioni dai dati.*

Ciò deve verificarsi ogni qualvolta che le situazioni cambiano in modo drastico – il passato non può essere considerato, quindi, una vera guida per il presente o per il futuro. Le ipotesi false suggeriscono una serie di attributi non adatti alla generalizzazione dei dati e non sono sufficienti a stabilire tests preliminari all'enunciazione di leggi.

4. *Errare nel collegamento tra dati e fatti.*

Proprio perché le buone ipotesi possono fornire grande forza a dati limitati, nel prevedere e controllare, quelle cattive possono generare seri errori con conseguenze di vasta portata. Senza ipotesi, comunque, i dati non hanno alcuna capacità né di prevedere, né di controllare per il tramite di relazioni logiche.

5. *Generare paradossi.*

I paradossi sono le caratteristiche delle descrizioni, ovvero della ipotesi – non dei fatti. Sono violazioni di strutture logiche, non del mondo esterno.

6. *Generare novità improprie.*

Questo può essere il caso (non intenzionalmente) della fantascienza. Può essere dannosa, ovvero interessante o suggestiva. Il riconoscere le novità come improprie è di vitale importanza per provare la verità dei contenuti delle ipotesi.

Senza dubbio, ogni filosofo della scienza si troverebbe d'accordo con queste affermazioni nel dettaglio; ma spero almeno, che esse non siano grossolanamente ingannevoli. Possiamo ora riassumere, in analoga maniera, le più valide caratteristiche della percezione – per paragonarle alle *buone* ipotesi scientifiche. Dopo di che potremo prendere in considerazione i tipi di errori percettivi – illusioni – e paragonarli con gli errori generati dalle *cattive* ipotesi scientifiche.

La percezione quando è appropriata può:

1. *Sviluppare i segnali sensoriali così come i dati.*

Per questo, sono necessari procedimenti di *calibrazione* e di graduazione di vario tipo, prima che i segnali sensoriali così come i dati, possano essere utilizzati per la percezione.

2. *Dedurre oggetti dai dati sensoriali.*

Possiamo rilevare lo sviluppo graduale dell'evoluzione, *dal comportamento riflesso* (quasi direttamente controllato dai segnali) *al comportamento percettivo*, partendo da ipotesi indirettamente correlate ai segnali sensoriali.

3. *Generalizzare i dati.*

Questa possibilità consiste, essenzialmente, nell'apprendimento. Rende possibile la previsione. La previsione ha inizio con i riflessi condizionati (per es. che il pasto segue il segnale della campana) che conducono alle capacità dipendenti dal *futuro* comportamento degli oggetti. La previsione percettiva produce: comportamento continuo attraverso la segmentazione dei dati disponibili; anticipazione degli eventi consentendo al comportamento intelligente di avere esattamente un tempo di reazione zero – a dispetto dei ritardi di trasmissione del sistema nervoso; anticipazione delle proprietà degli oggetti non sperimentati, così come la durezza di un tavolo, deducibile da un'immagine retinica.

4. *Collegare dati e fatti.*

Malgrado che il punto fondamentale della nostra tesi sia che la percezione è essenzialmente la deduzione dai dati – dobbiamo confermare di sapere a malapena qualcosa circa i processi logici. Come vengono sviluppati questi processi dalla fisiologia dell'apparato cerebrale? Sono correlati alla struttura linguistica? Sono formali in senso logico? Sono analogici o digitali? Qui abbiamo poche risposte, ma i recenti lavori sull'Intelligenza delle Macchine, sono suggestivi. La disponibilità di un ampio ed accessibile *data base* con le connesse regole di deduzione, è vitale per la simulazione computerizzata relativa al riconoscimento ed al comportamento oggettuale.

5. *Usare i dati sensoriali per chiarire le ambiguità.*

Poiché ogni insieme di dati è aperto ad interpretazioni alternative, è necessario porre delle limitazioni percentuali a ciò che è accettabile. Dette limitazioni debbono essere correlate alle caratteristiche degli oggetti.

6. *Usare i dati sensoriali per risolvere i paradossi.*

Malgrado che il mondo esterno non possa essere paradossale, (o ambiguo), la percezione può esserlo – dimostrando in tal modo che essa è una specie di descrizione. Poiché i paradossi sono la violazione di strutture logiche, le percezioni devono possedere strutture logiche.

7. *Generare novità appropriate.*

La percezione si trova continuamente di fronte a situazioni di novità – pertanto la percezione è una specie di novità creativa. Questa è, forse, l'essenza dell'intelligenza, così come della percezione.

Per ultimo, dobbiamo prendere in considerazione i fenomeni percettivi – specialmente le illusioni di diverso tipo – nel caso in cui sono determinate da strategie inadeguate.

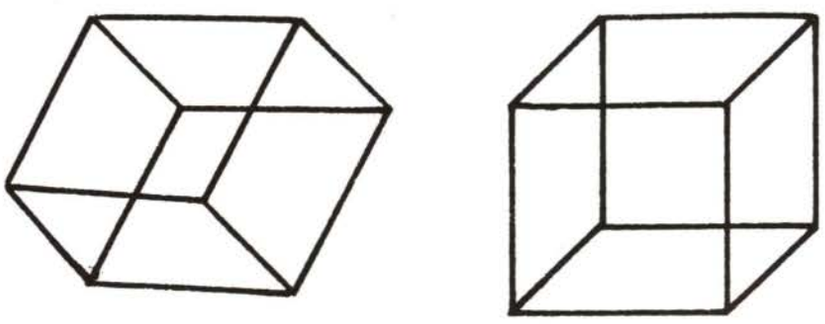


Figura 5
L'ipotesi percettiva che si tratti di un cubo rimane incontestata, ma vi è ambiguità sul modo nel quale il cubo è orientato. Vista senza sfondo, questa figura mostra cambiamenti di forma ad ogni inversione; qualunque sia, la faccia più lontana sembra più grande di quella più vicina, dimostrando che una scala può essere determinata, in base all'ipotesi (orientamento) prevalente e non soltanto in base ai dati della profondità.

La percezione, allorché è impropria può:

1. *Fallire nello sviluppo dei segnali così come dei dati.*

Gli errori di valutazione (per es. correlare la dimensione delle immagini retiniche a quella propria degli oggetti) in genere, devono produrre corrispondenti distorsioni dei rapporti dimensionali. Le assunzioni sono sempre coinvolte nella valutazione, e possono essere improprie. La valutazione può basarsi sull'applicazione di regole di routine (*a*), *dal basso verso l'alto*, da segnali e dati ad ipotesi, ovvero (*b*), *dall'alto verso il basso*, dalle ipotesi selezionate a dati e segnali. Entrambe queste possibilità dovrebbero produrre distorsioni percettive sistematiche nel caso in cui risultino improprie.

2. *Fallire nel dedurre oggetti dai dati (sensoriali e memorizzati).*

Apprendiamo la capacità di dedurre oggetti dai dati, nel mentre questi si sviluppano gradatamente con l'evoluzione; i dati, infatti, inizialmente forniscono solo un controllo riflesso del comportamento. Lo sviluppo della percezione è considerato essenzialmente come sviluppo dei meccanismi e delle strategie per superare il limite dei dati disponibili – costruendo e selezionando ipotesi percettive.

3. *Fornire ingannevoli generalizzazioni.*

Ciò potrebbe accadere per caso *campionando gli errori,* specialmente se i piccoli esempi vengono accettati come adeguati, mediante generalizzazioni basate su aspetti irrilevanti; ovvero con sistematici cambiamenti nel mondo esterno. Le generalizzazioni possono anche essere applicate impropriamente, specialmente se si tratta di ipotesi pilota inadeguate, o di *paradigmi.*

4. *Collegare erroneamente dati e fatti.*

Questa dovrebbe essere la più completa e la più interessante delle nostre categorie di illusioni da strategie male impostate; ma ohimé – ne sappiamo così poco. Solo se conosciamo nei dettagli i vincoli della deduzione percettiva, dai dati alle ipotesi oggettuali, possiamo rilevare nei dettagli stessi i collegamenti errati. Avanziamo, comunque, l'ipotesi che molte distorsioni possono essere dovute all'uso di assunzioni relative alle caratteristiche per solito correlate alla distanza, onde determinare la dimensione apparente; mentre altre assunzioni male impostate possono generare altri paradossi. Abbiamo ancora molto da apprendere.

5. *Fallire nel chiarire le ambiguità.*

Le ipotesi selezionate possono talora essere in contrasto su determinati dati se le loro probabilità risultano quasi eguali. Ciò potrebbe accadere persino nel caso di ipotesi di selezione delle strategie (come avviene per i cubi di Necker). Più numerose sono le ipotesi avanzate durante i test, e maggiore risulta l'ambiguità potenziale – di conseguenza, nello stadio di percezione avanzata, possiamo aspettarci un maggior numero di illusioni di ambiguità.

6. *Fallire nel risolvere i paradossi.*

La presenza di un paradosso implica che vi sia una certa specie di descrizione – poiché deve essere una descrizione, non già la realtà, ad essere paradossale (ciò si riferisce anche all'ambiguità).

7. *Creare novità improprie.*

Questo caso potrebbe essere descritto come produzione dell'immaginazione ovvero fantasia; ma può essere suggestiva – nel qual caso è arte!

Troviamo ravvicinati parallelismi tra il potere delle *buone* ipotesi nella scienza e quello delle percezioni per realizzare l'uso effettivo di determinati dati. Se consideriamo gli errori come generati da ipotesi cattive, o improprie, troviamo che queste si allineano a molte illusioni percettive.

Perciò, possiamo riassumere la nostra posizione, affermando che: *Le percezioni sono ipotesi: le illusioni sono ipotesi male impostate.* Inoltre, le ipotesi percettive possono essere male impostate; o perché i *meccanismi* (fisiologici) *che mediano le strategie volte a generare ipotesi non funzionano bene;* ovvero perché *le strategie* (conoscitive) *che generano ipotesi risultano improprie.*

Prima di prendere in considerazione più dettagliata le illusioni come ipotesi improprie, daremo un altro sguardo alla distinzione tra meccanismo e strategia – fisiologia e conoscenza.

Figura 6
Inversione figura-sfondo. La percezione delle figure o degli oggetti viene da noi considerata come selezione di un'ipotesi. Vi può essere rivalità tra le ipotesi e vi può essere incertezza su quella che è la figura, o l'oggetto, e su quello che è il fondo o il disturbo.

Quanto è netta la distinzione tra meccanismo e strategia?

I meccanismi fisiologici comprendono gli organi del senso (trasduttori per la conversione degli stimoli provenienti dal mondo oggettuale, in segnali neurali), i rivelatori delle caratteristiche (che, come ora sappiamo, selezionano le caratteristiche specifiche dei modelli sensoriali come l'orientamento delle linee, gli angoli, i cambiamenti di intensità, il movimento e così via), fino all'elaborazione estensiva di meccanismi che dovranno immagazzinare, generalizzare e classificare i dati e compiere le altre operazioni logiche evidentemente necessarie per la percezione. Desideriamo descrivere queste procedure deduttive con un linguaggio diverso dalla fisiologia, non certo per un motivo metafisico ma perché esiste una netta distinzione tra *meccanismo e* strategia. Può darsi che questa distinzione possa essere talora ignorata senza danno, ma appare di vitale importanza sviluppare considerazioni relative all'origine dell'illusione. Ad esempio, per comprendere le immagini postume, la fisiologia è della massima importanza; ma per comprendere l'illusione relativa al rapporto dimensione – peso, quello che conta è l'*assunzione* che gli oggetti più grandi sono in genere più pesanti di quelli piccoli. Non è importante perché ci sia possibile comprendere questa illusione, stabilire esattamente in quale modo il peso viene segnalato, ovvero, che tipi di meccanismi vengono coinvolti nell'immagazzinare l'assunzione: è la stessa assunzione, e talora la (falsa) deduzione ricavata da essa che ci fornisce la traccia e la spiegazione dell'illusione.

Possiamo distinguere tra le *illusioni da meccanismo* e le *illusioni da strategia*, prendendo in considerazione se o no, l'illusione dipende dalle assunzioni. Se un'illusione non dipende dalle assunzioni, possiamo classificarla come un errore dei meccanismi psicologici: se invece dipende da esse, possiamo classificarla come un errore delle assunzioni conoscitive.

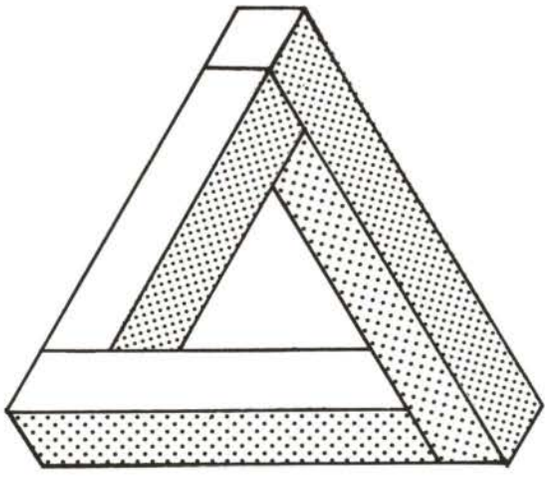


Figura 7
Una figura paradossale. Considerata come un insieme di rette non dà problema. Se però proviamo a costruire un oggetto ipotetico dall'immagine in questo caso vi è una selezione di dati conflittuali.

Potrebbe tornare utile distinguere tra le assunzioni dello stato dell'organismo e quelle dello stato del mondo esterno. L'illusione dimensione-peso dimostra il potere delle assunzioni oggettuali. Esistono corrispondenti illusioni generate da false assunzioni riguardanti lo stato proprio di un individuo? Un esempio è dato dall'illusione di Aristotele. Provate ad incrociare il primo ed il secondo dito della mano. Se il naso viene strofinato delicatamente con le superfici delle due predette dita, che ora sono interne – che normalmente sono invece i loro bordi esterni – con il contatto si possono sentire due nasi! Ciò è chiaramente dovuto all'errata assunzione circa la posizione delle dita, e così pure delle zone di contatto con il naso. I fenomeni di riporto del dolore (nei quali i dolori vengono localizzati in posti distanti dalla zona del disturbo) possono essere correlati a questo tipo di illusione.

Stiamo portando argomenti per pervenire ad una distinzione tra le illusioni da *meccanismo* e quelle da *strategie* generate dalle ipotesi, in termini di una supposta distinzione fondamentale tra i meccanismi e le operazioni logiche o strategiche sviluppate dai meccanismi stessi. Dobbiamo chiederci: Che cosa vi è in siffatta distinzione?

Prendiamo un'analogia che non abbia a che vedere con l'apparato cerebrale. Consideriamo un veicolo spaziale completamente automatico, che si sta dirigendo verso un altro pianeta. È fornito di sensori, di un computer e di mezzi per correggere gli errori di rotta. Il suo compito è quello di scoprire errori e divari dal suo percorso di volo ideale: ma può non avere nel proprio computer un resoconto generale e consistente circa il sistema planetario, o del suo universo. Ora possiamo dire con fiducia che i jets per la correzione di rotta, *sono meccanismi*, controllati dal computer. Possiamo anche affermare che un computer è un meccanismo, che impiega programmi. La macchina può soffrire di cattivo funzionamento, ed i programmi possono contenere errori che potrebbero far sì che la macchina fornisca risposte sbagliate. Ma il programma è certamente rappresentato da un sistema meccanico (ad esempio, forature nel nastro di carta) e questo può guastarsi in modi meccanici – i fori possono ostruirsi, la carta può strapparsi, ovvero il lettore del nastro può andare in avaria.

È possibile che il programma si rovini in modo *non* meccanico? Supponiamo che durante il volo un'imprevedibile cometa penetri nel sistema planetario e che introduca forze che cambiano quello che avrebbe dovuto essere il percorso di volo ideale. Se il modello dell'universo in possesso del computer non era sufficientemente globale onde consentire il calcolo necessario per stabilire il migliore percorso possibile in queste mutate condizioni, ne potrebbe conseguire un disastro. Occorrerebbero alcuni tipi di particolari correzioni, ma esse stesse potrebbero risultare inadeguate o improprie. Comunque, l'errore risultante, di certo, non potrebbe essere ascritto al-

l'errore meccanico della nave spaziale – includendovi il computer come parte della stessa nave. Ecco che sono state le strategie disponibili dal computer ad essersi dimostrate inadeguate od improprie, a causa del cambiamento situazionale al quale hanno dovuto far fronte.

Ora supponiamo che il computer disponga di una sufficiente capacità di strategie per affrontare la mutata situazione; ma i sensori non sono adeguati per individuare la cometa che sta avvicinandosi, disturbando la situazione prevista. Il computer continuerebbe in quel caso a controllare la situazione come se non vi fossero comete. Gli errori risultanti non sarebbero causati dal computer, ma dalla inadeguatezza dei sensori. Si tratterebbe senza meno di un'inadeguatezza meccanica. O forse no? Abbiamo discusso sul fatto che la stimolazione degli organi di senso non rappresenta dati fintanto che non è stata propriamente valutata ed interpretata secondo le ipotesi possibili. Dobbiamo supporre, quindi, che l'insuccesso del sistema sensoriale non sia dovuto a limitazioni meccaniche come la mancanza di risoluzione o di sensibilità, ma piuttosto al fatto che i segnali percepiti non siano stati interpretati correttamente poiché erano stati originati da un oggetto come una cometa? Potrebbe forse essere considerato come un errore meccanico? In un certo senso, le strategie o i programmi devono essere selezionati per il riconoscimento degli oggetti: ma di sicuro siffatta selezione deve essa stessa coinvolgere le strategie. Se così è, le strategie in questione possono risultare improprie. Constatiamo questa specie di improprietà della ricognizione oggettuale nel fenomeno della faccia concava che appare come normale: le strategie per riconoscere la faccia sono improprie per distinguere l'una dall'altra delle due facce. Quello che produce il disturbo in questo caso, è l'elevatissima probabilità primaria collegata al fatto che le figure a forma di naso sono oggetti sporgenti. Se ciò può accadere a noi nell'individuaione di una faccia, potrebbe accadere anche per quella relativa alla cometa da parte della nostra nave spaziale. Non vedo come tutto questo possa essere descritto come un errore meccanico – benché la nave spaziale ed il computer di bordo costituiscano un meccanismo. Il punto è che il meccanismo in questione (e presumibilmente anche il sistema cerebrale) sviluppa strategie. Se la strategia genera errori, dobbiamo conoscere la sua errata corrispondenza con il problema per capire l'origine dell'illusione.

Il linguaggio che usiamo per descrive le operazioni logiche o di altro tipo che vengono sviluppate dalle macchine, è diverso da quello appropriato alle funzioni della macchina per il cui mezzo può sviluppare operazioni. È proprio questa distinzione, che io suggerisco, a separare la fisiologia (o più specificamente, la neurologia) dalla conoscenza – e forse giustifica la psicologia come una scienza a sé stante. È questa distinzione che ci fa arguire che, malgrado alcune illusioni abbiano la loro origine nel cattivo funzionamento meccanico, altre costituiscono errori di strategia che possono verificarsi nonostante il perfetto funzionamento dei meccanismi. Prima di sviluppare

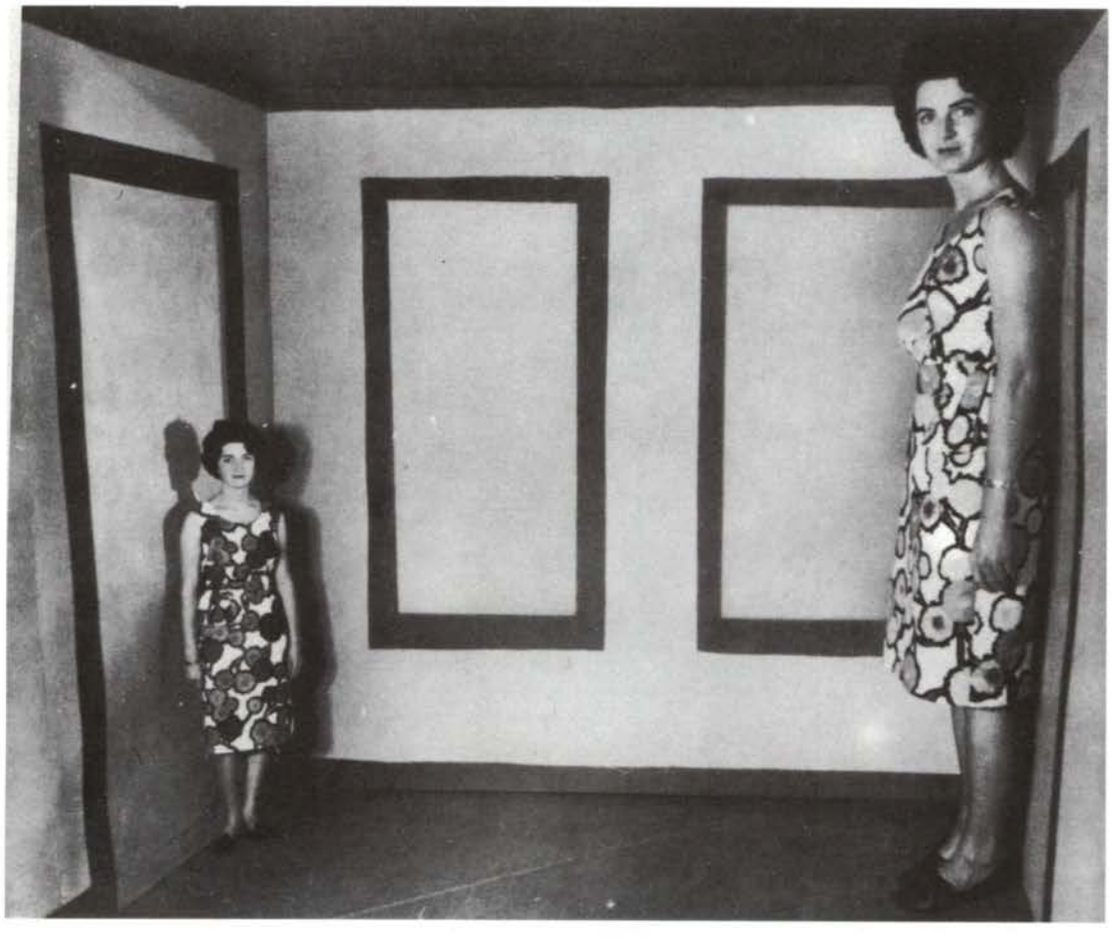


Figura 8
La cosiddetta camera distorta di Ames. Si tratta di una stanza a forma bizzarra piuttosto che distorta. Essa fornisce all'occhio lo stesso modello di una normale stanza rettangolare, e gli oggetti nel suo interno vengono valutati in base all'assunzione che sia rettangolare.

oltre questa nozione delle illusioni generate dalle strategie, è necessario esaminare alcuni esempi di illusioni che possono essere attribuite direttamente ad un cattivo funzionamento *meccanico*.

Illusioni dipendenti dal cattivo funzionamento dei meccanismi fisiologici

Qualsiasi meccanismo è soggetto a guasti. Ma ciò che significato ha? Approssimativamente, significa che non svolge più operazioni con la normale attendibilità ed efficienza. Un'automobile che si sia guastata può avere molti modi di mancanza; e lo stesso si verifica per il sistema nervoso come sappiamo da tutti i diversi tipi di malanni clinici. Per entrambi i meccanismi di ingegneria e neurali, quelli che si mostrano come sintomi di un difetto nascosto, o del guasto del meccanismo, dipendono da ciò che si richiede di fare al meccanismo. Per esempio, se i freni di un'automobile, si sono rotti, la prestazione del mezzo in questione non ne potrà in alcun modo essere disturbata e l'inconveniente può passare inosservato, fino a che non sarà necessario rallentare o fermare il veicolo. Analogamente, se le luci si sono fuse, il fatto può passare interamente inosservato fino a quando, con il buio, non occorrerà accenderle. Così pure per quanto riguarda i disordini neurali o fisiologici, che possono generare illusioni. L'illusione si verificherà solo – il cattivo funzionamento si appaleserà solo – se interverrà a svolgere un ruolo importante nello sviluppo di operazioni necessarie. (In tal modo, la ridotta acutezza visiva, mentre non importerà nel leggere i titoli di un giornale, può limitare la lettura dei caratteri minuti).

I meccanismi fisiologici possono essere danneggiati permanentemente, e produrre illusioni più o meno permanenti – malgrado che esse si appalesino soltanto in situazioni che richiedono l'intervento di questi meccanismi danneggiati. Un esempio è quello che si verifica quando una lesione impedisce agli occhi di essere rivolti verso una determinata direzione, diciamo la destra. Se una persona portatrice di simile lesione, prova a guardare a destra, il suo intero mondo visivo gli darà l'impressione di ondulare, ruotando verso destra: cioè, nella stessa direzione verso la quale gli occhi avrebbero dovuto spostarsi. Il guasto del meccanismo oculare (una rottura del nervo, blocca, normalmente, i muscoli contrattili, esterni all'occhio, per il movimento di rotazione) ha dato origine ad una potente illusione; la quale, incidentalmente, è utile per farci conoscere parecchio circa il motivo per cui il mondo visivo, in condizioni normali, non oscilla in senso rotatorio allorché si muovono gli occhi. Questa illusione, ovviamente, non si verificherà fino a quando non verrà fatto il tentativo di ruotare gli occhi a destra. Tutte le illusioni sono generate soltanto in determinate condizioni: queste possono essere critiche, e di conseguenza aver luogo di rado. Allo stesso modo, le illusioni potrebbero verificarsi nel corso di situazioni insolite, con un'irrompente ed imprevedibile improvvisazione.

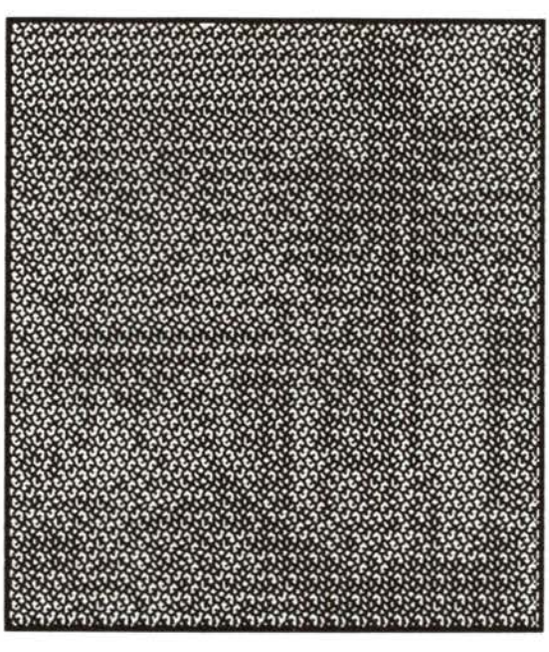


Figura 9
I punti (o dati-punto) sono stati prodotti elettronicamente e portati sullo schermo di un monitor ad intervalli casuali. Ogni immagine, nella sequenza, mostra un raddoppio di dati-punto. Quanti dati-punto sono necessari per selezionare la corretta ipotesi percettiva? Come può questa essere influenzata dalla probabilità prioritaria dell'oggetto campionato?

Ora, se si prendono in considerazione persone prive di disturbi neurologici (sia congeniti che conseguenti danni o droghe) potremmo classificare i disturbi dei meccanismi neurali come generatori di illusioni, in due ulteriori categorie: *inadeguatezza dei meccanismi,* e *improprietà dei meccanismi.*

Uno qualsiasi di questi tre tipi di illusione generata dai meccanismi, può essere prodotto dall'*adattamento dei meccanismi.* In molti casi, ciò può essere considerato come una perdita di calibrazione.

Esempi di adattamento dei meccanismi: Le immagini postume di splendore o di colore; gli effetti postumi del movimento (*il fenomeno della cascata*); gli oggetti caldi che si sentono freddi quando la mano è stata riscaldata e *viceversa* (questo può produrre un paradosso; la stessa acqua che si sente sia bollente che fredda, contemporaneamente); le variazioni di colore conseguenti l'aver guardato luci colorate e brillanti; la posizione delle membra oppure l'apparente peso degli oggetti dopo aver trasportato un carico pesante.

Esempi di inadeguatezza dei meccanismi: L'effetto autocinetico (piccole sorgenti luminose si muovono attorno nell'oscurità – forse la base di molti dei bagliori vaganti che compaiono nelle sedute spiritiche!) – dovute quasi certamente alle inadeguatezze del sistema motorio dell'occhio che di norma consente al mondo esterno di apparire stabile durante gli spostamenti degli occhi; l'errata collocazione dei suoni da parte dell'orecchio quando si crea un'errata informazione visiva della loro provenienza; gli oggetti insoliti che vengono visti nella dimensione o forma sbagliata a causa di un'inadeguata informazione stereoscopica, segnalata dalla convergenza degli occhi o dalle differenziazioni retiniche.

Esempi di improprietà dei meccanismi: Il movimento *phi* (movimento apparente attraverso lo

spazio interposto tra due luci lampeggianti alternativamente) è, probabilmente utile, di norma, in quel movimento continuo derivato da un segnale interrotto di immagini mobili; le immagini sono interrotte dai vasi sanguigni della retina, oppure da oggetti che momentaneamente passano dietro ad altri oggetti, come la preda passa dietro l'albero. Questa tolleranza alla interruzioni, generalmente utile, diviene impropria – a generare un'illusione di movimento – quando le luci lampeggiano con un intervallo, tra un lampo e l'altro, che potrebbe essere corrispondente al moto di un oggetto che attraversa le soluzioni di continuità. La tolleranza alle predette soluzioni di continuità (interspazi) genera l'illusione del movimento.

Alcune illusioni da distorsione possono essere dovute all'improprio (o ad improprie correzioni di) adattamento sensoriale. È molto difficile comunque, stabilire se questi errori sono *di meccanismi* o *conoscitivi*. La teoria della classica illusione da distorsione, che presuppone che essi errori siano dovuti agli effetti inibitori delle limitrofe cellule stimolate, trasferendo la regione di massima attività, può essere considerata come riferentesi a distorsioni prodotte da impropri effetti sussidiari dell'inibizione laterale. Inoltre, è sorprendentemente difficile stabilire se queste illusioni (di Müller-Lyer, Ponzo, Hering, Orbison, etc.) debbano essere collocate in questa categoria – o se siano dovute ad errata valutazione conseguente ad assunzioni conoscitive improprie, relative al significato delle linee convergenti. Le teorie in questione sono estremamente diverse nella specie, eppure molti dei fenomeni da loro previsti sono simili. La similarità di che trattasi può essere accidentale.

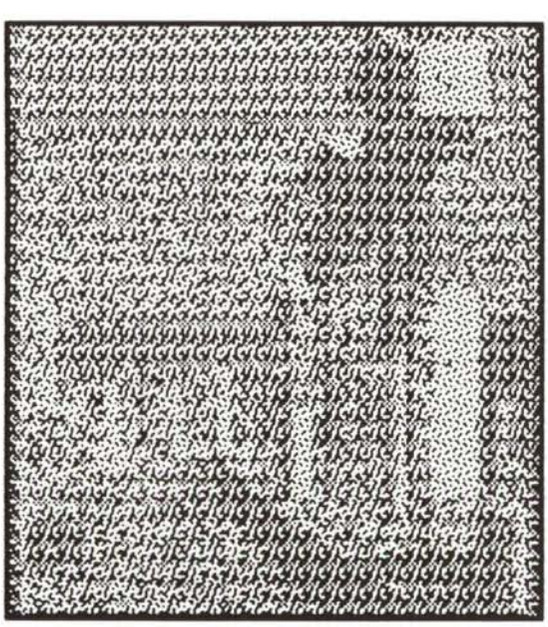
Illusioni da strategie conoscitive fuori posto

La nozione principale in questo caso, è di considerare le illusioni conoscitive come equivalenti, formalmente, agli errori generati da cattivo uso di dati, nella scienza. Abbiamo considerato sette modi nei quali le ipotesi scientifiche possono dimostrarsi inadeguate, o improprie – ed abbiamo trovato che la percezione ha queste stesse sette specie di potere e di errore. Ciò, riteniamo, giustifica la nozione che *le percezioni sono ipotesi:* e che *le illusioni sono ipotesi fallite*. Svilupperemo adesso questo argomento, prendendo in considerazione, a turno, ciascuna delle sette categorie, e cercando di dimostrare come possano generare specifiche specie di illusioni derivate dall'assunzione di strategie fuori posto.

Illusioni da strategie fuori posto.

Abbiamo dedotto che le assunzioni e le strategie improprie possono distorcere i dati – e generare errori scientifici ed illusioni percettive. Come abbiamo constatato, affinché gli eventi percepiti possano fornire, rappresentare o essere accettati come dati, occorre disporre di un sistema di controllo calibrato. In genere, è necessario, altresì, che le assunzioni relative al mondo esterno, interpretino i segnali come dati. Si tratta di una questione molto sottile, poiché può essere che queste correzioni debbano essere modificate secondo la situazione che viene investigata o percepita. Ma naturalmente, ciò deve essere fatto in base alla situazione *assunta*, e le assunzioni possono essere errate. A questo punto possiamo tornare al caso dell'astronomo che stima la distanza di una stella dal suo apparente splendore, quando parte della sua luminosità può essersi persa per effetto di una scura nuvolosità nel frattempo intervenuta. Un esempio esattamente correlato alla percezione è quello che si riferisce alla guida di un automezzo nella nebbia, quando normalmente, i segnali retinici relativi alla distanza sono similarmente modificati – e può risultare impossibile sviluppare *correzioni di calibrazione* in tempo utile per evitare un disastro.

Così accade che lo stimolo visivo risulta specialmente inadeguato nei confronti della *distanza dell'oggetto*. Questa condizione è più sfortunata, perché *le ipotesi percettive, in genere, non sono in grado di immagazzinare informazioni circa la distanza*. Deve essere così, perché la distanza rappresenta una questione contingente. La gran parte degli oggetti può trovarsi ad una qualsiasi distanza – e perciò la distanza non può essere rappresentata con ipotesi immagazzinate. Ma dati sensoriali precisi e privi di ambiguità sono disponibili solo per gli oggetti vicini, per l'effetto dell'accomodamento (messa a fuoco) del cristallino e per l'angolo di convergenza assunto dagli occhi per puntare sugli oggetti. (La stereoscopia data dalle differenze del punto di vista delle immagini sulla retina per produrre differenziazioni retiniche, non è diretta come spesso si crede, poiché la differenziazione deve essere valutata in funzione di una di-

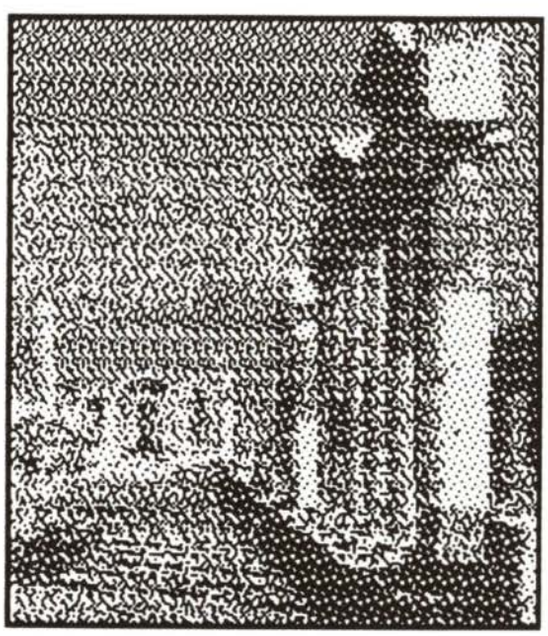


stanza segnalata o assunta, se su vuole fornire un'informazione di profondità). Le dimensioni e le distanze di oggetti più lontani sono di grandissima importanza; conseguentemente, non dovremmo sorprenderci di scoprire che, per stabilire la scala degli oggetti – distanza e dimensione – vengono utilizzati mezzi indiretti e raffinati. Nel caso delle immagini fotografiche, tutto ciò di cui disponiamo sono mezzi indiretti, poiché, (fatta eccezione per quelle stereoscopiche), esse forniscono una vista monoculare degli oggetti distanti, appartenenti al mondo oggettuale tridimensionale. Malgrado ciò, in genere, sulle fotografie possiamo osservare oggetti rappresentati con notevole fedeltà – ancorché con qualche distorsione sistematica, che dovremmo provare a spiegare.

La teoria della valutazione della costanza impropria nelle illusioni da distorsione.

Questa teoria trae le proprie radici nella nozione del XIX secolo, dovuta a Thiery (1896), secondo la quale, in un modo o nell'altro, la prospettiva delle fotografie altera la dimensione apparente, in quanto gli oggetti più lontani sembrano, in una certa qual misura, più piccoli di quelli più vicini. La spiegazione di Thiery, circa il fatto che la dimensione apparente è conseguenziale alla distanza apparente fornita dalla prospettiva, non si adatta, comunque, alla convergenza prospettica nelle fotografie e l'illusione *accresce* la dimensione apparente delle figure. La teoria prevedeva esattamente la risposta sbagliata; ma era l'avvio verso una sorta di spiegazione delle distorsioni, generata da una strategia.

Per lungo tempo è stato ritenuto che la dimensione apparente dovesse seguire la dimensione retinica poiché si supponeva che ciascun punto della retina fosse collegato, uno per uno, con i corrispondenti punti della proiezione corticale. Ma in contrasto con questa teoria, si comprese che un'immagine postuma, apparentemente distante, sembra più grande della stessa immagine postuma vista come vicina, proiettata su uno schermo o un muro vicino. (La crescita quasi lineare delle dimensioni delle immagini postume con la distanza apparente è conosciuta come Legge di Emmert). Così la tesi anatomica del Mueller relativa alla corrispondenza punto a punto, dalla retina alla corteccia cerebrale, è stata modificata, per tener conto della distanza apparente che influenza la dimensione apparente. Il successivo passo, dovuto a Tousch (1954), fu quello di supporre che la costanza dimensionale fosse coinvolta nell'illusione della localizzazione. Se le forme della prospettiva nelle immagini dell'illusione producevano alcune forme più distanti, allora, secondo le leggi della costanza, queste avrebbero dovuto essere più grandi – e così sono. Il guaio, con ciò, è che le immagini delle illusioni possono sembrare perfettamente piane, eppure appaiono distorte.



La teoria della valutazione della costanza impropria venne proposta (dall'autore, esattamente dieci anni fa), per superare questa difficoltà. (Si tratta, infatti, dell'avvio di questo approccio globale alla percezione ed all'illusione.) Essa teoria suggerisce, innanzitutto, che la costanza dimensionale e formale sono il risultato di processi attivi di valutazione. (Esisteva una confusione di vecchia data circa il fatto che la dimensione e la forma apparente rappresentano in qualche modo, compromessi tra le immagini retiniche e la realtà; questa è una remora creata dal modo di considerare la percezione, diretta o intuizionista e deve ancora essere risolta. Secondo me, si tratta di una questione metafisica che confonde enormemente.) In secondo luogo, la teoria avanza l'ipotesi che, malgrado la valutazione possa seguire la distanza apparente persino in assenza di variazioni dell'immagine retinica, può essere valutata per effetto di *segni tipici della profondità,* anche quando la profondità non è percepita perché contrastata da altre informazioni come la tessitura della superficie della fotografia. Questa informazione ricavata direttamente dai segni della profondità, venne indicata come *primaria* o *valutazione da segni di profondità.* Qualcosa di simile è chiaramente essenziale se la costanza deve essere invocata per le situazioni nelle quali non esiste profondità apparente. Ciò venne descritto inizialmente nel passaggio seguente che citerò integralmente perché è abbastanza importante e rappresenta il punto di avvio della nostra ricerca.

La valutazione della costanza impropria produrrebbe la distorsione dello spazio visivo, ma per quale ragione dovrebbe verificarsi un fatto simile con le immagini dell'illusione che sono di fatto piatte e che sono generalmente viste piatte? In genere viene reputato che la valutazione della costanza dipende semplicemente dalla distanza apparente (come suggerirebbe la Legge di Emmert); ma se dobbiamo supporre che la valutazione della costanza può funzionare per immagini chiaramente giacenti su di una superficie pia-

na, dobbiamo sfidare questa assunzione, e suggerire che gli aspetti visivi associati con la distanza possono modificare la valutazione della costanza persino quando non si percepisce profondità. Se dobbiamo supporre che le illusioni (da distorsione) sono dovute ad un'inesatta valutazione della costanza, dobbiamo altresì supporre che la valutazione in questione può essere impostata direttamente sugli aspetti della profondità delle immagini, e non semplicemente in funzione della distanza apparente così come viene generalmente inteso.

Se la prospettiva o altri dati della valutazione dimensionale sono rappresentati in situazioni nelle quali non si trovano ad essere correlati alla profondità – ovvero sono correlati in modo atipico – in quel caso dobbiamo attenderci che questa strategia corrisponda alla distorsione dei valori. Le fotografie e le immagini delle illusioni, per il fatto che hanno evidenziato aspetti prospettici, sembrano essere state calcolate per disturbare il sistema in questo modo. È d'obbligo che le distorsioni si verifichino, dal momento che questi aspetti, quando sono fuorvianti, non possono essere ignorati né rifiutati. Il graduale rifiuto potrebbe determinare la diminuzione di siffatto tipo di illusioni che può verificarsi con una lunga esperienza di queste immagini. L'idea di stabilire la scala direttamente, servendosi degli aspetti tipici della profondità, rappresenta un esempio della valutazione ricavata dai dati, *dal basso verso l'alto.* Non disponiamo di alcuna consapevolezza circa questi iniziali stadi della percezione: ma vi è molto di più nella percezione di quanto non si percepisca!

È solo in apparenza che la valutazione può anche essere ricavata *dall'alto verso il basso*, dalle ipotesi percettive correntemente sostenute, cambiando con variazioni di ipotesi. Entrambe le valutazioni, *dal basso verso l'alto* e *dall'alto verso il basso,* se improprie, dovrebbero generare illusioni da distorsione. Possiamo descrivere la valutazione *dal basso verso l'alto* come dati, adottando il concetto di seguire la regolarità. (Ad esempio, accettando come regolare che le linee convergenti producano dilatazione in risposta alla contrazione delle immagini retiniche, con il crescere della distanza dell'oggetto.) La valutazione *dall'alto verso il basso*, partendo da ipotesi, non è data, invece, da siffatto concetto di seguire la regolarità – è data, evidentemente, dalle costanti di valutazione immagazzinate in determinate ipotesi oggettuali.

a) *Valutazione dal basso verso l'alto ricavata da segnali e dati sensoriali.*

Appare utile pensare alla valutazione ricavata da immagini tipicamente correlate alla profondità,

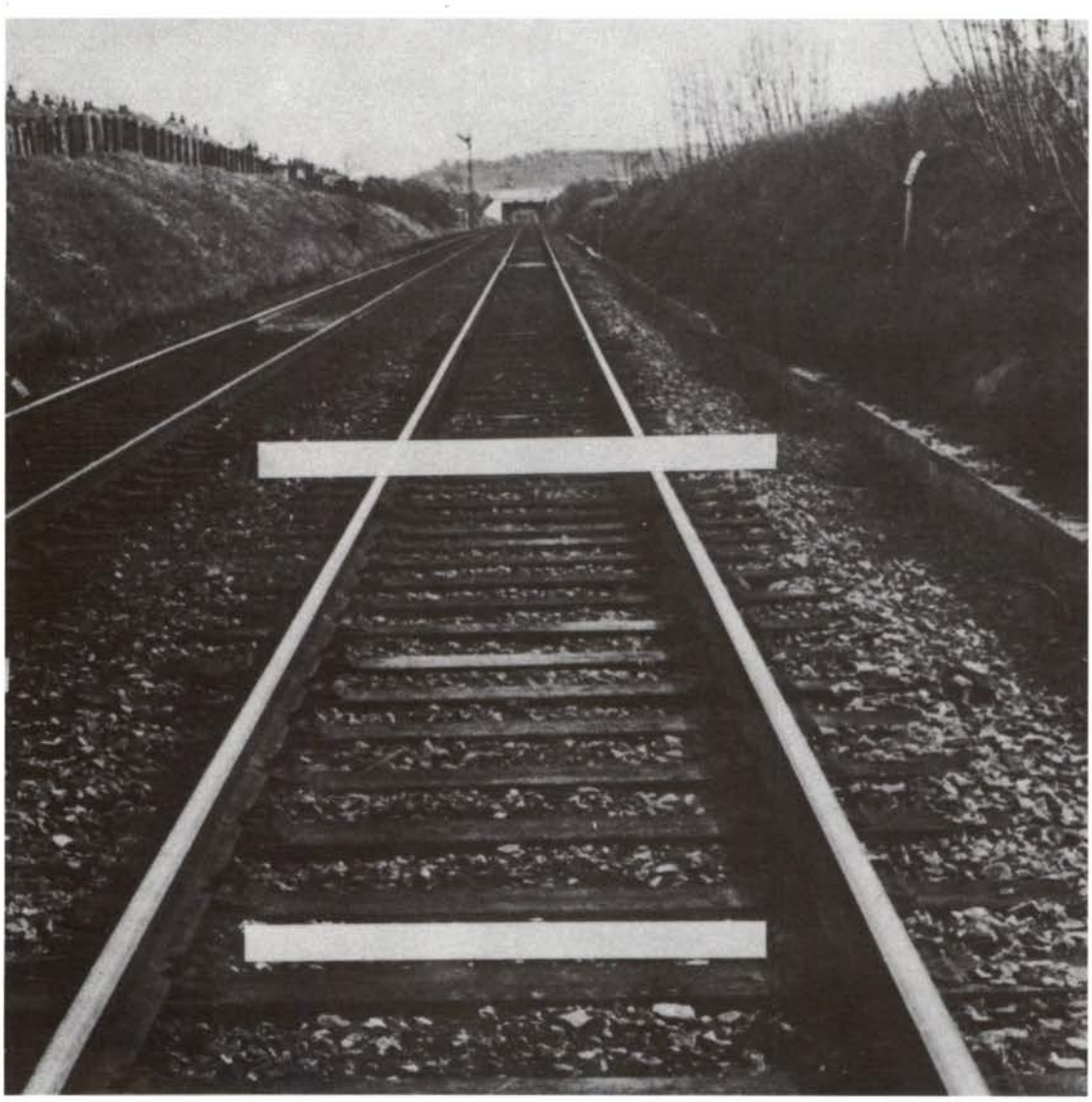


Figura 10
La normale vista di una ferrovia, mostrante l'immagine che viene ricevuta dalla retina. Se un marcato segno di profondità, in questo caso la convergenza, fornisce la diretta valutazione della scala, generalmente per rendere la costanza della dimensione, allora dovremmo aspettarci che figure di questo tipo generino distorsioni di scala quando sono presentate sulla superficie piana di fotografie o diagrammi. Questa è l'idea fondamentale della teoria della costanza impropria nelle illusioni da distorsioni visive, e fornisce la spiegazione delle illusioni di Ponzo e di Müller-Lyer.

come un sistema di valutazione *dal basso verso l'alto*, e cioè dai segnali e dai dati sensoriali alle ipotesi – le percezioni. Le ipotesi percettive selezionate vengono finalmente valutate per dimensioni e distanze. Queste saranno, comunque, errate – si verificheranno distorsioni – quando le assunzioni di valutazione risultino inapplicabili per il caso particolare. Un esempio rappresentativo di ciò è offerto dalla prospettiva riprodotta sulla superficie piana di una fotografia. Vi sono, ad ogni modo, valide prove a dimostrare che questa non è l'intera storia della strategia relativa a siffatte illusioni da distorsione; esse sembrano essere anche:

b) *Valutazione dall'alto verso il basso ricavata da ipotesi percettive.*

Nella scienza, i dati sono spesso valutati in armonia con le ipotesi prevalenti – per esempio, la distanza delle stelle ricavata dalla loro apparente magnitudine, seguendo ipotetiche assunzioni – e i dati variano con il cambiamento delle ipotesi. Lo stesso sembra verificarsi per la percezione. La valutazione può essere dall'*alto verso il basso,* cioè dalle ipotesi percettive prevalenti. La prova di ciò, viene da quello che si verifica quando oggetti di profondità ambigua, variano gli orientamenti apparenti, come per il caso dei cubi di filo metallico, le cui facce in apparenza deviano la profondità. La faccia apparentemente più *lontana* sembra sempre più *grande* – malgrado non si sia verificata alcuna variazione dello stimolo sensoriale (segnali) con le predette deviazioni delle ipotesi percettive. La variazione è puramente centrale, eppure produce cambiamenti dimensionali completamente sistematici. L'evento in questione può verificarsi addirittura in contrasto con il contenuto dell'informazione stereoscopica. Queste variazioni nella valutazione, correlate alle ipotesi prevalenti, ovvero alla percezione, non si limitano alle variazioni dimensionali o formali: *l'effetto Gelb*, relativo alla variazione della luminosità in funzione di ciò che viene ritenuto in ombra, può anche essere interpretato in questo senso. Ciò appare più chiaramente – ancora una volta non si determina alcuna variazione dell'immagine retinica o di altri segnali sensoriali – nell'interessante illusione illustrata nella Fig. 27. Secondo noi, tutti questi sono esempi riferibili a valutazioni di tipo *secondario*, ovvero, *dall'alto verso il basso*, che modificano i dati in relazione agli aspetti delle ipotesi percettive predominanti, e variano con le ipotesi stesse.

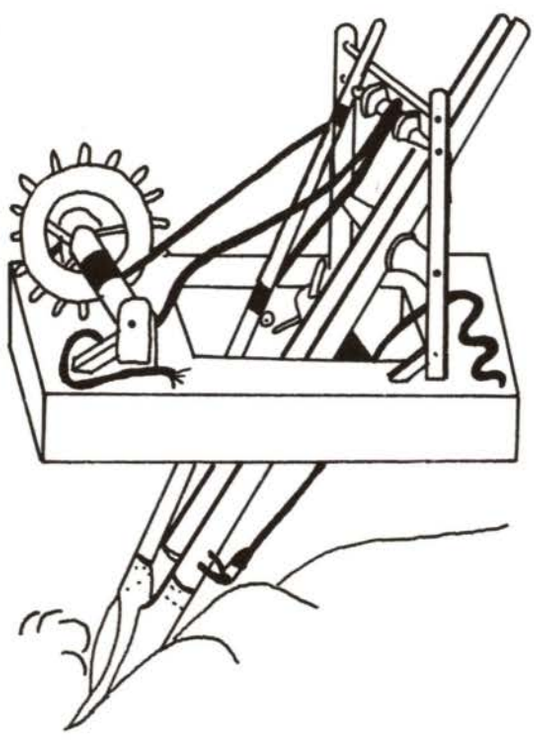


Figura 11
Distorsione di scala in un disegno rettilineo. La base di questa macchina medievale è disegnata con i bordi frontale e posteriore esattamente eguali – ma appare distorta perché il bordo posteriore sembra troppo lungo. Normalmente, l'immagine retinica del suo bordo più lontano, dovrebbe risultare più corta di quella sul fronte – anche se sappiamo, o assumiamo, che la base in questione è rettangolare. Osservata direttamente, questa non apparirebbe distorta e sia il fronte che il retro apparirebbero della stessa lunghezza, malgrado la contrazione geometrica dovuta alla distanza. Il disegno è esente da effetto prospettico – ma l'apparato cerebrale dell'osservatore applica quella che di norma sarebbe un'appropriata correzione per questa contrazione e, come risultato, il disegno produce una violenta distorsione. Questa deve essere una strategia ovvero un'illusione conoscitiva, dato che la distorsione segue la conoscenza dell'oggetto.

Illusioni generate dal fallimento nel derivare ipotesi oggettuali da modelli.

A scopo di esperimento vengono realizzate alcune serie di fotografie relative ad un singolo oggetto, rappresentato da trattini a semi-tono (prodotti elettronicamente, con un sistema di campionatura casuale) di modo che ciascun trattino fornisca un'informazione desunta dall'oggetto. Questo viene riconosciuto quando vi è un sufficiente numero di trattini – punti-dati – a formare informazioni sufficienti per la scelta di una plausibile ipotesi percettiva. Di conseguenza, se l'oggetto risulta indecifrabile, saranno necessari altri punti. Questo è esattamente quello che ci saremmo aspettato. Si può verificare che prima che sia stata scelta l'ipotesi *corretta* (percezione), vengono selezionate molte ipotesi non corrette, scelte a caso (ma anche percezioni), spesso transitoriamente. Questo è come il ben noto effetto delle facce intraviste nel fuoco; ed anche come gli animali, parti di persone e così via, che individuiamo nell'esperimento delle macchie di inchiostro di Rorschach. Molto probabilmente, un notevole numero degli effetti evocativi della pittura astratta e solo di parte di quella rappresentativa, sono correlati a siffatta capacità del sistema visivo di selezionare, in forma di tentativi, ipotesi ed aspetti di ipotesi. Ciò può dare una grandissima ricchezza di esperienza. L'artista probabilmente gioca sulle ipotesi sommerse – evocandole con forme di raffinata selezione – per farci vedere più di quanto si presenti dinnanzi agli occhi.

Illusioni generate da leggi fuorvianti.

Questa costituisce una vastissima categoria di illusioni. L'attualità può essere soltanto *letta* o *descritta* in termini del passato; ma poiché le cose mutano, le generalizzazioni (basate su istanze), sono destinate a divenire improprie. È solo un'ipotesi molto *generale* che descrive le *invarianti di alto livello* le quali possono rimanere appropriate nonostante i cambiamenti. Non riteniamo che le ipotesi percettive siano di questo tipo ad *alto livello* – esse sono le prerogative della scienza. Di qui l'importanza collegata alle leggi di tipo più generale possibile, ed alle ipotesi più fondamentalmente possibili. Ma persino queste richiedono assunzioni improntate ad estrema Uniformità della Natura: alcuni aspetti devono essere ritenuti costanti. (Ad esempio, se la velocità della luce fosse variata dall'inizio della vita

dell'Universo, gran parte della teoria della relatività, e la generalizzazione di Hubble(6) relativa all'Universo in espansione con spostamento verso il rosso, andrebbe rivista.). Per le illusioni percettive correlate, possiamo prendere in considerazione tutti i casi per i quali assumiamo, dal passato, che qualcosa costituisce un fenomeno allorché in effetti non rappresenta più il fenomeno – di qui la percezione delle cose da parte degli anziani.

Un divertente esempio si presenta quando si è alla guida di un'auto: se si preme il pedale dell'acceleratore senza accorgersi che il cambio è in posizione di folle, l'auto può dare l'impressione di *rallentare* quando avrebbe dovuto invece *accelerare*. Qui il contrasto con l'aspettativa del passato ha generato un'illusione. Un effetto simile può essere sperimentato su una *scala mobile* che in realtà è ferma – può riuscire abbastanza difficile salirvici, poiché si rimane *ingranati* con il suo movimento. Guardando ad un'immagine postuma come ad un oggetto, si determina il chiaro caso di uno stimolo sensoriale realmente singolare che viene accettato come se fosse normale, e accettato come se segnalasse un inesistente oggetto dello spazio. Se si muovono gli occhi, questo oggetto illusorio, si muove con gli occhi, nel più improbabile dei modi. Una volta che si sono venute a stabilire false generalizzazioni, queste possono dar luogo ad illusioni bizzarre, che, ovviamente, possono risultare improbabili – o persino chiaramente impossibili.

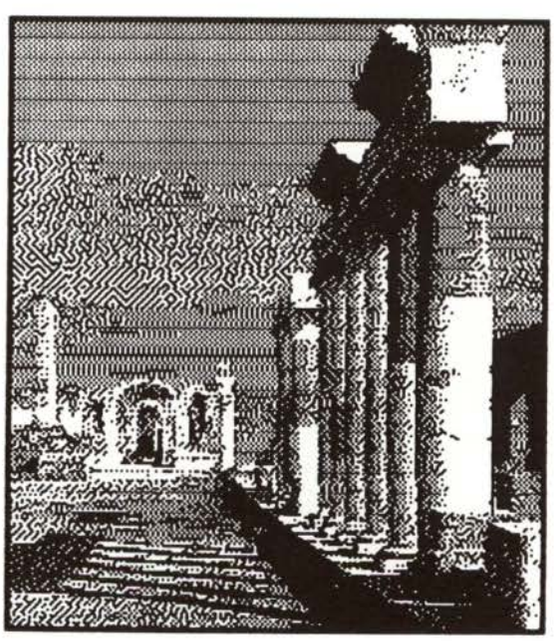
Molte illusioni nella magia, sono probabilmente di questa specie: anche nel volo, o in ogni abilità per le quali vengono assunti come adatti i metodi del passato ma che in effetti non sono più metodi appropriati alla situazione del presente. Queste illusioni possono non essere dovute a limitazioni del sistema nervoso: devono verificarsi in ogni sistema concepibile, biologico o meccanico, che formuli decisioni su dati derivati dal passato.

Nella scienza, le ipotesi vengono confermate o rifiutate secondo un complesso tessuto di probabilità interattive. Una nuova osservazione, ovvero un fatto o un'ipotesi, possono cambiare la probabilità di accettazione o di rifiuto in modi raffinati, e talvolta con influenze che coprono vasti spazi del campo concettuale della scienza. Le classificazioni tradizionali della scienza, nella fisica, chimica, geofisica, fisiologia e così via dicendo, possono nascondere gli effetti a lunga portata delle scoperte e delle idee.

Riteniamo che i dati sensoriali svolgano interazione secondo le loro probabilità condizionali? Riteniamo che le abilità apprese (o forse le strutture del linguaggio) impongano freni alla suddetta interazione, forse simili agli effetti della struttura della scienza? Queste sono domande di ampia portata che in questa sede possiamo soltanto sfiorare. Ma dobbiamo chiederci se gli effetti interattivi della percezione debbano essere considerati in termini di interazione fisiologica – o se sono correlati alle probabilità di specifiche situazioni oggettuali.

La teoria classica della percezione che ha posto l'accento sui fenomeni interattivi è quella Gestalt. Le interazioni Gestalt, e le tendenze verso forme preferite, vennero attribuite alle attività dinamiche dei supposti *campi cerebrali*. Gli effetti dei campi corticali furono postulati per far riferimento alla tendenza *alla chiusura* nell'accettare forme percettive *semplici* e colmare le segmentazioni attraverso limiti di contorno ed intervalli di tempo. La teoria Gestalt rappresenta così quello che noi definiremmo una teoria del tipo *meccanismo* (benché i teorici Gestalt non gradirebbero affatto la parola *meccanismo*, in quanto sembrerebbe loro che essa implichi una mancanza di quella fluidità alla quale fanno riferimento con enfasi). Con termini nostri, si tratta di una spiegazione del tipo meccanismo, perché i supposti freni alla generazione di questi fenomeni percettivi, sono attribuibili alla loro nozione circa le attività fisiche e cerebrali, piuttosto che a quello che l'attività rappresenta. Ma potremmo arguire che le forme semplici tendono ad essere accettate per la stessa ragione per la quale le ipotesi semplici sono selezionate nella scienza – per mezzo del principio del rasoio di Occam(7). Se le interazioni percettive sono correlate alle variazioni delle probabilità, secondo la mutevole evidenza dei dati, allora sarà possibile guardare agli *effetti Gestalt* in un modo del tutto diverso.

Considerando in questo modo la questione della riconoscibilità di un viso, di un edificio ovvero di un albero, si devono assegnare le probabilità relative al fatto che le varie componenti possano appartenere o possano essere parte di qualche cosa. Così un cerchio può essere la Luna, l'iride dell'occhio, la ruota di un'auto; ovvero può essere parte di un grandissimo numero di altri oggetti. Se il cerchio ha la tessitura o il colore o altri aspetti caratteristici di una specie di oggetto ma non di altri, dovremo aspettarci una preferenza per, diciamo, la Luna piuttosto che per l'occhio. Se si tratta di un piccolo cerchio, allora l'ipotesi di un occhio può essere favorita, diciamo, rispetto a

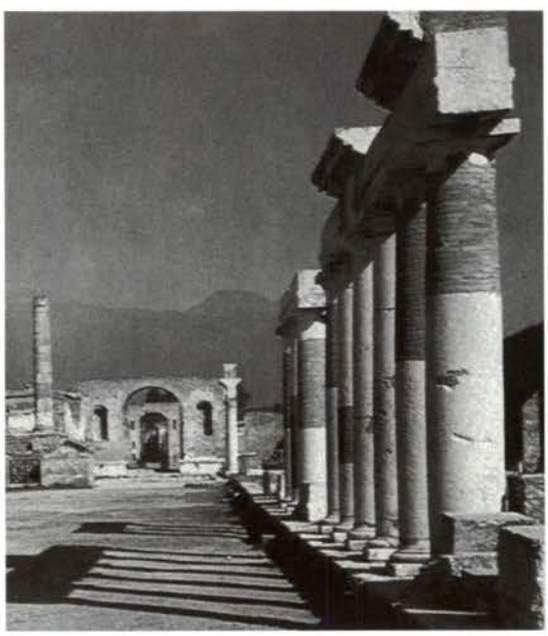


N.d.T.
(6) L'ipotesi di Hubble dello spostamento verso il rosso – red shift – dell'Universo in espansione, è relativa al sistematico spostamento verso lunghezze d'onda di maggiore ampiezza delle linee dello spettro delle galassie distanti ed anche di una porzione continua dello stesso spettro. Le volecità delle nebulose crescono in misura lineare con la distanza. Edwin Powell Hubble (1889-1953), accumulò notevoli conoscenze di cosmologia presso gli osservatori nordamericani di Mount Wilson e Palomar. La sua teoria del redshift, risale al 1929.

(7) Occam, William (1290-1349), filosofo e teologo inglese. Monaco francescano; insegnò ad Oxford. Fu sostenitore di un empirismo radicale secondo il quale sono reali solo gli esseri individuali. Le nozioni generali (o universali) dell'uomo hanno solo un valore logico – sono termini simboleggianti le cose individuali. La teoria del rasoio si riferisce all'eliminazione da parte del filosofo, in base al principio della semplicità della natura, di tutte le entità astratte con le quali i pensatori medievali avevano reso complicato lo studio della natura stessa.

quella di un'auto, una ruota o della Luna... e così via dicendo. Dovremmo altresì considerare le relazioni delle proprietà interattive tra gli oggetti. Ad esempio, un cerchio appoggiato su quello che può essere accettato come suolo, è più probabile che sia una ruota piuttosto che un occhio, ovvero la Luna. Se il Sole splende, l'ipotesi della Luna svanisce, ma potrebbe ancora trattarsi di un occhio o di una ruota. I disegnatori di vignette fanno uso di probabilità condizionali per consentirci di *riconoscere* oggetti in pochi scarabocchi inseriti in un contesto che li rende probabili (così come un ristorante può essere indicato dalla figura di un'ellisse che dovrebbe essere accettata come raffigurante un piatto: ed allora si comprende la storiella scherzosa dell'uomo con la mosca nel suo brodo, o qualsiasi cosa). Magritte usava il nostro intreccio di precedenti probabilità a grande effetto, dipingendo in forma realistica ma con la combinazione di oggetti estremamente improbabili, talvolta con relative improbabili scale. Tali improbabili giustapposizioni creano un effetto di disturbo e talora di stimolazione.

È possibile far sì che un oggetto o un disegno sembrino qualcos'altro, aggiungendo un diverso oggetto o parte di un oggetto per variare la probabilità dell'originale – quest'ultimo potrebbe sembrare completamente diverso, malgrado che il suo modello di stimolazione non sia stato alterato. Un esempio è fornito dal disegno di un albero, nella Fig. 12. Adesso osserviamo la Fig. 13. Si tratta dello stesso disegno dell' *albero* ma sembra completamente diverso. Il dato aggiunto – la sigaretta – trasforma *l'albero*. Quando è irrilevante, ciò che viene accettato come dato può generare un cambiamento illusorio come l'erronea identificazione degli oggetti. Benché ciò sembri uno stato a malapena considerato dagli autori che hanno scritto sulla percezione umana (per quale motivo le percezioni non vengono generalmente considerate come ipotesi?) le probabilità condizionali sono state incorporate in un importante programma per il computer, volto al riconoscimento degli oggetti. Il computer, come noi, perverrà a risposte sbagliate in situazioni atipiche.



Per un caso della scienza esattamente parallelo, consideriamo i dati delle buche dei pali di antiche capanne ritrovate nello *scavo* archeologico indicato nella Fig. 14. In questo esempio i dati riguardano le probabilità di ipotesi alternative (capanne a pianta circolare, capanne a pianta quadrata e così via) e le ipotesi riguardano quello che verrà accettato come dato. Alcune delle buche sono rifiutate da entrambi i gruppi di archeologi – possiamo ritenere, per la ragione che non si adattano ad alcuna delle ipotesi preferite.

Tutto ciò sembra essere il nocciolo della percezione, come lo è della scienza. Le probabilità condizionali forniscono validità ai dati: ma sembra che questo stesso potere possa generare sistematici e spettacolari errori nella scienza ed illusioni, nella percezione. Gli autori Gestalt ponevano l'accento su importanti fenomeni percettivi, ma, se siamo nel giusto, la loro interpretazione di questi fenomeni (incluse le loro leggi relative alla *chiusura,* alla *figura buona,* al *fato comune* e così via) sono fondamentalmente erronee. Esse non rappresentano proprietà dei campi cerebrali; sono caratteristiche di ipotesi percettive generalmente appropriate agli oggetti.

Illusioni generate dall'erroneo collegamento di dati e di fatti.

Esistono deduzioni percettive derivate da ciò che è probabile – l'illusione dimensione-peso ne è un esempio. In circostanze insolite, questo genera deviazioni dal fatto per creare illusione. Nelle fotografie, ciò viene a far parte della capacità della linea o della forma chiaroscurata a rappresentare oggetti.

Vi è ora una considerevole evidenza circa le procedure di preordinamento per la derivazione di dati dai segnali sensoriali, poiché questi non sono forse mai adeguati al controllo del comportamento ovvero a dare percezione per via diretta. Allorquando queste procedure vengono eseguite, in talune condizioni, esse possono persino produrre falsi collegamenti all'interno dei dati e tra questi ed i fatti persino fondamentali come i contorni, spesso considerati come *mattoni* primari della percezione. Il collegamento è così complesso che è difficile trovare un qualsiasi mattone fondamentale.

È probabile che molti dei *principi Gestalt dell'organizzazione* costituiscano sintomi del modo in cui i dati sono collegati per formare ipotesi: Possiamo ora tornare a guardare queste dimostrazioni ed esaminarle alla luce di una filosofia molto diversa. Non vorremmo più affermare che l'analisi della percezione sia impossibile, piuttosto cerchiamo concetti adeguati all'evidenza della struttura della percezione – di come i dati sono colle-

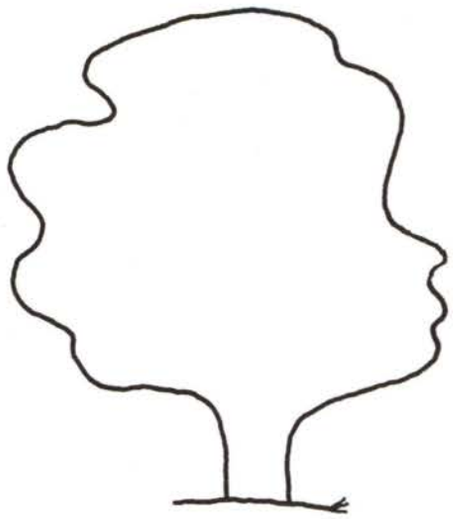


Figura 12
In alto a sinistra
Si tratta di un albero?

gati – così da poter analizzare essa stessa ed i suoi ordinamenti.

Forse dobbiamo attendere gli sviluppi della scienza dell'Intelligenza della Macchina (ovvero Intelligenza Artificiale) per acquisire più profonda conoscenza della logica (valida o fallace) delle funzioni cerebrali. Se sarà così, le macchine ci insegneranno umanità.

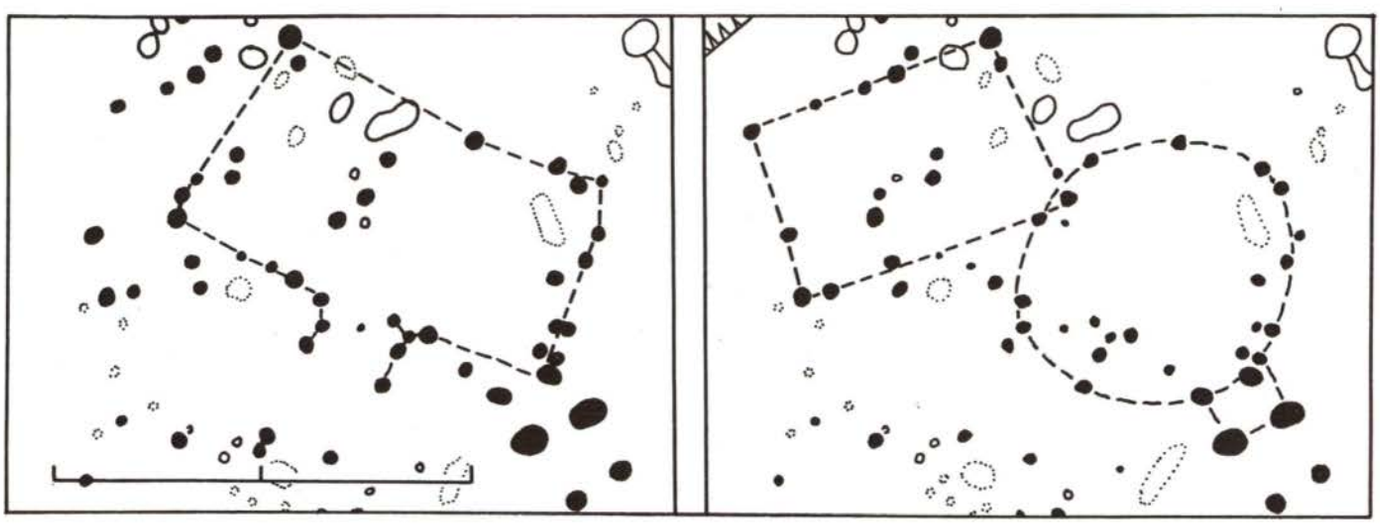
Illusioni generate dall'ambiguità.

I dati inadeguati producono quella che viene spesso indicata come *ambiguità percettiva*. Poiché tutti i dati sono aperti a molte interpretazioni, il problema diviene: Perché la percezione è sempre *non*-ambigua? I dati che permettono ipotesi alternative di probabilità all'incirca equivalenti, generano *spontanee deviazioni di percezione*. Questo è un *fenomeno percettivo* particolarmente interessante, che evidenzia l'importanza della selezione delle ipotesi sulla base delle loro probabilità relative. In questo senso, la percezione è una specie di scommessa.

Gli stessi dati sensoriali possono risultare ambigui in alcune situazioni, in altre non lo sono – perché il contesto generale può influenzare le precedenti probabilità. È abbastanza facile combinare situazioni dinamiche ambigue, e queste risultano specialmente interessanti. Ad esempio, gli oggetti visti mediante l'ombra proiettata, mostrano ogni sorta di effetti interessanti, poiché le informazioni superflue (tessitura superficiale e così via) vengono eliminate con la tecnica della proiezione delle ombre. In primo luogo, *il verso della rotazione* è sempre ambiguo. Qualsiasi figura vista nella sua tridimensionalità, cambierà spontaneamente il suo apparente verso di rotazione (generalmente con l'intervallo di pochi secondi) mentre la figura stessa si alterna in profondità. Ora, a parte ciò, quello che si verifica per gli oggetti *familiari* è completamente differente da quanto succede per quelli *non familiari* – per i quali può non essere disponibile un'adeguata ipotesi percettiva. Supponiamo di cominciare con un oggetto familiare, diciamo un cubo di filo metallico. Lo si vede ruotare come un *oggetto rigido* in quanto vengono mantenute le lunghezze apparenti dei lati e gli angoli degli spigoli. Se asportiamo alcune parti del cubo, diciamo un lato dopo l'altro, esso diventa sempre più labile. Ad esempio un paio di facce unite da un singolo lato, non rimarranno parallele ma appariranno frequentemente come se stessero ruotando separatamente, o scorrendo l'una attraverso l'altra in diversi modi. Un singolo lato, ad angolo retto rispetto ad una singola faccia, oscillerà attorno allo spigolo al quale è rigidamente collegato, mentre la faccia si dispone normalmente all'osservatore: Ma ciò non avviene per lo stesso lato del cubo completo o quasi completo. Di conseguenza quanto si verifica non è una semplice questione di geometria, ma piuttosto di quali assunzioni vengono adottate per l'accettazione delle stimolazioni sensoriali come dati per sostenere, modificare o rifiutare le ipotesi.

Queste dimostrazioni rivelano alcune delle assunzioni *unitarie* che vengono accettate per la costruzione di ipotesi oggettuali, su dati limitati. Troviamo per esempio, che: *il parallelismo è conservato*, mentre *l'angolo retto non lo è*. Questo fatto ci porta, comunque, ad una conclusione per qualche verso differente (la struttura logica ed i *blocchi costruttivi* delle ipotesi percettive) circa la

Figura 14
In basso
Buche archeologiche per pali e ipotesi circa la forma delle capanne. I punti neri rappresentano buche rinvenute a seguito di scavi archeologici. Alcuni di questi potrebbero essere buche per pali, altri tane di conigli o qualsiasi cosa. Un gruppo di archeologi seleziona un insieme di buche ritenendole evidenze di buche per pali, – e rigetta le altre come irrilevanti. Provvedono, quindi, a collegare le loro posizioni per formare ipotetiche capanne primitive. Altri archeologi selezionano differenti buche come dati e formano altre ipotetiche capanne. In questo caso ci rendiamo conto dell'influenza delle ipotesi su quelli che vengono accettati come dati. Si tratta di un procedimento a due vie – nella scienza e nella percezione. È un modo ben diverso di interpretare alcuni effetti Gestalt, relativi al raggruppamento percettivo dei punti, ed è fondamentale per il nostro approccio; poiché consideriamo le percezioni essenzialmente ipotesi.



quale, al momento sappiamo molto poco. Siffatte ambiguità dinamiche sono molto suggestive per indicare quali dati sono necessari per stabilire ipotesi percettive di oggetti familiari (come il cubo); e per scoprire le assunzioni di base che sono (almeno nel tentativo) accettate per la costruzione e la selezione di tutte le ipotesi percettive ottenibili dai dati.

Consideriamo la fig. 16. Essa somiglia ad un paio di facce, in qualche modo diverse, l'una dall'altra. Più precisamente, l'immagine sul lato destro è la foto di una faccia normale; ma quella sulla sinistra non lo è – Si tratta del *calco* della faccia sulla destra. Il naso *non sporge* come sembra; è concavo, essendo rientrante. Questo effetto estremamente potente, si mantiene sotto ogni specie di illuminazione e nei confronti di una grande quantità di contrastanti dati sensoriali – a condizione che una sola delle ipotesi sia estremamente probabile. Ciò può essere dimostrato in modo migliore non con una fotografia, diciamo di una faccia concava; ma con il calco stesso. Esso continua a sembrare una faccia finché non vi ci si avvicina, osservandola con entrambi gli occhi per ottenere un'informazione tridimensionale completa, della profondità. Allorquando l'osservatore si allontana di poco, essa tornerà ad apparirgli una normale faccia – benché egli sappia che è concava. In questo modo scopriamo che la conoscenza intellettuale di siffatte situazioni percettive, non sempre corregge gli errori percettivi. In altre parole, la produzione di ipotesi percettive non è sotto il controllo intellettuale. Se la faccia di cui è stata percettivamente invertita la profondità viene ruotata – la faccia stessa, in apparenza, *ruota nella direzione sbagliata*. La parallasse del movimento viene interpretata secondo la falsa ipotesi – per generare una spettacolare illusione, che è improbabile. Così i dati relativi alla profondità della tessitura derivati dalla faccia concava, e la conseguente illusione del movimento, sono inadeguati come dati per la correzione delle ipotesi – in confronto con l'estrema improbabilità che una faccia sia concava.

Forse, in senso logico, confonde affermare che i dati siano ambigui. Sono le ipotesi che possono essere ambigue, quando i dati non sono sufficienti a decidere tra ipotesi alternative. Se i dati disponibili saranno sufficienti o no, dipenderà

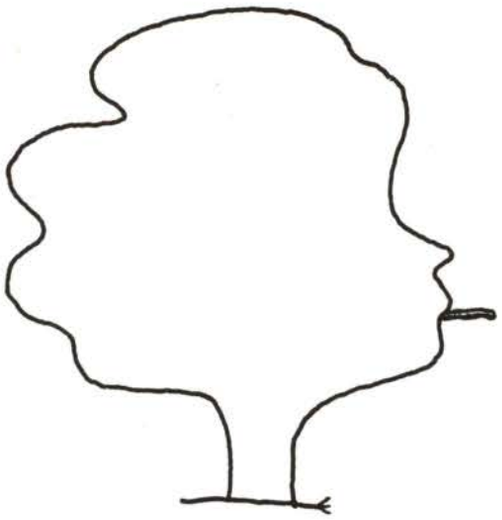


Figura 13
In alto a destra
Lo stesso albero ma con un'aggiunta che cambia le sue probabilità di essere semplicemente un albero. Le probabilità condizionali sembrano non aver ricevuto sufficiente attenzione nella teoria della percezione; ma sono, almeno intuitivamente, apprezzate dagli artisti, e potrebbero rappresentare la fonte di molte illusioni. Le probabilità condizionali sono coinvolte nel riconoscimento dell'oggetto per mezzo del computer e sono di primaria importanza per quanto riguarda la correlazione dei dati alle ipotesi.

dalle precedenti probabilità delle ipotesi alternative di procedere nella selezione. Vi sono molti interessanti ed importanti effetti correlati alla concorrenza ed allo scambio spontaneo tra le ipotesi alternative. Un esempio è mostrato nella Fig. 27. Questi fenomeni forniscono un'opportunità unica per stabilire ciò che è associato alle ipotesi percettive, e ciò che è associato ai dati (o agli stimoli), monitorizzati dai sensi; per cui, con lo scambio delle ipotesi, i dati restano gli stessi, ma la percezione cambia – così ogni cambiamento deve essere *centrale* e legato alle specifiche ipotesi. Questo ci ricorda degli archeologi e delle loro buche dei pali. Le ipotesi influenzano i dati, e i dati influenzano le ipotesi. Lo scambio spontaneo, o il prendere in considerazione le ipotesi alterntive, consente di eseguire le rivalutazioni. Questa è essenzialmente la qualità dinamica della percezione – e (al suo meglio) della scienza.

Illusioni generate dal paradosso.

Qui abbiamo due classi di illusione: (*a*) quelle prodotte quando si presenta una selezione di dati incompatibili (così come nelle immagini impossibili, tali come nella Fig. 17, e (*b*) quelle do-

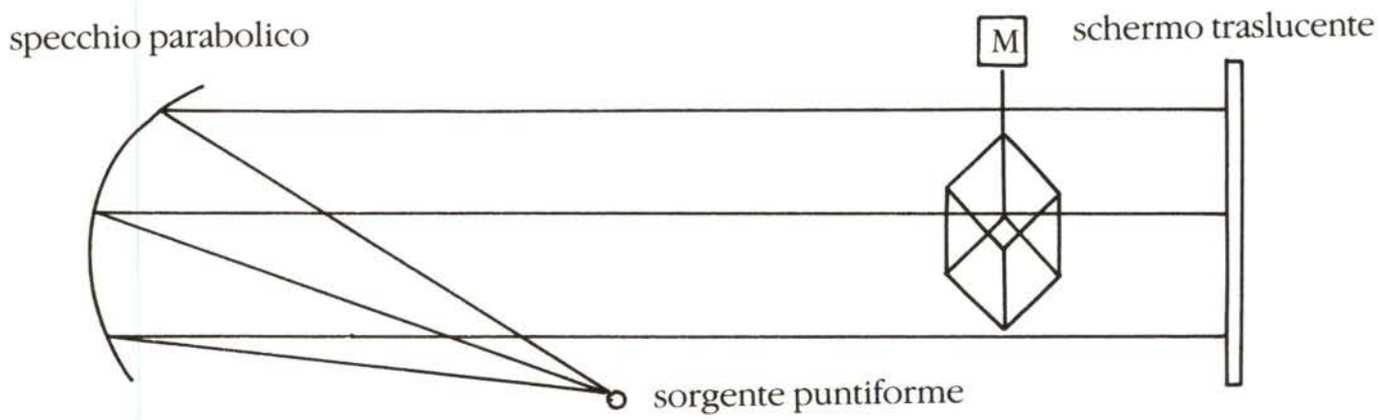
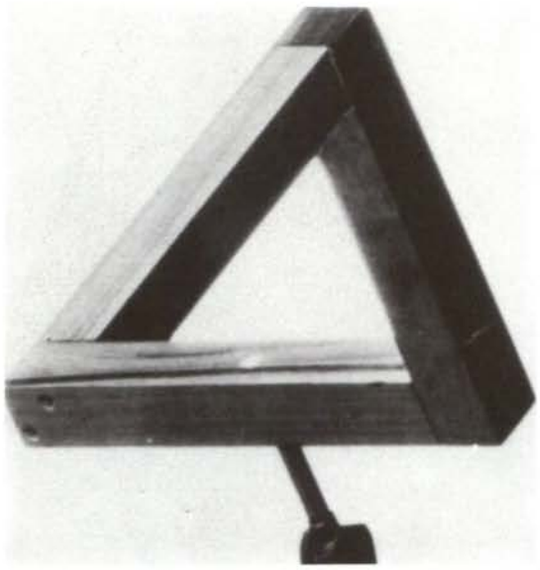


Figura 15
In basso
Apparato per la proiezione di oggetti rotanti o fissi senza la prospettiva. Il grande specchio parabolico trasforma la luce prodotta da una sorgente puntiforme, in raggi paralleli, per eliminare cambiamenti dimensionali con la variazione della distanza. Possiamo, quindi, osservare i cambiamenti di scala determinanti dalla distanza assunta, ed investigare in quale modo la forma viene mantenuta durante la rotazione, con o senza le trasformazioni prospettiche.



vute a selezioni paradossali fatte dall'osservatore da una situazione non preventivamente selezionata (tale come *l'oggetto del triangolo impossibile* della Fig. 18. La preselezione dei dati costituisce la prerogativa dell'artista e dello scienziato – questo è quanto essi hanno in comune tra loro. La prima forma di percezione paradossale è molto più comune della seconda – almeno nella nostra società nella quale gli artisti e gli scienziati sono così attivi!

(*a*) *come presentazione.* I paradossi possono essere creati con la giustapposizione dei dati, nei modi che di norma non si verificherebbero – o potrebbero non verificarsi. I paradossi possono essere creati anche con la combinazione di concetti (o parole) in modo bizzarro. Ad esempio, se dovessi dire *vi è un cerchio quadrato,* si potrebbe ritenere che io abbia commesso un errore verbale, che io non conoscevo la lingua, ovvero che io usavo queste parole in modo irresponsabile o provocatorio. Analogamente, se un disegno appare paradossale, ciò potrebbe essere dovuto al fatto che l'artista ha messo insieme segnali di profondità incompatibili ovvero altri aspetti che non potrebbero verificarsi per oggetti naturali. La figura del triangolo *impossibile*, inventata da Lionel e Roger Penrose, costituisce, probabilmente, il più semplice ed il più chiaro esempio di un siffatto paradosso visivo. L'artista Maurits Escher ha fatto uso estremamente efficace di questi effetti (supposto che turbino) nel suo straordinario lavoro grafico. Riteniamo che il mondo degli oggetti non possa essere esso stesso paradossale. Per conseguenza, i paradossi sono caratteristiche delle *descrizioni* – inclusi i disegni e le ipotesi – non già della realtà.

Se scopriamo che un'ipotesi scientifica è paradossale, è un segno sicuro che essa deve essere riconsiderata e ristrutturata, poiché non può rappresentare una realtà. Ma consideriamo adesso un oggetto percettivamente paradossale. Un artista può combinare aspetti paradossali in maniera stravagante, per creare un paradosso; ma se l'oggetto non è adulterato (non dipinto, visto in condizioni di luce normale e così via) ed appare paradossale – allora, malgrado che la percezione possa essere paradossale, l'oggetto può non essere paradossale. Ciò significa che abbiamo selezionato un'ipotesi paradossale, *per un oggetto non paradossale.* Non si tratta di una *presentazione* paradossale di dati, ma piuttosto della produzione di un paradosso interno derivato da dati liberamente scelti dal mondo esterno.

(*b*) *come selezione.* L'oggetto triangolo (mostrato nella fotografia della Fig. 18 appare impossibile. (Per ottenere l'effetto completo e per evitare confusione, si dovrebbe considerare l'oggetto in sé piuttosto che la sua immagine.) Da una posi-

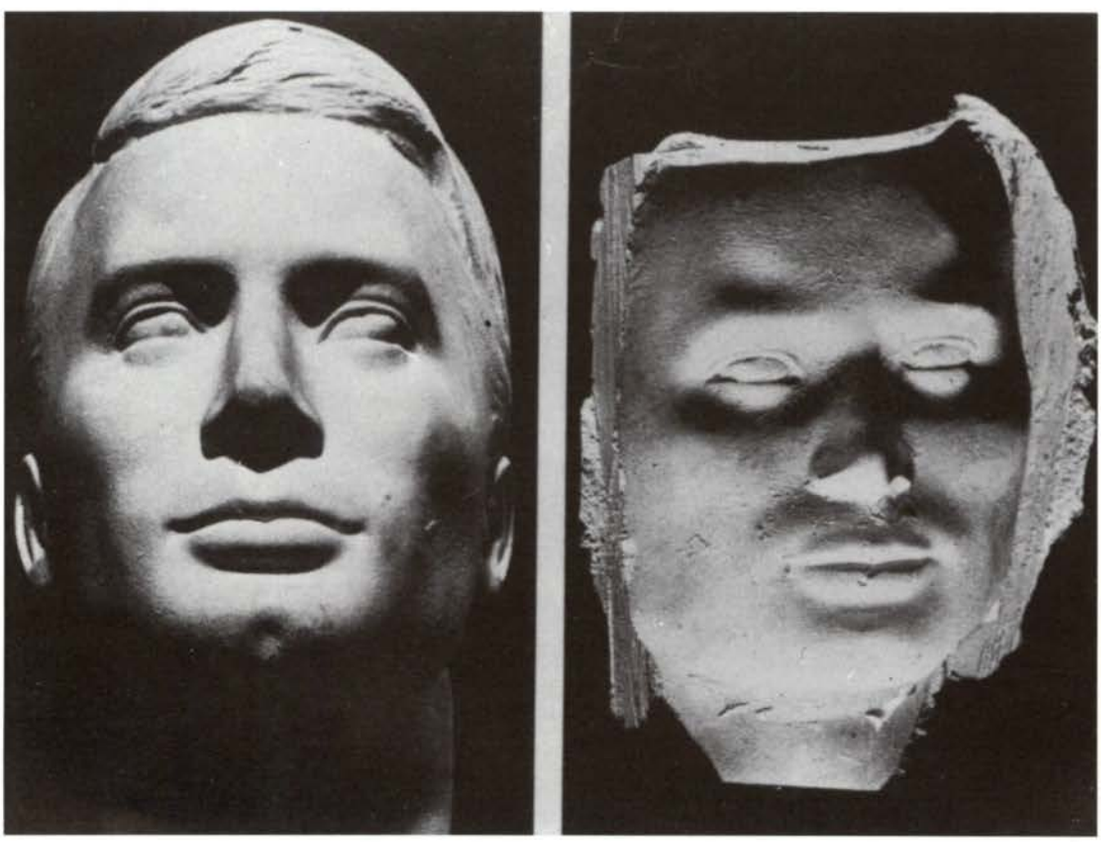


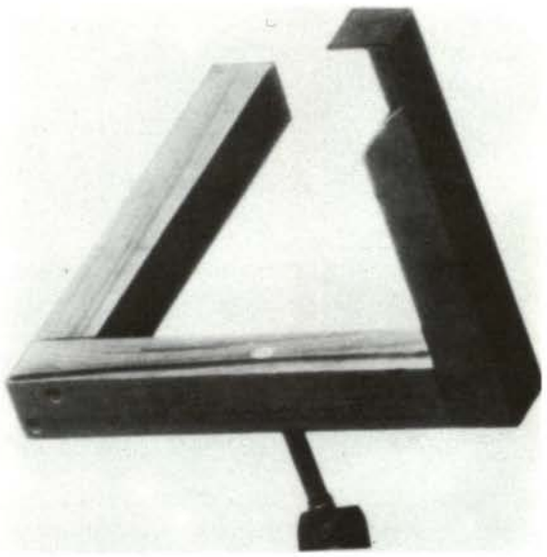
Figura 18
In alto a sinistra
Oggetto paradossale. L'immagine fornisce all'occhio lo stesso tipo di informazione di quella relativa al triangolo impossibile di Penrose. Si tratta comunque, della fotografia di un oggetto reale – che di per sé appare insolito! La soluzione è indicata nella Fig. 19 successiva. Il paradosso è generato dalla falsa assunzione – che i tre bordi dell'oggetto siano giacenti su di un unico piano.

Figura 16
In basso a sinistra
Una faccia normale, a sinistra, ed una sua replica concava o calco, a destra. Entrambe appaiono come facce normali. La probabilità delle facce concave è così bassa che risulta piuttosto impossibile osservare il calco correttamente.

zione di considerazione critica, l'oggetto appare come un triangolo *impossibile* ad iniziare da dove le due estremità si uniscono otticamente. Sembra, infatti, identico al triangolo impossibile di cui alla Fig. 7. Ne consegue, quindi, che qui abbiamo la soluzione dell'immagine paradosso della Fig. 18 – ma la soluzione non viene scoperta dal sistema delle ipotesi percettive. Anche se sconosciuta, una volta scoperta, la soluzione valida non è disponibile per il generatore di ipotesi percettive – poiché la percezione resta paradossale nonostante che per via intellettuale si sia pervenuti alla conoscenza di una soluzione del paradosso, perfettamente ragionevole.

Dall'attento esame delle Fig. 18 e 19, possiamo scoprire perché la nostra ipotesi percettiva è paradossale. *Riteniamo*, non correttamente, che le due estremità dell'oggetto giacciano alla stessa distanza, e siano tra loro, in contatto, *soltanto* otticamente. Avendo accettato questa unica assunzione falsa che è difficile o impossibile da contrastare – generiamo immediatamente una percezione paradossale, poiché gli altri aspetti, così come la prospettiva degli spigoli, risultano incompatibili con i lati che giacciono sullo stesso piano. Quello che accade è che un oggetto tridimensionale viene *descritto* percettivamente con l'assunzione di un'ipotesi per la quale esso si troverebbe su una *superficie*, bidimensionale (*piano*), fatta eccezione per gli spigoli, che ricevono un trattamento tridimensionale, incompatibile con la complessiva spiegazione bidimensionale. Ciò genera il paradosso percettivo che resiste alla nostra comprensione intellettuale.

Dovremmo sentirci imbarazzati nel rendere ragione di questa accettazione percettiva di un'ipotesi ovviamente impossibile (deve essere estremamente improbabile se è, o appare improbabile!) e della selezione di un'ipotesi della *faccia altamente improbabile*, anziché del corretto calco concavo, malgrado una grande quantità di dati sensoriali (gradienti di tessitura, differenziazioni di stereotipi e così via) che suffragano il corretto ma improbabile calco in contrapposizione con la probabile ma falsa faccia che si vede. (Questa situazione può apparire per sé stessa, intellettualmente paradossale!)



Consideriamo ancora che, nel campo scientifico, le ipotesi siano costruite e selezionate seguendo regole di deduzione, da dati ed assunzioni più o meno unitarie. Adesso, una volta accettata un'assunzione falsa, ancorché generi quello che può apparire paradossale, può essere difficile o talvolta impossibile rimpiazzarla con qualcosa di meglio. Lo stesso può verificarsi se vengono accettate specie improprie di deduzioni di insieme di

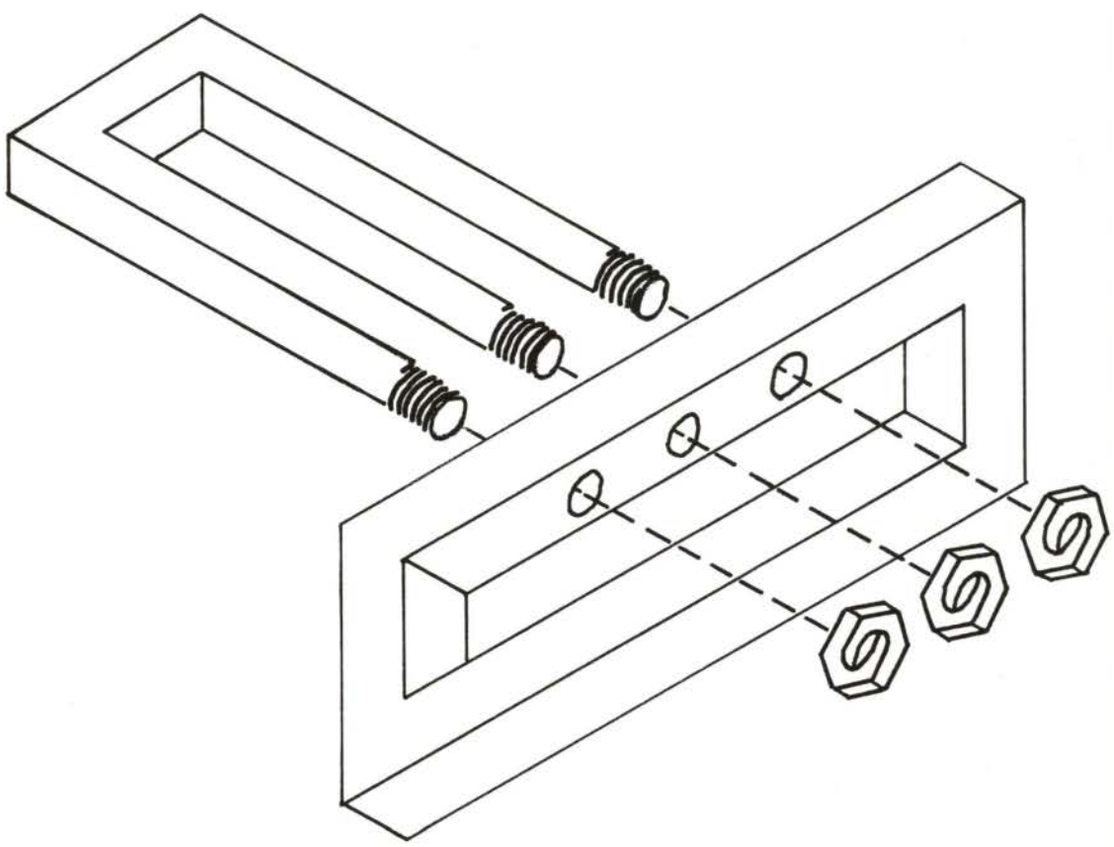


Figura 19
In alto a destra
La verità della Fig 18 precedente è rivelata! Ma nonostante il fatto di conoscere la predetta verità, non siamo in grado di distinguerla. La Fig. 18 sembra ancora strana.

Figura 17
In basso a destra
Si tratta di una figura lineare semplice ma sembra estremamente confusa. La confusione è del tipo conoscitivo. Non siamo in grado di formare ipotesi consistenti circa l'identità degli oggetti rappresentati dalle linee in questione.

regole per la costruzione di ipotesi. Così, sicuramente, possiamo comprendere la ragione per la quale l'ipotesi della faccia venga accettata perché è probabile, mentre quella relativa al triangolo impossibile venga accettata nonostante sia chiaramente improbabile. La normale osservanza della regola derivabile dal tipico aspetto del calco somigliante alla faccia (i contorni degli occhi, il naso, la bocca, etc. che sono molto simili a quelli di una faccia normale) genera un'ipotesi della faccia; il che è talmente probabile, nei confronti di quelli *contrari,* che i dati di contro richiesta (i gradienti della tessitura e così via dicendo) vengono rifiutati poiché insufficienti a giustificare ogni altra ipotesi – inclusa quella vera.

È proprio questo rifiuto di dati che si verifica nella scienza, in casi correlati, e di solito questo è giustificato poiché tutti i dati sono fallibili e perciò dovrebbero essere contestati e talora rifiutati. Si tratta di un altro caso nel quale i dati vengono modificati (o selezionati) dalle ipotesi, *dall'alto verso il basso.*

Nel caso del triangolo impossibile, una singola assunzione falsa – che le estremità *otticamente* in contatto si tocchino fisicamente, e pertanto giacciano alla stessa distanza – genera un'ipotesi percettiva che è paradossale. Evidentemente, il generatore dell'ipotesi percettiva non ha elaborato procedimenti di controllo; così non riusciamo a liberarci da questo paradosso. Possiamo andare oltre e supporre che dipenda in gran parte dal fatto che la percezione è abbastanza grossolana nel generare l'ipotesi che la scienza, con le sue sofisticazioni, si sia sviluppata e si sia dimostrata tanto utile.

Illusioni generate dalla creatività.

La percezione consiste essenzialmente nel presumere oggetti da dati assolutamente inadeguati. Possiamo affermare, quindi, che il comportamento è controllato da *postulati* percettivi piuttosto che direttamente dai *dati sensoriali.* Abbiamo accertato che le ipotesi degli oggetti possono risultare ambigue, distorte o paradossali. Possono essere anche false invenzioni.

Così come abbiamo evidenziato, vi sono molti effetti (quale quello della *faccia vista nel fuoco* e dell'esperimento della macchia di inchiostro di Rorschach) nei quali si possono vedere oggetti *fuggevoli* che non sono presenti. Ciò, invero, accade in una certa misura ogni volta che le figure rappresentano oggetti – facce, navi o qualunque altra cosa – desunti da segni su tela o carta. Il che è essenziale per l'arte grafica. Sarebbe particolarmente interessante se potessero essere sviluppati aspetti visivi apparentemente fondamentali quali i contorni e le differenze di luminosità. Si possono creare dati *illusori* semplicemente stabilendo probabilità abbastanza alte circa il fatto che esse dovrebbero essere presenti?

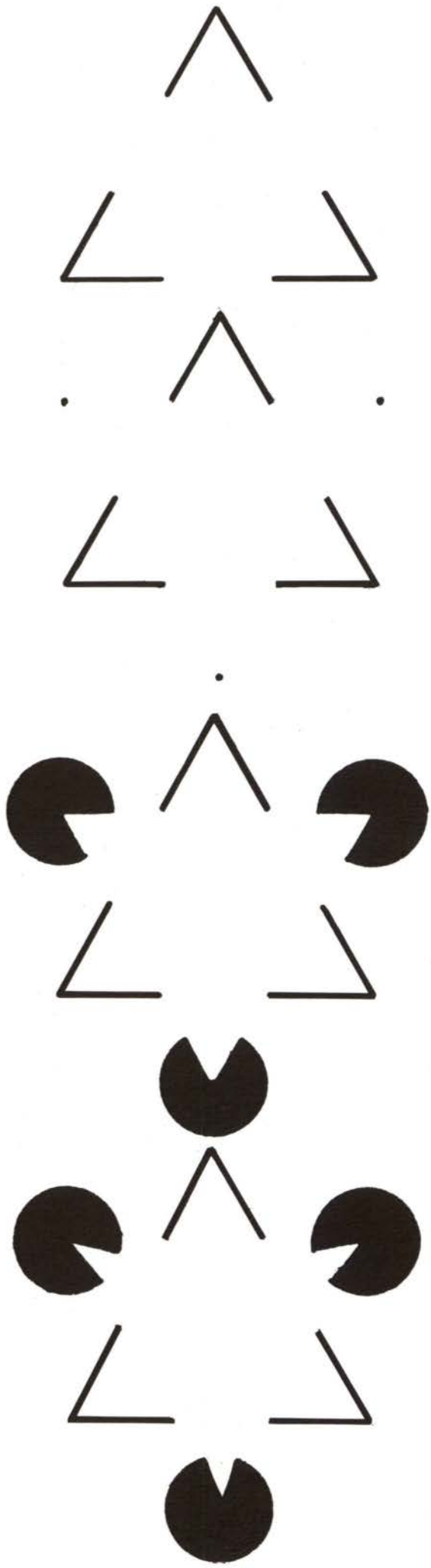


Figura 20
La prima dall'alto
Un triangolo segmentato.

Figura 21
La seconda
Si può intravvedere un indistinto triangolo illusorio i cui angoli toccano i punti e coprono le segmentazioni.

Figure 22 e 23
Il triangolo illusorio è più forte. Il negativo fotografico della figura mostra una forma illusoria più scura dell'oscuro. Sotto: Gli angoli più piccoli dei settori producono una figura concava. Consideriamo questo tipo di illusione come dovuto ad una falsa finzione, postulata per giustificare la segmentazione del triangolo.

Consideriamo le Figg. 21 e 22. L'area a forma di triangolo di elevata luminosità, con contorni netti, è illusoria. Non esistono simili contorni fisici o differenze di intensità. Non sembra che essi siano generati da effetti di contrasto periferico (così come quelli dovuti all'inibizione laterale) ed è difficile supporre che questi contorni siano dovuti alla selezione dei rivelatori delle configurazioni striate (per mezzo dei bordi dei settori, allineati) perché non otteniamo alcun effetto simile a questo con, diciamo, un semplice triangolo rotto, anche se in questo caso vi sono configurazioni allineate. Possiamo generare, analogamente, anche contorni illusori curvi, ma è improbabile che se vi fossero rivelatori di linee curve, essi contorni sarebbero selezionati per mezzo di siffatte configurazioni non allineate. Precedenti autori hanno suggerito, a spiegazione di questi effetti, *la chiusura Gestalt*: ma persino nel caso in cui il suggerimento fosse accettato come *modus operandi,* le figure generate possono avere forme Gestalt povere, tali come è, infatti, quella del triangolo illusorio *concavo* della Fig. 23.

È importante notare che il riconoscimento dell'oggetto richiede la separazione dell'oggetto dal suo sfondo. Ora *l'assenza di parte di uno sfondo atteso* è prova della presenza di un oggetto più vicino che lo maschera.

Può, forse, essere che questi effetti siano dovuti alla presunzione di un oggetto più vicino – sulla base dell'evidenza degli spazi tra le figure, quando questi fossero improbabili?

Un'importante implicazione è che l'assenza di stimoli – quando l'assenza è improbabile – può costituire un dato per la percezione. Questa è in realtà un'obiezione formale al classico paradigma della risposta-stimolo. Rappresenta, comunque, una fondamentale capacità delle ipotesi. Troviamo altresì, che le illusioni da distorsione, di piena forza, possono essere generate mediante aree illusorie, ovvero contorni. Si tratta di una situazione del tipo *meccanismo* o *strategia?* Siffatti fenomeni potrebbero essere cruciali per decidere. Questo è un esempio della capacità delle illusioni come strumenti di ricerca al limite delle nostre presenti conoscenze.

Percezione, illusione e realtà

Se le configurazioni visive apparentemente fondamentali, come i contorni, possono essere generate da ipotesi percettive, dovremmo accettare, con grande precauzione, la nozione che l'attività fisiologica periferica è strettamente correlata al fenomeno percettivo, oppure a troppo comportamento. Questa è (forse sfortunatamente) la conseguenza di un paradigma dell'intera *ipotesi*. Ma se ciò è vero, dobbiamo imparare a vivere con esso.

Abbiamo arguito che le ipotesi percettive possono, come le ipotesi della scienza – essere incerte, ambigue, distorte, paradossali e finte, nel senso che vanno al di là del fatto, talora sino a ge-

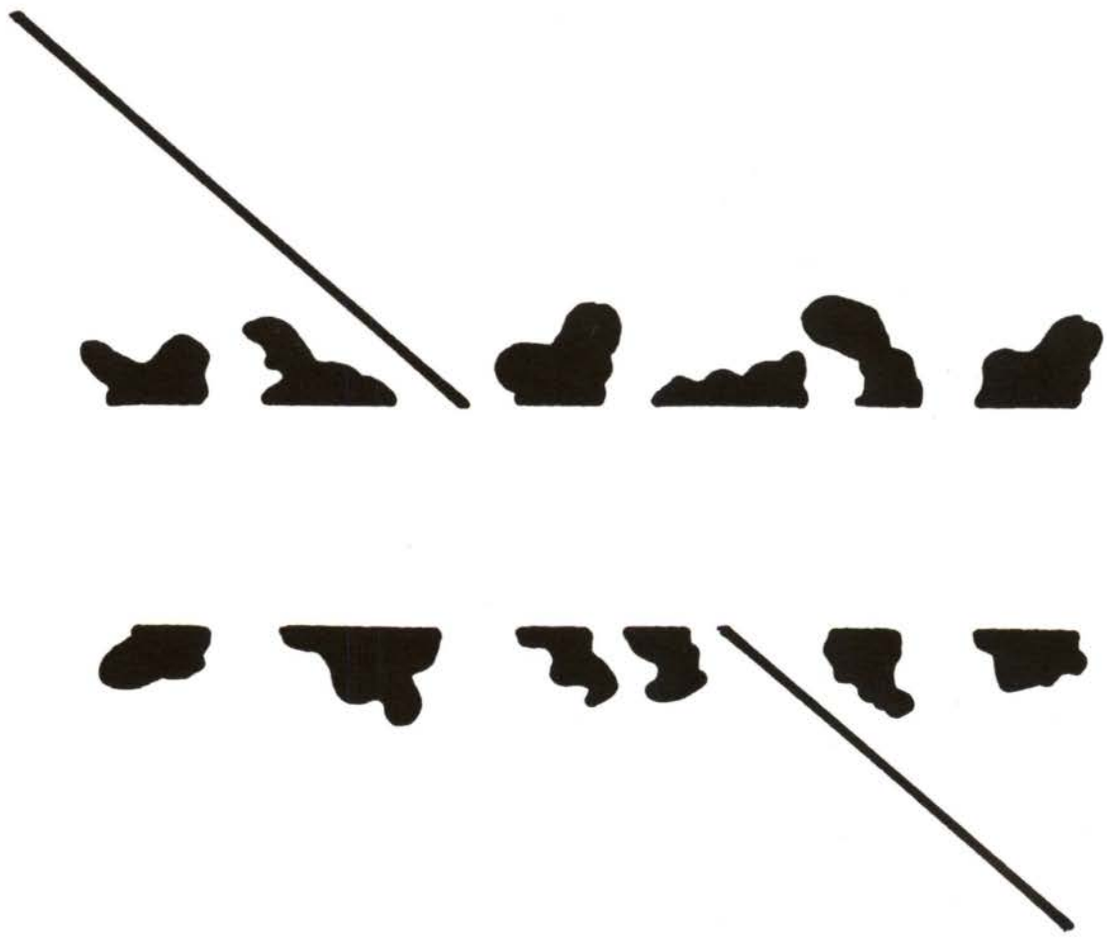


Figura 24
Illusioni da distorsione possono essere prodotte attraverso i contorni delimitanti una figura. A meno che non venga stabilito che queste figure evochino un meccanismo neurale, dimostrante un'inibizione neurale (che in questo caso sembra improbabile), per mezzo di questi effetti viene selezionata una teoria di meccanismo; conseguentemente, esse si sviluppano parallelamente alle illusioni da distorsioni con contorni evidenti. Non occorrono stimoli di contorno affinché le distorsioni in questione si verifichino.

nerare errore. Ma supponiamo che nessuna di queste possa riferirsi alla realtà fisica. I fatti sono o non sono. I fatti rappresentano eventi fisici, non possono essere incerti, ambigui, distorti o paradossali: ed essi non possono andare oltre se stessi, per divenire una finzione. Possiamo dire liberamente che una linea è storta o curva; ma con ciò intendiamo che essa è diversa da qualche altra linea, reale o ideale. Non sono i fatti, ma la loro descrizione che può essere distorta, ambigua o paradossale. Il che ha parecchie implicazioni. In primo luogo, il comportamento (lasciando per il momento da parte il comportamento verbale), come ogni altro gruppo di movimenti o interazioni tra oggetti, è parte del normale mondo dei fatti oggettuali. La mano di un individuo è un oggetto esattamente come un qualsiasi altro oggetto; e così essa, ovvero il suo movimento, non può essere ambigua o paradossale. Perciò, se dovessimo limitare la nozione di illusione al solo comportamento, non avremmo motivo di usare queste descrizioni. Ma se consideriamo la percezione come una specie di spiegazione interna del mondo oggettuale, in quel caso si può affermare che la percezione ha queste proprietà, quando si verifica l'illusione. Consideriamo analogamente la fisiologia dell'apparato cerebrale. Il cervello è un oggetto nello stesso senso per cui le mani lo sono. La fisiologia si interessa della fisica della funzione neurale. Ma abbiamo appena affermato che ciò non può avere le bizzarre caratteristiche delle illusioni. Così, come possono le illusioni – o in effetti, la percezione – in un qualsiasi modo diretto, essere considerate in termini di processi fisiologici? Questo è il punto nel quale interviene la nostra nozione di strategia o di operazione, di specie più o meno logica, sviluppata dai meccanismi fisiologici. Se il cervello può descrivere lo stato dei fatti, ovvero il possibile stato dei fatti, le *descrizioni* devono essere logicamente impossibili malgrado che i meccanismi del cervello non lo siano.

Ritroviamo una situazione simile nel linguaggio. Posso dire, *vi è un cerchio quadrato,* ma non posso muovere la mia mano in modo da farle percorrere un cerchio quadrato. Il mio discorso può essere paradossale, ambiguo e così via – ma ciò non accade per i meccanismi o per il comportamento non simbolico. Quello che posso sperimentare negli stati dell'illusione, non può essere sempre sviluppato in comportamento. Ma nel comportamento simbolico dell'Arte potremmo esprimerci per mezzo di una condivisa illusione interna.

Sappiamo molto meno circa la struttura delle ipotesi percettive che di quelle scientifiche. Sarebbe avventato supporre che queste ipotesi siano simili nella loro struttura di dettaglio, poiché la scienza è certamente molto più analitica della percezione. Probabilmente, dovremmo aspettarci soltanto similarità superficiali, e sono appunto queste che abbiamo trovato.

La scienza fa uso di definizioni formali, di leggi e di operazioni consentite, di logica e di calcolo. Dovremmo forse aspettarci questo – fatta eccezione per il caso che ciò accada operativamente – nelle ipotesi del cervello? La scienza usa ed opera con simboli – avviene lo stesso per il cervello? Forse in un senso importante, sì. Forse dovremmo considerare gli stati del cervello come *rappresentanti* le descrizioni, le operazioni, i concetti e le ipotesi. Se così è, – e questa conclusione sembra forzata – restiamo con il problema integralmente insoluto: come possono gli stati del cervello rappresentare?

Qui abbiamo bisogno di capire – anche se sfortunatamente non lo facciamo – la relazione tra la fisiologia degli stati del cervello e la loro capacità di rappresentare – potrebbe questa essere simile alla capacità dei simboli?

Alcuni dei nostri fenomeni di illusione suggeriscono talora il modo nel quale le ipotesi percettive sono organizzate. La traccia principale deriva dalle figure ambigue, quali i cubi di Necker. Essi mostrano più del fatto notevole che l'apprezzamento dimensionale può aver luogo dall'*alto verso il basso,* dalle ipotesi verso i dati. Il fatto che essi cubi cambino spontaneamente – da un orientamento all'altro, ovvero ad un diverso oggetto – ma soltanto con un repertorio limitato, qualunque sia la figura o l'oggetto, è molto suggestivo. Ciò implica che nelle operazioni non solo vi deve essere l'ipotesi corrente, ovvero dominante – il che riguarda la percezione del momento – ma vi devono anche essere ipotesi contrastanti, più o meno prontamente formate, in attesa di opporsi e ribaltare le ipotesi dominanti.

Un ribaltamento può verificarsi senza l'apporto di nuovi dati o di supporti esterni – può es-

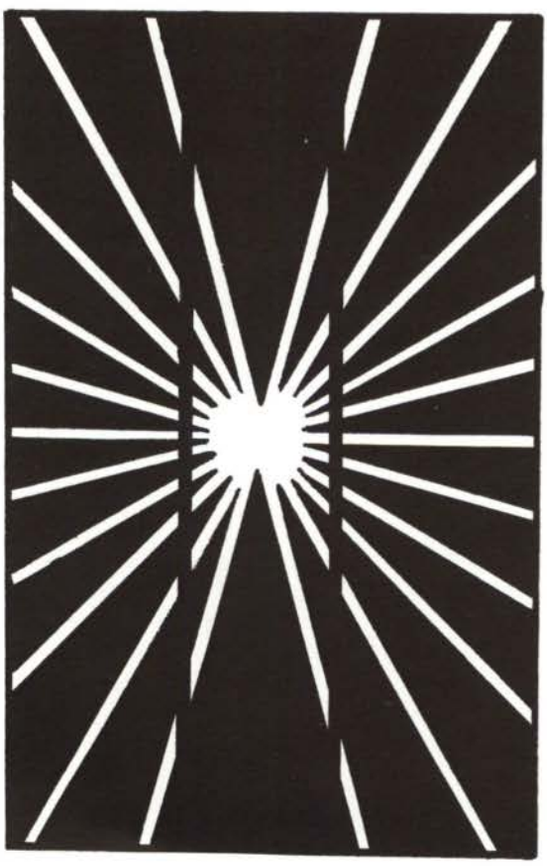


Figura 25
In basso a sinistra
Questa è l'illusione di Hering senza l'utilizzo delle usuali linee rette che vengono distorte da quelle radiali. Al loro posto, vi sono corrispondenti segmentazioni delle linee radiali – che appaiono curve esattamente come avviene per le linee chiare della figura solita. Il che dimostra che la teoria di un'inibizione laterale del tipo meccanismo non è applicabile se, per l'inibizione laterale, è necessaria l'esplicita stimolazione della retina con le linee intersecantesi. Questi effetti non hanno ricevuto sufficiente attenzione da parte dei teorici dell'illusione. È da sperare che gli esperimenti occorrenti vengano presto avviati, per colmare le lacune concettuali tra meccanismo e strategia della percezione.

Figura 26
Qui accanto
Una nuova illusione. Il parallellepipedo retto è costruibile con elementi della LEGO, sistema di costruzioni per ragazzi. All'osservatore dà l'impressione di espandersi a distanza, in contrasto con la contrazione della prospettiva. Il fenomeno si verifica nel modello reale e parimenti nella sua immagine.

Figura 27
In basso a destra
Una zona scura o un'ombra? Si tratta di un disegno che inverte la profondità di un muro di mattoni, con un'ombra disposta sul muro stesso. Ma l'ombra è plausibile per un unico orientamento della figura (poiché il Sole è sempre in alto ed illumina verso il basso). Alla maggior parte di coloro che osservano questa figura, la zona grigia appare piuttosto nera, quando potrebbe non trattarsi di ombreggiatura, e piuttosto trasparente e leggera, quando potrebbe invece trattarsi di ombra proiettata per illuminazione dall'alto. Questo effetto muta ad ogni inversione di profondità della figura – e pertanto non può essere determinata né dalla stessa prodonfità, né da ogni altra traccia sensoriale, poiché queste non cambiano. L'ombra è legata ad una delle ipotesi percettive alternative, selezionate da questa figura.

sere un'idea brillante puramente interna.

Queste idee brillanti – questi spontanei cambiamenti percettivi – si alternano tra percorribili possibilità. I due orientamenti del cubo di Necker, sono all'incirca egualmente probabili per un oggetto che è, infatti, un cubo. Ma esiste un'infinità di oggetti aventi altre forme tridimensionali, qualunque sia il piano di proiezione assegnato, compresa l'immagine retinica. Ciò significa che le ipotesi contrastanti non vengono scelte arbitrariamente – esse sono sempre (o almeno quasi sempre) candidati plausibili, con alta probabilità di risultare almeno tanto appropriate quanto le ipotesi dominanti.

È giustificato considerare queste contrastanti ipotesi rivali come completamente formate? Penso che lo sia; poiché, in quale altro modo sarebbe possibile per loro competere nel selezionare gruppi di sfidanti dell'ipotesi dominante?

La creatività scaturisce dalle sorgenti dell'illusione?

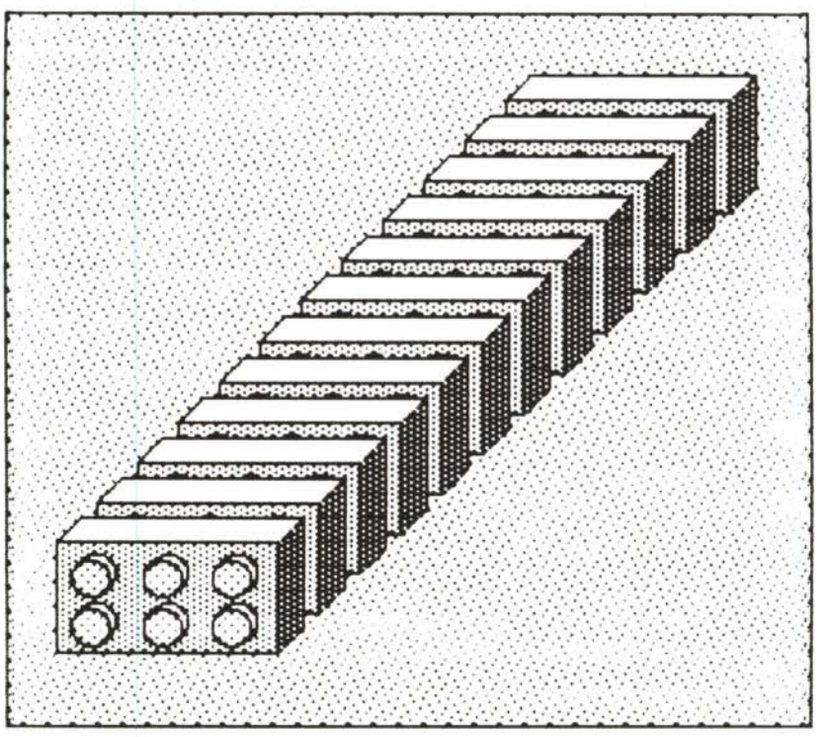
Dovremmo forse descrivere ogni finzione o fantasia come illusione? Penso che esistano buone ragioni per classificare le finzioni come differenti dalle distorsioni, ambiguità, paradossi e così via, sulle quali abbiamo finora svolto considerazioni. Riteniamo che le illusioni rappresentino errori sistematici: ma non è corretto considerare la finzione come necessariamente un errore – benché possa derivare da un fatto *riconosciuto*.

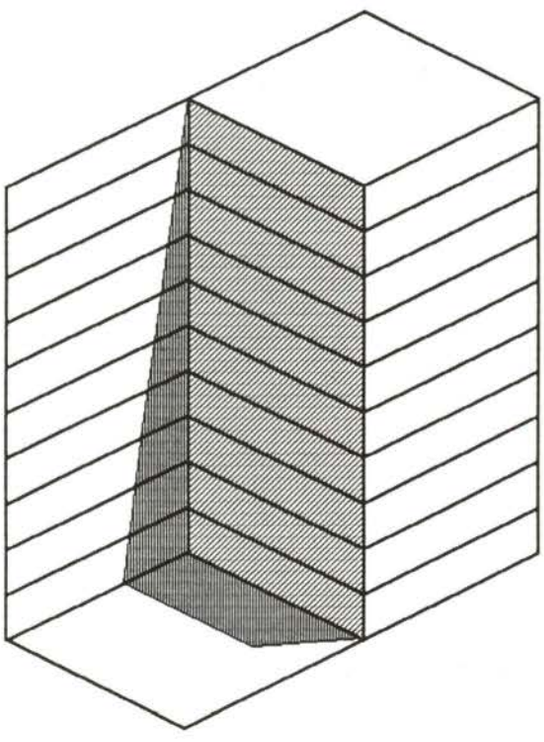
Lavori di finzione letteraria, come i romanzi, sono eminentemente veri. Essi descrivono conversazioni e comportamento di esseri umani, con un numero umano di teste e di braccia, in un mondo largamente simile, e con paure e speranze molto rassomiglianti a quelle sperimentate da noi stessi e dai nostri amici. Tutto ciò corrisponde ai *fatti della gente*. In un romanzo vi può essere una certa signora Jenkins che abita in Greek Street, al civico 29: mentre scopriamo, telefonando, che in effetti una signora Blenkinsop vive a quell'indirizzo e che la casa ha tre piani anziché due.

Questi rappresentano certamente piccoli errori se consideriamo quanto corrispondono (persino in un racconto di fantascienza) con i fatti del nostro mondo. Pertanto è evidentemente un errore considerare eguali *la finzione* ed *il falso* e quindi non dovremmo considerare la finzione proprio nello stesso modo nel quale consideriamo l'illusione – malgrado che le fonti delle illusioni e la creatività immaginativa possano essere le stesse.

Le illusioni, crediamo, possono essere prodotte con procedimenti di deduzione e col seguire la regola che genera sistematici allontanamenti dal fatto reale.

È comunque importante notare che la diver-





genza dal fatto accettato, può non rappresentare errore – potrebbe risultare che è largamente e persino totalmente vera.

Inoltre la generazione di novità richiede deviazione da quello che è stato accettato. Si tratta di una condizione necessaria per inventare nuove soluzioni per vecchi problemi. Per stabilire che una percezione è illusoria, dobbiamo sostenere un'ipotesi sulla probabilità che il fenomeno possa essere vero – ma anche quest'ipotesi può essere errata.

Così, quello che sembra illusione può talvolta dimostrarsi vero. Possiamo essere certi che una percezione è illusoria, soltanto quando viola le richieste logiche per quello che il fatto può essere: in questo modo sappiamo che ogni percezione che sia ambigua, o paradossale, deve essere almeno in parte illusoria. Questo criterio logico si applica, però, solo all'esperienza dell'illusione e non alle azioni di comportamento: dato che il comportamento non può essere logicamente impossibile, eccetto quando è simbolico come il linguaggio. (In questo caso sono i simboli ad essere contraddittori o ambigui, non già i mezzi con i quali essi vengono espressi).

Tutto quello che possiamo affermare con certezza sulle illusioni che non violano la logica, è che esse rappresentano deviazione da quanto viene accettato come fatto. Così tutto quello che possiamo fare in proposito, è affossare quello che riteniamo di percepire in contrasto con quanto crediamo di conoscere: ma l'uno o l'altro o entrambi possono essere falsi. Il concetto fondamentale ha origine nella deviazione da quello che è accettato come fatto. Una deviazione può essere un'illusione o può essere una scoperta. Le illusioni, crediamo, possono essere generate con procedimenti di deduzione e col seguire la regola, il che, malgrado consenta la costruzione e la selezione di valide ipotesi, può anche determinare allontanamenti dalla realtà. È importante, d'altra parte, constatare che la divergenza dal fatto accettato non produce necessariamente errore o illusione – può generare scoperta.

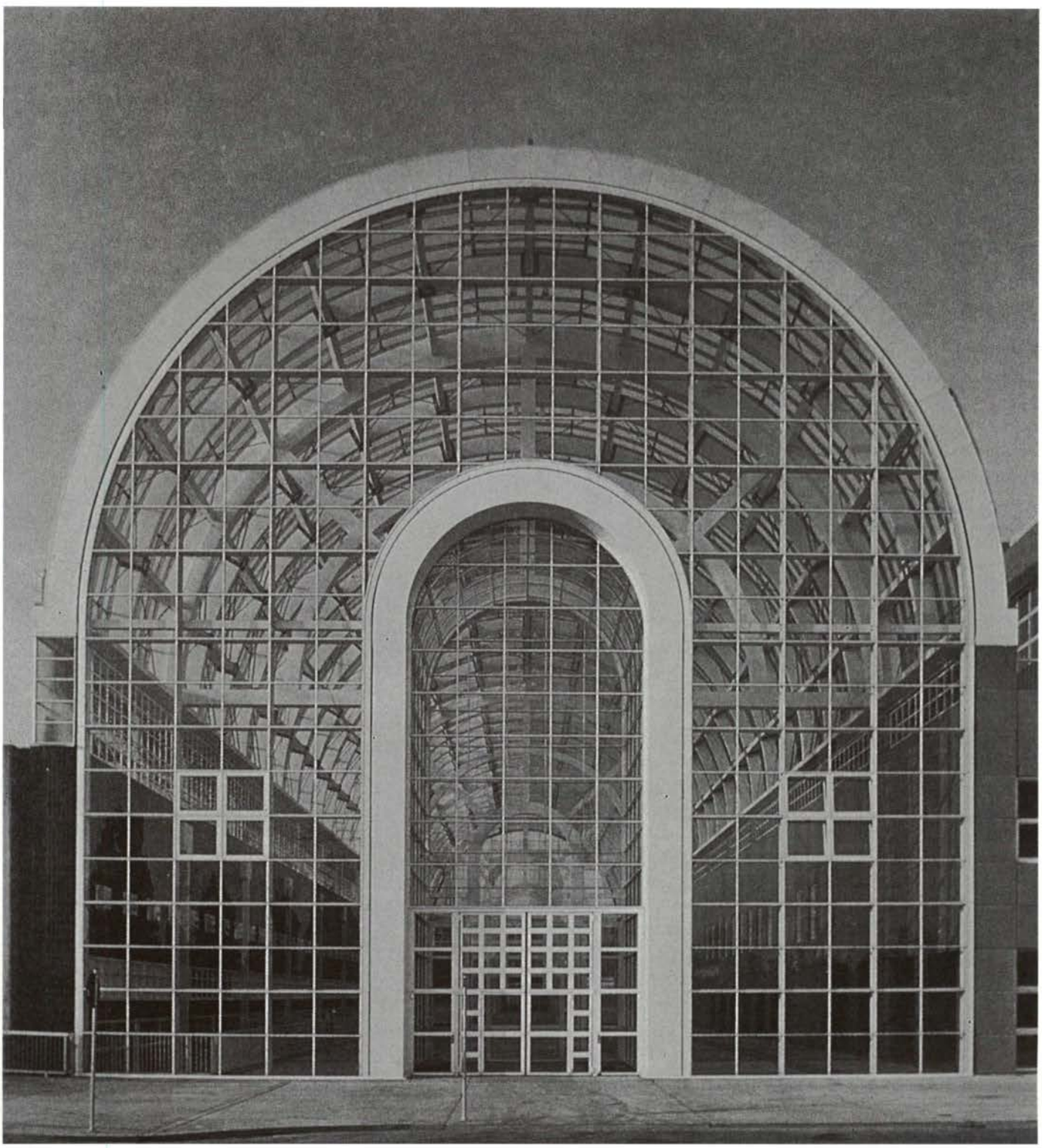
Qualsiasi percezione che si aggancia totalmente a ciò che era, deve fallire proprio nella misura in cui il presente differisce dal passato che essa rappresentava. Un fatto del genere può essere evitato solo con la continua invenzione di un futuro immaginario – che deve essere in parte romanzo e che può essere vero se si devono evitare le illusioni di inerzia perpetua. In questi processi percettivi possiamo intravvedere le fonti della scoperta e dell'invenzione. Possiamo altresì individuare la figura dell'artista che interpreta ed evoca le nostre facoltà di inventare altri mondi. Il potere che la percezione ha di deviare dal fatto accettato, non può essere sicuro. Può saltare in un territorio familiare, o in un territorio sconosciuto ovvero covare le proprie creazioni.

Richard Gregory

Richard Gregory è nato a Londra nel 1923. Dopo aver compiuto gli studi universitari a Cambridge, ha insegnato psicologia in quella stessa Università, dove ha creato il Special Senses Laboratory. In questo laboratorio ha costruito per la NASA un simulatore in grado di prevedere i problemi percettivi che avrebbero avuto gli astronauti: le sue previsioni sono state verificate con l'inizio dei viaggi spaziali prolungati e si sono dimostrate corrette.
E' diventato in seguito professore di bionica presso il Department of Machine Intelligence and Perception dell'Università di Edimburgo. Qui, in base alle sue ricerche sull'intelligenza artificiale, ha costruito il robot Freddy, la prima macchina in grado di riconoscere gli oggetti, di distinguere le forme, di costruire modelli. A meno di vent'anni di distanza i discendenti di Freddy sono entrati nell'industria e probabilmente contribuiranno in un futuro non lontano a modificare lo stile di vita di un'ampia fascia di popolazione.
Dal 1970 è professore di neuropsicologia e direttore del Brain and Perception Laboratory presso l'Università di Bristol, dove ha anche fondato e dirige il Bristol Exploratorium, un museo della scienza di concezione nuova, basato sulla partecipazione attiva dei visitatori.
E' autore di numerose pubblicazioni, soprattutto dedicate ai problemi percettivi: fra queste "Occhio e cervello" del 1966, "The intelligence eye" del 1970 e "La mente nella scienza" del 1985.

Premesse per uno studio dei rapporti tra potenziale segnico e potenziale visivo nello spazio architettato

di Corrado Maltese



Il concetto di *potenziale segnico* non è molto difficile da comprendere. Basta, forse, cominciare a porsi a mò d'esempio la seguente domanda: quante parole può contenere un normale foglio di carta bianca? Per la lingua italiana sappiamo che, in media, se il foglio è scritto a macchina, può contenere 10 parole per riga e una quarantina di righe. Se vogliamo riferirci a un'altra lingua, per es. l'inglese, usando la stessa macchina troviamo qualche differenza: molte parole sono più corte, altre più lunghe. Dove sono numerose le corte, la brevità è in parte bilanciata dal maggior numero di spazi in bianco. Per maggiore chiarezza è perciò opportuno ricorrere al computo degli "spazi" occorrenti. In tal caso, nel complesso, lo spazio occupato dalle espressioni inglesi risulta notevolmente più piccolo rispetto a quelle italiane: cioè la capacità segnica dello stesso foglio risulta sensibilmente maggiore (circa del 14% in più). La conclusione è che, almeno dal punto di vista della scrittura, il *potenziale segnico* del sistema linguistico inglese tende a superare quello italiano per un 14-15%.

Tutto ciò, evidentemente, può prescindere dalla novità e/o dall'importanza e persino dalla quantità bruta delle informazioni contenute nel testo.

Quale specifico significativo può avere, ora, il concetto di *potenziale visivo* applicato allo stesso argomento?

Evidentemente il confronto delle "parole" e delle "battute" dà per scontanto che nelle due lingue le grandezze dei caratteri di ciascuna lettera, di ogni segno di interpunzione e di ogni "spazio" siano uguali e siano uguali anche le interlineature e anche i margini del foglio lasciati in bianco. Entrambi i sistemi trovano però un limite nella necessità di permettere che gli occhi dei lettori non solo distinguano lettere, interpunzioni e spazi, ma riescano anche a evitare di confondere linea con linea e, finalmente frase con frase. Perciò è opportuno adottare anzitutto inchiostri che contrastino a sufficienza per tonalità cromatica e per intensità con il colore del foglio di carta e, ancora, è opportuno adottare forme delle lettere e dei segni di interpunzione capaci di differenziarsi adeguatamente tra di loro. Infine è sconsigliabile adottare una distribuzione "non stop" di parole e frasi ("pieni") su linee troppo lunghe e su gruppi troppo grandi di linee prive di pause e spazi bianchi ("vuoti"). A meno che, s'intende, non lo si voglia fare apposta, a scopo, per così dire, di... provocazione estetica.

Insomma una scrittura che si stendesse con un inchiostro vagamente giallognolo su un foglio appena più chiaro potrebbe riuscire tanto elegante e preziosa da rischiare di non essere nemmeno vista, e se poi la stessa scrittura si stendesse "non stop" per pagine e pagine e per giunta con caratteri tanto poco differenziati tra loro da confondersi, riuscirebbe tanto faticosa da essere rifiutata, oppure potrebbe essere giudicata tanto narcisistica da essere accolta globalmente soltanto come gesto estetico e quindi deliberatamente non "letta".

In conclusione il potenziale segnico, almeno nel campo della scrittura, è un sistema fortemente dipendente dalle capacità del sistema visivo del ricevitore (umano) e quindi, in definitiva, dal suo "potenziale visivo". Naturalmente esiste anche una dipendenza inversa. La diffusione delle lenti per miopi e per presbiti e delle fonti artificiali di illuminazione adeguate e costanti hanno certamente accresciuto, funzionando da protesi, il medio potenziale visivo umano. Ciò ha permesso o incoraggiato a sua volta la diffusione di standard tipografici (e dattilografici) più piccoli di quelli di un secolo fa e più nitidi e incisivi nelle forme (si pensi ai caratteri a stampa a mezzo laser). Questa retroazione "circolare" è estensibile, a mio avviso, a tutta la tematica dei rapporti tra i due tipi di potenziale.

Il problema è ora di provare ad applicare i due concetti di potenziale allo spazio architettato.

Ho preferito questa dizione a quella di "spazio architettonico" per sottolineare il fatto che esiste una contiguità senza soluzioni tra interni, esterni e "ambiente", sia esso urbano che non urbano.

Mi si consenta ora di ricorrere a un'auto-citazione.

Una quindicina di anni or sono, nel volumetto da me dedicato alla *Semiologia del messaggio oggettuale* (1970), mi provai a cercare uno spartiacque tra l'insieme delle opposizioni di volumi pieni e vuoti, che costituiscono lo specifico di un'opera di scultura, e l'insieme delle analoghe opposizioni che costituiscono lo specifico di uno o più edifici (dunque, al limite, di un'aggregazione urbana). Mi riuscì di trovarlo solamente accettando un cambiamento di scala. In altre parole la dialettica pieni-vuoti mi sembrò che potesse dirsi "architettonica" solo a patto di assegnare ai "pieni" e ai "vuoti" le caratteristiche di un ambiente dalle dimensioni quanto meno superiori a quelle di un essere umano.

Scrivevo alle pp.130-131: «Si potrebbe obiettare che ciò che caratterizza l'architettura è il fatto di avere una funzione abitativa e perciò un volume interno e uno esterno, il che è vero in moltissimi casi, ma non sempre: basti pensare a un obelisco o a un menhir o alla tettoia aperta di una stazione tranviaria (dove casomai c'è solo un "sotto" e un "sopra"). Di fatto l'unico sicuro carattere di discriminazione tra l'architettura e il resto è nella grandezza degli spazi impegnati: almeno uno dei volumi in opposizione deve superare sia pure di un minimo la misura dell'uomo. Solo per traslato si parla di architettura di un canile o di un pollaio, ma non per traslato si parla dell'architettura di un monumento funebre, se in esso è contenuto il sepolcro (o il cenotafio) di un defunto». Tuttavia possiamo ora aggiungere che il limite inferiore di scala è dato, forse, dall'automezzo, per il quale si parla di *design* e non di architettura. Ma treni e ae-

Pagina precedente:
O.M. UNGERS
e collaboratori,
"Padiglione n.9 della Fiera di Francoforte" (1981-83).

In questa palese "citazione" del Palazzo di Cristallo il rapporto tra volumi d'ingombro e volumi liberi è, anche nel corpo centrale, sensibilmente più alto di quello del celebre "palazzo". Ciò incide palesemente sul valore del potenziale segnico in quanto ne modifica le componenti sopra accennate. Anche in questo caso il calcolo è possibile.

rei restano in larga misura nel limbo poichè per le parti strutturali sfuggono sia al *design* che all'*architettura* a causa della loro preminente funzione veicolare. Fa eccezione invece l'architettura delle navi a causa soprattutto della loro antichissima ascendenza, quando le imbarcazioni, insieme ai carri da battaglia e agli oggetti mirabolanti e da diporto (si pensi alla fontana di Erone e alle specialità di un Villard d'Honnecourt), cadevano sotto la competenza dell'architetto nella sua qualità di tecnologo principe.

S'intende che in architettura possono essere state e sono ben presenti le opposizioni di micro-volumi, ma, proprio per la loro minore scala, essi tendono inevitabilmente alla "decorazione".

Finalmente s'intende anche che ogni opera architettonica è condizionata prima di tutto dall'attività umana che essa opera, in quanto "utensile", è chiamata a supportare: abitare e ripararsi, riunirsi, commerciare, lavarsi, attendere a un culto, custodire oggetti di pregio, ecc. ecc.

L'universo architettonico insomma confina (e/o sconfina) da una parte (alla fine della scala dei micro-volumi) verso la forchetta o il cucchiaino da caffè o magari la spilla da balia, dall'altro verso la città e il territorio.

Come trattare il potenziale segnico di un universo parte immobile e parte mobile di oggetti tridimensionali così diversi tra loro per grandezza, uso e significato?

A mio avviso il potenziale segnico di un qualsiasi oggetto di questo universo dipende dalle seguenti variabili fondamentali:

a) ubicazione (mobile, immobile per destinazione, fissa e definita geograficamente e topograficamente);

b) grandezze dell'"oggetto" e dialettica volumetrica propria e con l'ambiente;

c) condizioni e caratteri cromo-luministici propri e ambientali;

d) composizione materica propria e ambientale;

e) prestazioni istituzionali;

f) singolarità morfologica.

Anche se quì dobbiamo rinunciare a trattare in modo articolato i caratteri della mobilità e della immobilità per destinazione, l'elenco che precede significa in ogni caso che l'oggetto dell'universo architettonico proprio per la sua scala e le sue caratteristiche di oggetto d'uso è ben lontano dal poter essere considerato un fatto puramente e strettamente visivo. All'osservazione ottica diretta si accompagnano ricezioni tattili e propriocettive, uditive e spesso anche olfattive (si pensi alla deambulazione in un chiostro o in un patio o in un mercato o in una piazza, ecc.). I rapporti volumetrici reali non possono essere perciò surrogati in nessun modo da un disegno geometrico per quanto esatto. La struttura materica non può essere dissimulata totalmente da rivestimenti e bellurie cromoluministiche e nemmeno da formule chimiche e/o matematiche. Le prestazioni richieste non possono essere minimizzate o dimenticate e, finalmente, le singolarità morfologiche (cioè l'eleganza, l'originalità e l'idoneità globale) dell'oggetto non possono essere misconosciute, nè dimenticate.

In altre parole se l'oggetto dell'universo architettonico quasi coinvolge l'intero spettro sensoriale dell'osservatore nonchè giudizi di idoneità e novità socio-economica, tecnologica e storico-ambientale, il suo potenziale segnico appare estremamente più complesso e difficile da valutare rispetto a quello della scrittura su un foglio.

Intanto, il "foglio" è – per l'oggetto architettonico – lo spazio materiale vuoto o/e reso disponibile per il processo edificatorio. La "scrittura" è l'edificazione stessa con i suoi riferimenti al contesto ambientale, socio-economico, tecnologico, percettologico e con i suoi "servizi" e le sue "novità" di ogni tipo. Il potenziale segnico è perciò inevitabilmente la ricchezza dialettica di spazi e servizi utilizzabili, di legami contestuali, di contrasti volumetrici, cromo-luministici, materici e formali compresi nello spazio dato. A tale potenziale segnico non può corrispondere questa volta un semplice *potenziale visivo*, bensì un *potenziale percettivo e motorio* che, come già ho osservato, coinvolga quasi interamente lo spettro sensoriale umano e alcuni aspetti concettuali.

In ogni caso, a fronte dell'elenco compilato per il potenziale segnico può darsi per il potenziale percettivo l'elenco seguente:

a) posizione dell'osservatore-fruitore e quindi distanza dall'oggetto;

b) direzione dello sguardo dell'osservatore;

c) sua acuità visiva (cromoluministica e spaziale);

d) sua capacità motoria e acuità tattile e propriocettiva;

e) sua acuità uditiva;

f) sua acuità olfattiva;

g) attese d'utilizzo;

h) esperienza morfologica.

È evidente che anche questa volta il potenziale segnico è profondamente dipendente dal potenziale percettivo e motorio dell'osservatore-fruitore e che esiste anche una dipendenza inversa.

È qui impossibile affrontare tutte le articolazioni che precedono. Perciò mi limiterò, in prima istanza, a esaminare l'aspetto visivo delle immagini che – in quanto immagini-macchina – intendono surrogare l'immagine ottica del ricevitore umano.

Bisogna però respingere, anzitutto, con molta decisione, l'illusione (o la mistificazione?) tecnocratica di poter "riprodurre la realtà" (sic) con i *voxel* (da *vo*(lume) + (pi)*xel*) di un computer (vedi in proposito anche riviste autorevoli di divulgazione scientifica come *Sapere* del dicembre 1985, pp.19-25).

L'oggetto architettonico è, in realtà, *spazio materiale*, con tutte le sue ricadute sullo spettro

sensoriale di un osservatore. Una qualsiasi "immagine" (anche quella guidata dal calcolatore) può rappresentare solo molto riduttivamente lo spazio materiale in questione.

È opportuno in proposito esaminare uno schema a blocchi sulla catena storico-tecnologica delle immagini come si presenta oggi e che ritengo sufficientemente comprensivo ed eloquente.

In alto al centro l'oggetto dell'universo architettonico viene considerato generalizzabile come aspetto di interesse antropico di uno "spazio strutturato", cioè tale da presentarsi al ricevitore umano differenziato internamente (per arte o per natura) nelle sue caratteristiche tattili, cromoluministiche, di densità materica, di stabilità, ecc. Il ricevitore umano procede (come in ogni momento delle sue azioni conoscitive) a *convertirsi in emettitore* e quindi in produttore di immagini artificiali in modo sia indipendente che dipendente da un *ricevitore-macchina* (fotocamera, telecamera, ecc.). Nello schema appare come immagine-macchina anche l'immagine grafico-geometrica e quella pittorica per consentire di comprendere anche le numerose apparecchiature prospettiche e ottiche che hanno accompagnato per secoli la costruzione dell'immagine grafo-pittorica.

L'immagine-macchina (generalmente labile nella sua forma immediata) segue in realtà molte strade produttive: fotografie e riproduzioni fotomeccaniche di ogni tipo segnano la diffusione e il consolidamento dell'immagine foto-chimica, che ha costituito e costituirà ancora per molto tempo la base di confronto e spesso anche di mediazione per ogni altro tipo di immagine. In ogni caso l'immagine fotochimica è alla base sia dell'immagine olografica che di quella fotogrammetrica. Una netta autonomia è stata subito conquistata dall'immagine elettronica, che tuttavia è ancor oggi limitata nello standard corrente da un potere non molto alto di definizione (625 linee) e di fedeltà.

Da una opportuna conversione degli impulsi elettronici è nata l'immagine numerica, l'ultima in ordine cronologico, che ha permesso l'uso del calcolatore per un numero altissimo di dati e il conseguente trattamento multiforme e sperimentale delle immagini attraverso l'analisi matematica.

A tutte le tecnologie indicate sono comuni forme specifiche di stabilizzazione delle immagini e poi di riproduzione, archiviazione e reperimento. Per l'immagine elettronica e numerica tutto ciò può avvenire oggi su nastri e su dischi. Ma indipendentemente dalla riproduzione e dall'archiviazione l'immagine per così dire "finita" ha bisogno in tutti i casi di essere riproposta all'osservazione: dunque anche il momento della *restituzione* è comune a tutte le tipologie d'immagine. Anche l'immagine grafica o pittorica, che storicamente è nata per prima, ha bisogno di essere "restituita" in permanenza o temporaneamente all'osservazione magari attraverso una banale e manuale operazione di esposizione. L'immagine fotografica, compresa quella olografica e fotogrammetrica, dev'essere stampata in positivo o/e adeguatamente esposta e proiettata.

Sull'interpretazione è quasi superfluo intrattenersi. Tuttavia bisogna riconoscere che la conversione delle immagini di ogni tipo in immagini numeriche ha aperto una strada ampia e sorprendente alla formulazione e verifica rapida e diretta di ipotesi interpretative, fino a poco tempo fa impensabili (si pensi alla fotointerpretazione).

Alla fase della restituzione è ovviamente connessa la duplice possibilità di rivolgersi immediatamente sia al ricevitore umano sia al ricevitore-macchina, chiudendo così il ciclo.

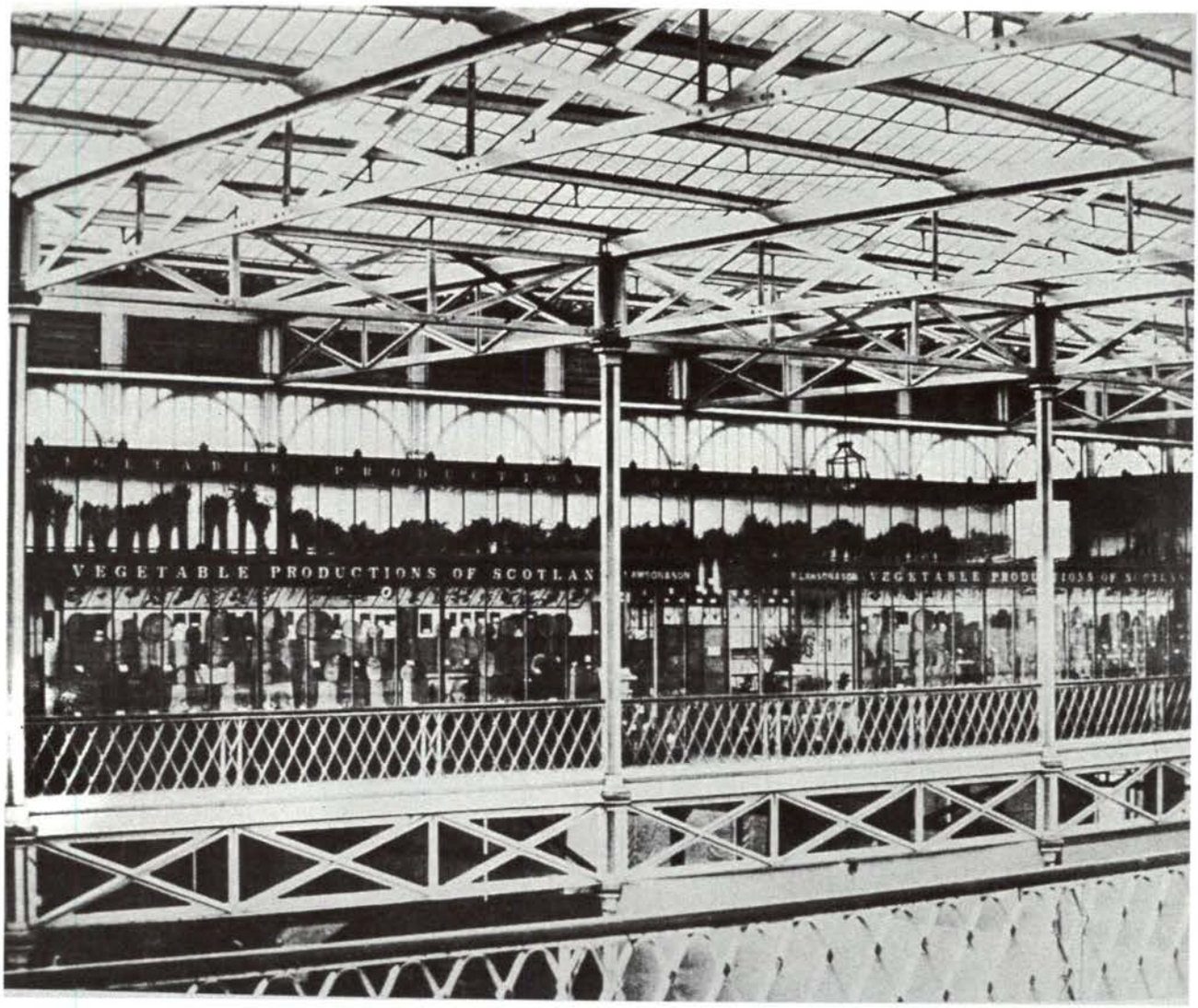
Possono queste forme visive di surrogato del *potenziale percettivo diretto* interagire davvero con l'enorme potenziale segnico dello spazio architettato inteso come "linguaggio"? La risposta è in piccola parte curiosamente positiva, ma nel senso che quelle forme rischiano di indurre un processo riduttivo nel potenziale segnico, che viene mirato a limitarsi alle condizioni ricettive (e alle conseguenti immagini bidimensionali) della macchina fotografica. Quanti sono gli architetti che sognano il proprio lavoro sotto forma di attraenti tagli fotografici da pubblicare su una rivista?

Anche per questo è probabile che una buona parte degli orrori architettonici prodotti dall'industria edilizia cosiddetta residenziale si debbano anche al fatto di saper immaginare le proprie opere soltanto con gli occhi dei fogli tracciati con il tecnigrafo e delle edulcorate foto a piena pagina stampate sulla carta patinata delle riviste. D'altra parte l'ologramma risolverebbe solo in piccola parte il problema, stando alle sue attuali limitazioni di grandezza e di evidenza, mentre il rilevamento fotogrammetrico manterrebbe di necessità il suo carattere di immagine-ponte tra realtà e traduzioni grafiche in scala.

In altre parole per ottenere davvero rappresentazioni comparabili al potenziale segnico dello spazio architettato dobbiamo abbandonare il mondo delle immagini statiche e cercare la combinazione del rilievo e del movimento, arricchiti dalle loro sinestesie propriocettive e da opportune combinazioni con suoni e rumori.

Come sappiamo, la forma cinematografica (e possiamo accantonare la forma televisiva, per ora in sott'ordine) è stata considerata come l'unica idonea ad approssimarsi al potenziale percettivo diretto umano sollecitato dal potenziale segnico dello spazio architettato. Probabilmente essa lo è davvero tuttora. Ma è d'obbligo rilevare che già oggi potrebbero essere fatti passi avanti almeno nelle seguenti direzioni:

a) realizzazione delle riprese e delle proiezioni filmiche in funzione di schermi a spicchio sferico con coordinate polari di 180° orizzontali e almeno 90° verticali. Tale formato ha il vantaggio di stimolare al massimo attraverso gli occhi le sinestesie motorie propriocettive.



J. PAXTON e collaboratori, "Palazzo di Cristallo", Londra 1851.

La riduzione al minimo del rapporto tra volumi impegnati dalle strutture e volumi "liberi" caratterizza la dialettica pieni-vuoti e la sua realizzazione materiale, provocando note conseguenze sul micriclima, sulle luci e i colori esterni e interni, sulla forma, sulle sinestesie di peso, stabilità, ecc.. Molte di queste componenti sono opportunamente calcolabili.

b) curare attentamente suoni e rumori "veri", abbandonando la soggezione agli abbellimenti musicali o presunti tali.

c) eseguire movimenti nello spazio adeguati alla libertà raggiunta nello stesso senso dal potenziale segnico del sitema architettonico preso in esame. Solo così sarà possibile costruire immagini multimediali, capaci di avvicinarsi al potenziale percettivo umano e dunque capaci di recepire un potenziale segnico prossimo a quello architettonico.

In sostanza da quanto precede consegue che un sistema architettonico reale avrà, rispetto a un altro sistema analogo, un potenziale segnico tanto maggiore quanto più largo e completo sarà lo spettro sensoriale e percettivo che esso avrà stimolato nel ricevitore umano a parità di spazio materiale impegnato.

Parchi e giardini, uccelliere, ruscelli artificiali e fontane zampillanti quale fondale scenico in movimento di una ricca dimora erano un tempo altrettanti artifici per sollecitare percezioni e sinestesie di ogni genere.

Questa ricchezza segnica non può essere rappresentata se non in misura molto modesta e guai se i maggiori monumenti di questo genere dovessero decadere irreparabilmente e sparire. Essi possono essere ben rappresentati solo da se stessi. Conservarli è l'unico modo per continuare a rappresentarli davvero.

Corrado Maltese

Ordinario di Storia dell'Arte Moderna nella facoltà di Lettere e Filosofia dell'Università di Roma "La Sapienza".

Noto in campo filosofico per la sua traduzione (con studio introduttivo) dell'opera "Art as Experience" di J. Dewey (1950) ha poi raggiunto notorietà internazionale per l'edizione critica dei "Trattati di architettura civile e militare" di Francesco di Giorgio Martini per la "Storia dell'Arte in Italia 1785-1943" (1961).

Ha continuato in vario modo a sviluppare i due filoni di studio, quello metodologico e quello della ricostruzione storico-artistica, occupandosi di innumerevoli problemi connessi con la storia dell'arte del Rinascimento, del sei e settecento e contemporanea.

Attualmente rivolge la sua massima attenzione ai rapporti tra le arti (anche attraverso l'architettura, l'urbanistica e l'ecologia) e le conoscenze scientifiche e tecnologiche. Ne è documento il recente volume "Dalla semiologia alla sematometria" (Il Bagatto, Roma, 1983), in cui sono affrontate problematiche di fondo relative all'utilizzazione dei calcolatori nel campo della cultura artistica.

Rappresentazione geometrica dello spazio

di Decio Gioseffi

Io faccio lo storico dell'arte. E, come tale, mi sono spesso domandato com'è che le rappresentazioni e i "segni" in genere nel campo delle arti presentino alla fine un'articolazione sistematica e metodica, per cui l'esperto (e chiunque può diventare rapidamente un esperto purché d'un campo ristretto) possa, a colpo d'occhio (a proposito d'un quadro di figura per esempio), dichiarare con relativa sicurezza: "è Santa Elisabetta o Santa Cecilia o Santa Costanza" ("una Virtù, una gentildonna, una cortigiana"); e non ciò soltanto, ma anche: "è Bellini, è Giorgione, è Raffaello"; "Tizio quando imitava Caio", "Caio nel suo periodo giovanile" e simili. E tali giudizi si rivelano poi raramente errati, purché l'esperto operi all'interno del campo di competenza.

Che anche la *lingua* che i pittori parlano quando dipingono ("noi pittori parliamo con le mani", com'ebbe a dire un giorno Ludovico Carracci) sia strutturata in modo consistente, più o meno quanto i discorsi fatti di parole, era per me abbastanza chiaro fin dal principio: ma m'infastidiva che fatti osservabili e banali si dovessero poi sempre descrivere in modo impreciso o metaforico.

Quanto alla geometria e alle rappresentazioni geometriche – convenzionali o prospettiche che fossero – le avevo sempre considerate in precedenza come manifestamente fondate, "benché" poco entusiasmanti; ma finii per appassionarmi nuovamente alla questione della prospettiva, quando – intorno agli anni cinquanta – si cominciò a dibattere anche da noi secondo le ormai antiche proposte del Panofsky. Contavo infatti di trovarmi di fronte anche nel nostro campo a "verità" (o "falsità") non solamente opinabili ma dimostrabili in qualche modo. Ed è questo che mi sembrò promettente anche per quanto riguardava l'intera *querelle* del visivo e del verbale.

Com'è noto secondo il Panofsky la "verità" della prospettiva andava risolutamente negata; e respinta – sulla base di ragionamenti di varia filosofia – ogni sua pretesa di fondatezza "scientifica" nonché di rispondenza "naturalistica" privilegiata.

Convinto che prima di togliere ogni credito alla prospettiva fosse opportuno di sottoporre intanto a verifica gli argomenti del Panofsky, mi divertii, per esempio, a dimostrare (contro la dichiarata incompatibilità tra la prospettiva in senso moderno e il "carattere immanente dell'arte greca") che proprio i Greci avevano scoperto la registrazione oculare (dei segnali inviati o rinviati dai corpi illuminati) secondo le modalità della proiezione centrale e avevano inventato almeno due metodi operativi (l'uno diretto, di marcar punti – secondo Tolomeo – sopra lo specchio, l'altro geometrico secondo Vitruvio) per ottenere delle rappresentazioni prospettiche "esatte" sul piano della pittura.

E molte cose soggiunsi allora a tale proposito e tendenti a precisare che, quand'anche fosse vero (com'è vero) che, nelle "lingue pittoriche storicamente determinate", le strutture prospettiche fossero usate "secondo il codice", e perciò arbitrariamente e in modo variamente discontinuo come qualsiasi altra struttura del repertorio *pro tempore*, non perciò venivano a cadere né la corrispondenza teorica ("punto per punto" per un occhio centrato) tra la "realtà" e il quadro prospettico, né l'interesse epistemologico primario della scoperta e dell'affermazione della prospettiva in quanto scienza per il progresso delle scienze.

Non che tali affermazioni abbiano poi suscitato un interesse più che marginale tra gli storici della cultura, se non forse nel campo degli specialisti stretti e presso alcuni studiosi o critici più "aperti", quali il Ragghianti, il Salvini, il Longhi, l'Argan e (per non parlare di Gombrich e Pirenne) pochi altri, giovani per lo più.

Nel frattempo quanti avevano orecchiato (male) il Panofsky procedevano per conto loro. Taluni videro nell'ordine inderogabile del quadro prospettico non altro che il riflesso di un certo modo – reazionario evidentemente – di gestire la società e, quasi quasi, ne fecero un segno di decadenza o di malessere sociale. Altri si spinsero anche oltre: non solo la prospettiva era sbagliata e reazionaria, ma anche dal punto di vista di una teoria della conoscenza era deviante e confusa e sanciva il ritardo culturale dell'Italia rispetto alla restante Europa nel corso del tardo Medioevo....

Solo l'algebrizzazione delle procedure nei secoli XVII e XVIII, e la conseguente introduzione dei metodi differenziali e lo sviluppo della più astratta proiettiva avrebbero del resto dato dignità di scienza a quella che era stata la pratica "empirica" degli artisti italiani del Quattrocento; e poi non era nemmeno provato che la loro pretesa scoperta non fosse invece stata rubacchiata a qualche dotto straniero di passaggio, che avesse magari insegnato alla Sorbona tra i secoli XII e XIV...

Comunque fosse, si trattava pur sempre di preistoria per quanto riguardava la storia della scienza, dato che da tempo la geometria "euclidea", di cui è parte la prospettiva, non è che una delle meno rilevanti fra le infinite geometrie possibili: un caso particolare di scarse possibilità applicativa di contro al dilagare irresistibile delle nuove matematiche (assiomatiche, formali, sintattiche), dell'insiemistica astratta e della logica formale...

È stato così che nel corso degli ultimi vent'anni, benché sostanzialmente restìo a uscire dal singolo problema concreto per misurarmi – come oggi si dice, ironicamente suppongo – "con i massimi sistemi", ho dovuto progressivamente sconfinare dal campo di competenza e avventurarmi qualche poco al di là degli steccati per andare a dare un'occhiata di persona a questo o quello dei territori contigui (e a quelli contigui dei contigui: fisica, fisiologia, neurologia, psicologia, epistemologia, logica, semiotica, matematica; per non parlare della storia delle matematiche e

Figura 1
Pagina precedente
Giotto, Polittico Stefaneschi *(pannello con* San Pietro in cattedra*). Roma, Pinacoteca Vaticana.*

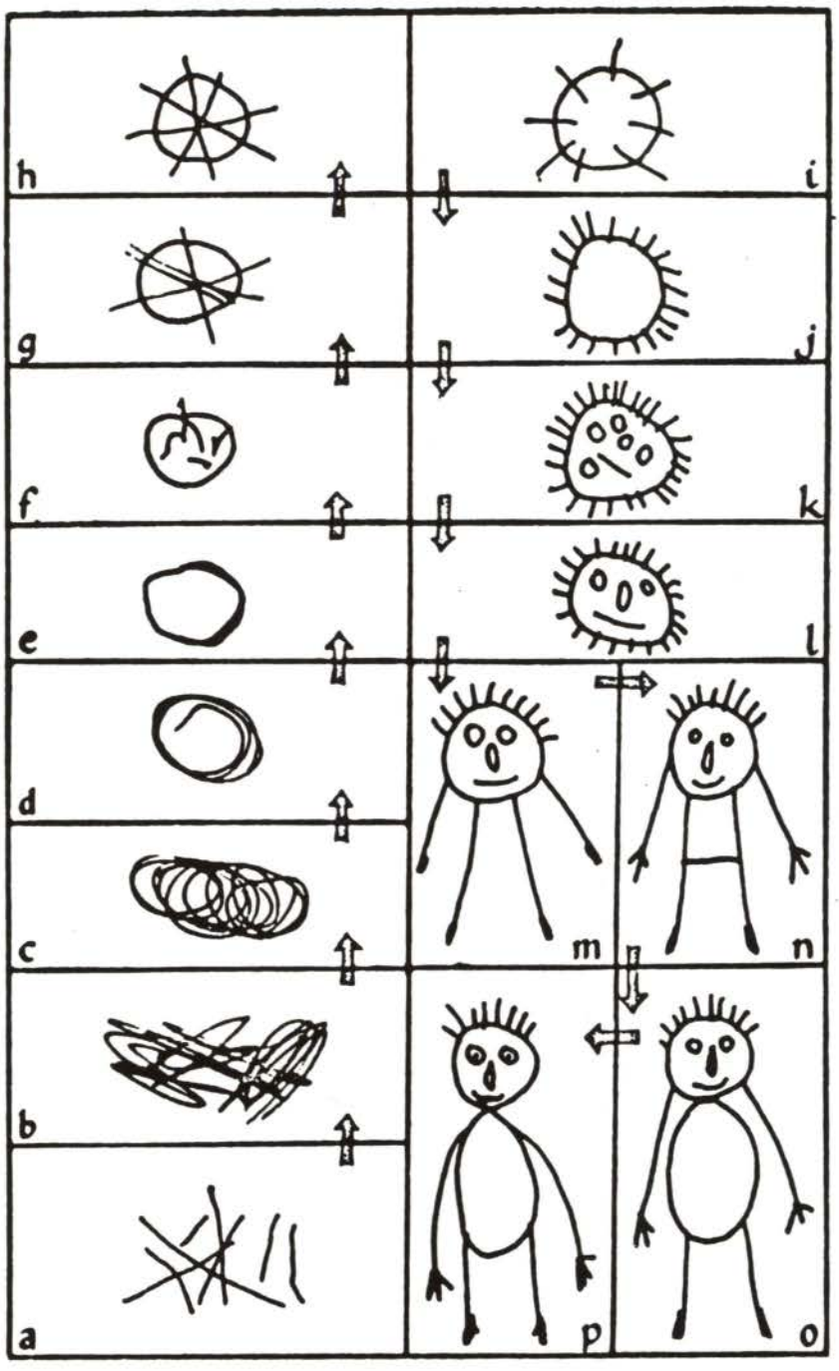


Figura 2
Rappresentazione schematica delle fasi tipiche nella differenziazione grafica della figura umana. (a) Semplici linee. (b) Tracciato multiplo. (c) Tracciato multiplo circolare. (d) Tracciato circolare semplificato. (e) Circolo. (f) Segni all'interno del circolo (Congo è stato capace di procedere fin qui nel cammino della differenziazione). (g) Circolo intersecato da linee. (h) Stadio del mandala. (i) Mandala *con centro vuoto. (j) Stato del "sole raggiante". (k) Sole raggiante marcato. (l) Prima rappresentazione: una faccia. (m) Stadio del "cefalodopo" con quattro raggi protesi come braccia e gambe. (n) Stato della testa+corpo. (o) Il corpo viene distinto dalla testa. (p) Le braccia scivolano nella corretta posizione dalla testa al tronco. (In parte da Kellog, 1955).*

delle scienze in genere).

Le obiezioni infatti a quelle che ritenevo verità ("poche, banali, dimostrabili") e che andavo via via esponendo a proposito della storia della prospettiva e del disegno e relativamente alle strutture segniche codificate nelle arti, mi arrivavano ormai dai fronti disciplinari più diversi e sempre con la riserva di un ulteriore rimando a discipline anche più remote dal campo di stretta pertinenza e dalla cui conoscenza sarebbe automaticamente e perentoriamente risultato (e in modo inconfutabile) quanto inattuali e superati fossero i miei argomenti di fronte alle "magnifiche sorti e progressive" delle "scienze umane" moderne e contemporanee.

Nei campi altrui ci sono entrato da allora anche più spesso che non avessi pensato di dover entrare. Sempre come puntate isolate però e senza addentrarmici troppo; ma tentando anche di stabilire tra le divergenti esperienze tutti i collegamenti possibili. E ho evitato per contro di raccattarvi in modo acritico – chiaro che non sono poi divenuto uno specialista di nessuna delle discipline nuovamente sfiorate – proposizioni, procedure, dottrine o spezzoni di dottrina inconferenti rispetto ai fenomeni considerati in partenza o incompatibili tra di loro. Ed è poi questa la ragione che mi ha spinto ad accettare l'invito dei promotori di questo convegno in cui si finirà ancora e immancabilmente per discutere dei fondamenti.

Così m'è toccato di dover rileggermi anzitutto quanto ho avuto occasione di dire e di pubblicare fin qui a proposito di quella tale teoria operatoria allargata ("della verità, del segno, della dimostrazione e dei modelli"), cui ho ripetutamente dichiarato di aderire e di cui ho tentato di evidenziare anche di volta in volta qualche tratto o carattere.

Debbo dire che l'esposizione complessiva risulta dopo tutto più esplicita ed organica di quanto non ricordassi; e vedo anche che dovrò riparlarne ora: prima di entrare nel merito del tema di questo convegno sulla rappresentazione geometrica. Altrimenti non si intenderà quali siano i fondamenti sui quali ho ragionato io per dire quello che ho detto e che dirò; né decidere se vale o non vale la pena di discuterne. Discuterne s'intende da questo punto di vista (o meglio: "*anche* da questo punto di vista").

Dissi che si tratta di una teoria operatoria. Una teoria generale della conoscenza più che altro: "operatoria" per non dire "operazionista", dato che sono Bridgman, Dingler e parzialmente Popper (per non parlare dell'analisi operatoria di Lorentzen e dell'opzione operazionista del Piaget) gli autori di primo o più immediato riferimento.

Io credo che tuttora il punto di vista "operazionistico" venga tenuto (tacitamente e "di fatto") presente da tutti coloro che si occupano seriamente di ricerca scientifica e che sia stato quindi giustamente accantonato da metodologisti, teorici e filosofi della scienza. Può essere che mi sbagli: ma penso che in ogni modo discuterne ancora possa essere di qualche utilità anche in riferimento ai problemi della geometria e del disegno.

A questo punto c'è tuttavia da premettere una pregiudiziale che molti diranno idealista o per lo meno kantiana; e kantiana in qualche modo essa è veramente. Ci viene da Dingler e non da Bridgman. E dice in sostanza che *prima della scienza* (prima che qualsiasi processo conoscitivo in senso sistematico e metodico sia stato avviato) *esiste da parte di un soggetto* (e sia, e quanto si voglia pesantemente, ancora implicato nella condizione animale) *una decisione di raggiungere il dominio cosciente, concettuale e manuale, della realtà.*

Può essere che la riaffermata consistenza del "soggetto", inteso in senso filosofico o – come si dice – "trascendentale"; che la presenza di questo "mostro metafisico" ("sbatti il mostro in prima pagina", si sarebbe tentati di dire) sconcerti da prima o scandalizzi l'operatore scientifico: assuefatto per suo conto a intervenire con criteri "meccanicistici" su una realtà che intanto esiste in quanto cade sotto i suoi strumenti di misura. Ma è proprio la "realtà" del soggetto la sola che non ha bisogno di dimostrazione. Dato che nessun'altra cosa può essere dimostrata, se non nella presunzione che ci sia un soggetto operante. La sua affermazione è implicita in ogni atto conoscitivo. Ogni dimostrazione ne presuppone la presenza. E nessuna proposizione avrà senso se non "per un soggetto", che abbia posto se stesso come soggetto e che si sia riproposto dei fini.

«Che cos'è il soggetto? È un assioma» scrissi nell'introduzione del 1969, quando sul metodo assiomatico ero tuttavia più fiducioso di quanto oggi non sia, ritenendo che anche per i formalisti gli assiomi fossero in fondo "verità". Non *di per sé* indiscutibili certo, ma «*nel fatto*» indiscusse (onde si pattuisce di accettare come vere nel corso della "discussione" effettiva, le proposizioni che potranno essere dimostrate ad esse coerenti).

Quanto al "soggetto" può ben essere che niente di simile possa essere definito in termini reali. Basterebbe in realtà l'enunciato del Locke intorno alla "personalità alternante" (più personalità che si "alternino" nel medesimo "corpo", ovvero migrazione di una medesima personalità da un corpo all'altro: che né il "paziente" né gli astanti avrebbero modo di rilevare) per mettere in crisi l'antica nozione di "io sostanziale". D'altro canto il medesimo "io" di Locke (come mera "persistenza della memoria") risulta parimenti privo di senso: a meno che in tale persistenza non sia già in qualche modo coinvolto il "soggetto".

Resta che il "soggetto" non è in discussione. Chiunque ne discutesse, mostrerebbe (nel fatto) di avere già optato per il sì: avendo già "posto" sé medesimo come soggetto parlante e l'interlocutore come soggetto comparabile. La stessa *impasse* solipsistica (io solo esisto e gli altri non sono che fantasmi che popolano il mio sogno), teoricamente insuperabile, è così risolta pianamente sul

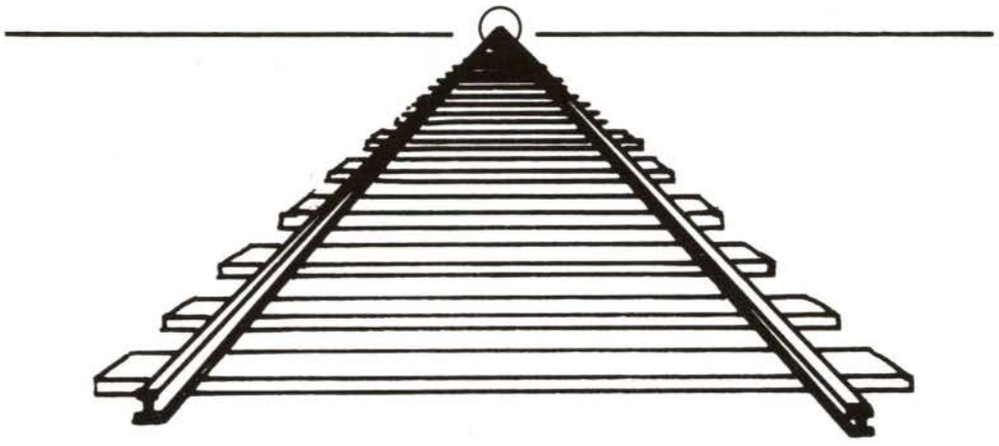
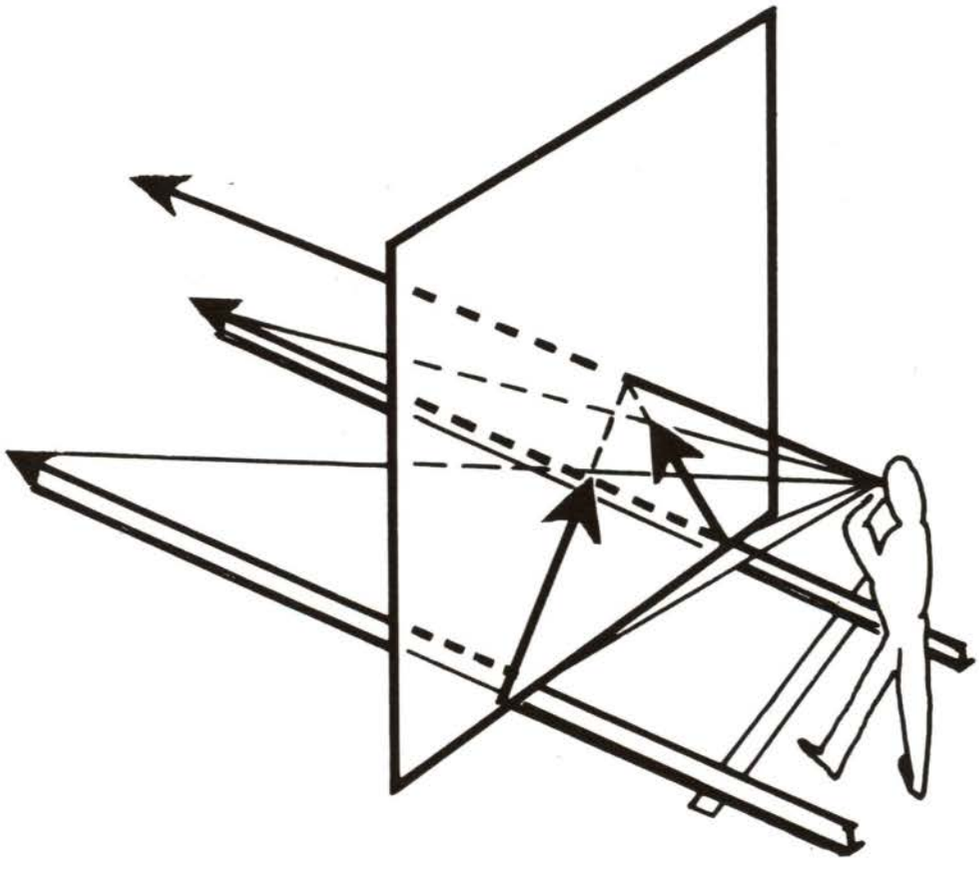


Figura 3
Blow-up: *l'ingrandimento ("zoomata")*
relativamente alla porzione
di "binario" compresa nel dischetto, *implica la ripetizione*
(indefinitamente ripetibile) della presente figura.

Figura 4
Due piani "tolemaici"
incernierati lungo la proiettante perpendicolare:
dimostrazione "finitaria" della convergenza "nel quadro"
relativamente alla "rappresentazione" delle parallele.



piano della prassi (Engels). Qualche cosa come nell'osservazione di Cicerone a proposito di quei filosofi, i quali *«in libris de contemnenda gloria nomen suum inscribunt»*.

Questo scrissi nel 1969 e pensai che fosse una efficace metafora: ma è in realtà un modello molto preciso per un tipo di ragionamento che in logica formale, malgrado tutto, non è affatto infrequente. E valido ha da essere anche in questo caso, dato che ogni alternativa porta a una contraddizione.

Ma veniamo all'operazionismo in senso stretto, all'operazione di Bridgman, ed allo slogan ("concetto= operazioni") che ne rappresenta al meglio l'essenza.

«Il concetto – scrive Bridgman (*La logica della fisica moderna*, New-York 1927) è sinonimo del corrispondente gruppo di operazioni. Se il concetto è fisico, come nel caso della lunghezza, le operazioni sono effettive operazioni fisiche [...]; se il concetto è mentale come nel caso della continuità matematica le operazioni sono operazioni mentali, cioè quelle mediante cui determiniamo se un dato insieme di grandezze è continuo o no».

Che il nostro agire e il nostro pensare fossero costituiti da "operazioni" (analoghe alle quattro operazioni dell'aritmentica elementare) poteva magari parere strano ai tempi di Bridgman. Oggi ci rendiamo conto senza difficoltà che sono "analogamente" operazioni così il nostro intervento diretto sulle cose quanto l'algoritmo che ne dichiara ed enuncia – in quanto progetto, in quanto verifica – lo schema operativo; e che gli stessi atti percettivi sono parimenti operazioni è oggi una verità relativamente banale. Ciò era noto del resto "da sempre" agli "operatori" del settore, onde il Ghiberti del Terzo Commentario poteva tranquillamente introdurre una locuzione come "l'operazione vedere", che a raccontarglielo a qualche collega diffidente giurerà che te la sei inventata, mentre è testuale.

Sarà a questo punto opportuno di riportare una precedente concisa esposizione dell'intera teoria (cfr. nota 1, annessa – p. 33 – al saggio *L'abbiccì della prospettiva,* in "Arte in Friuli – Arte a Trieste", n. 3, [Udine 1979] e la cui conoscenza dovrebbe essere preventivamente nota agli interlocutori), quale ebbi a delineare in margine ad uno scritto "elementare" sui fondamenti della Prospettiva. Ed eccone qui, di seguito, il contenuto:

«Le linee fondamentali di una teoria operatoria unificata potrebbero essere qui riassunte nei punti seguenti:

1) L'uomo conosce ciò che fa (Vico).

2) E, immerso ancora nello stato animale, già distingue tra comportamenti utili e inutili, innocui e dannosi (tra "operazioni" in altre parole *utili* e *dannose*). Ha già *posto* se stesso come *soggetto* e già *ha deciso* (Dingler) di intervenire nel mondo per modificarlo *a proprio vantaggio e* (a partire almeno dal momento istitutivo della scienza, ossia della conoscenza sistematica) *con crescente dominio ideale e manuale.*

3) L'osservatore interagisce perciò *necessariamente* con il fenomeno osservato. E nulla la scienza ha da dirci a proposito del soggetto in sé o della cosa in sé. Non istituisce in nessun modo un rapporto tra *conoscente* e *oggetto della conoscenza*, ma tra operazioni e operazioni (tra operazioni – al limite – "puramente" ideali e "puramente" manuali).

4) Estendendo quindi al "pensiero" *tout-court* il postulato di Bridgman relativamente al concetto ("concetto"=operazioni), si dirà piuttosto che tra l'operazione mentale ("due più due fa quattro") e la manuale corrispondente ("mettere *materialmente* due pecore accanto ad altre due") esiste sempre una catena intermedia di corrispondenze biunivoche (dallo spostare pecore in carne ed ossa e dalla manipolazione di *rappresentanti* "uno a uno" – "tacche" o sassolini – a quelli "differenziali": come nei pallottolieri, nei registratori meccanici ed elettromeccanici o nelle calcolatrici infine elettrica ed "elettronica"), tali da garantire in ogni punto l'isomorfismo sostanziale dell'intero processo.

5) Le operazioni *tendenti all'astratto* ("due più due fa quattro") possono sempre, e non solo nel campo dell'aritmetica elementare, essere considerate "segno" di quelle che all'opposto *tirano al concreto*("due pecore accanto a due pecore") e *di ciascuna delle intermedie:* nel senso che le *enunciano o significano.* Reciprocamente: sono le operazioni concrete ("fabbricare un motore a scoppio": la cui "verità" è garantita dall'effettivo funzionamento del dispositivo secondo il suo fine) che danno *senso* agli *enunciati* e ne costituiscono il *modello.*

6) Ogni dimostrazione è per costruzione e per constatazione. Nel senso che, riguardo i dati "sperimentabili" basta spesso la coincidenza dei risultati *tra due procedimenti operativi* paralleli uno dei quali già sia accettato come rispondente: la cui "verità", vale a dire, non sia *al momento* in discussione.

7) Ogni dimostrazione è pertanto sempre "storica", mai *veramente* "formale". Marcia per così dire *a doppio binario* (ed è con il solo spostamento di un'unità dall'una all'altra coppia che la proposizione *due più due fa quattro* si riduce, per esempio, all'equivalente *tre più uno:* mediante la quale la *quaterna* era stata, attraverso il "contare", istituita una volta per tutte). E non è per un caso che le teorie collaudate possano essere generalmente enunciate in forma di *equazione*, se ogni dimostrazione consiste nell'allestimento appunto di [almeno] due linee operative *equivalenti* (per il raggiungimento del medesimo risultato)».

La concezione operatoria riguarda l'interazione tra il soggetto e il "mondo esterno": la conoscenza *non mette* pertanto in relazione il soggetto con l'oggetto della sua indagine, ma solo operazioni e operazioni. Perciò *l'uomo conosce* – come già è stato detto – *ciò che fa* (Vico). E *vero è ciò che funziona.*

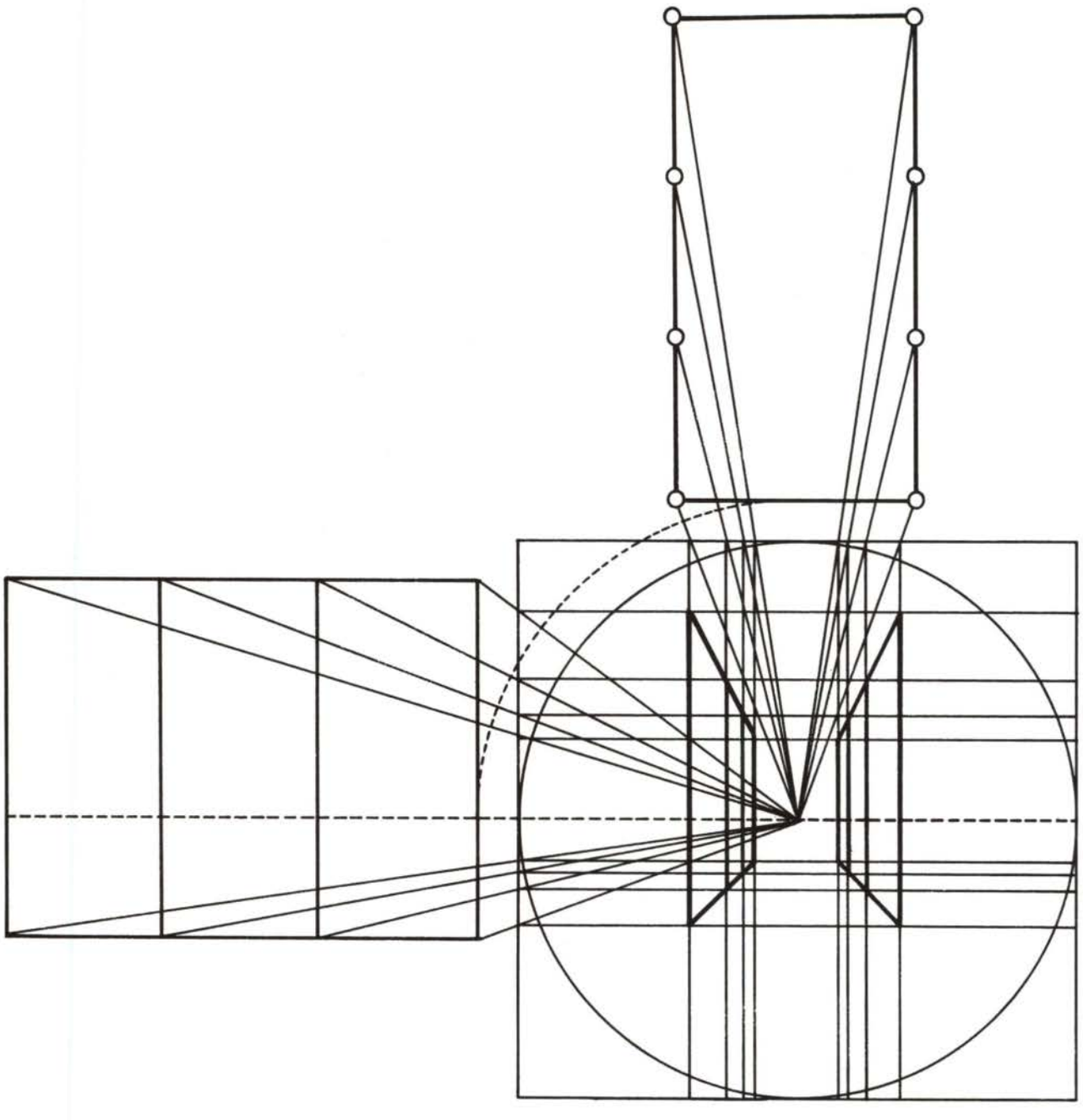


Figura 5
Il metodo diretto *secondo Vitruvio:*
come – dati pianta, alzato *e* centro *(per l'"occhio" e per l'estensione dei raggi) – "costringere" le linee a rispondere, quali immagini* certe *di cosa* certa, *secondo la "ragione" naturale: sì da render l'aspetto degli edifici nelle pitture delle scene (risultato: la rappresentazione di una fronte e dei fianchi "in fuga" e la risposta di tutte le linee al* centro di un giro di compasso*).*

C'è sempre in pratica una linea operativa meglio formalizzata che interessa direttamente segni o rappresentanti e che vale come enunciato e una meno astratta o più brutalmente "manuale" che viene considerata *tout-court* quale l'operazione concreta nel mondo. Vedremo che le cose non stanno esattamente così e che non è possibile attingere né l'enunciato "puro", che non sia supportato – lo è la stessa attività mentale – da una qualche struttura materiale, né manipolare altrimenti la "cosa in sé". Ma questo è un altro discorso. Ciò che ora preme di rilevare è che in realtà le due linee operative si controllano e si verificano a vicenda come in due procedure galileiane parallelamente allestite per *produrre* il medesimo risultato sperimentale.

Il primo che abbia inteso come la conoscenza scientifica (nel campo della geometria analitica) sia sempre data dal confronto di due procedure e l'abbia messo per iscritto è stato del resto lo stesso Cartesio nel saggio sulla geometria annesso al *Discorso sul metodo* (cfr. P. Freguglia, *Fondamenti storici della geometria,* Milano 1982): «volendo risolvere un problema si deve anzitutto [...] dare nomi a ogni segmento che risulti necessario per la costruzione del problema, sia che il segmento risulti dato, sia che sia incognito rispetto agli altri. Poi [...] si deve [...] stabilire, nei termini più naturali possibili, le relazioni tra i segmenti in questione; e ciò fino a trovare un modo per esprimere una medesima quantità in due modi diversi. *Così appunto si costruisce un'equazione*». Inutile dire che tutta la fisica moderna si è espressa in seguito attraverso equazioni.

Tutte le operazioni invero e non solo quelle matematiche si imparano a dominare sulla base di un confronto tra due linee operative equivalenti, una delle quali già per altra via interamente collaudata e posseduta. L'esempio più semplice, contare le pecore (e non già materialmente ripassandosi l'intero gregge tra le mani per diecine di volte, ma sul pallottoliere, sull'abaco dei Romani, sull'addizionatrice meccanica o servendosi altrimenti del "personal computer"), vuol dire appunto che in ogni caso e fin dal principio s'è fatto sempre il medesimo.

Quanto alle procedure ora chiamate in causa e dichiarate "astratte" o "concrete", occorre dire che si tratta pur sempre di nozioni relative. Poniamo che 2+2 = 4 sia un enunciato "astratto quanto possibile" e che mettere due pecore accanto ad altre due pecore sia un'operazione concreta "che più non si può". Nella realtà sono ambedue "intermedie" ambedue "modelli". Intermedie cioè come l'operazione "addizione" sul pallottoliere è intermedia tra l'operazione "carta e matita" da un lato e quella sulle pecore in carne ed ossa dall'altro. Di fronte all'operazione sulle pecore "vere" quella che si esplica mediante le palline del pallottoliere supplisce benissimo l'enunciato; ma può stare anche in luogo del referente materiale quando ciò sia nei confronti dell'operazione "carta e matita".

Restano così assodati lo *status* ambiguo o meglio intermedio di ogni modello operativo (ma i modelli, anche quelli del "trenino Marklin" sono sempre *operativi*) e la pluralità delle procedure parallele. Penso che a questo punto sia opportuno rimandare ancora una volta ad un mio scritto precedente (*Introduzione all'arte, introduzione a Piero*: del 1974, ma stampato in "Arte in Friuli – Arte a Trieste", n. 4, Udine 1980) per un'esposizione più distesa di questo punto e per valutare come l'abaco dei Romani " (e il suo gemello, il *soroban* dell'estremo Oriente) funzionino rispetto ai moderni *computers* in modo che tra questi e quelli tutte le operazioni risultino sostanzialmente isomorfe. Ed anche il modello delle "scatole entro scatole" (che nella fattispecie spiega come dal concetto di unità e di diecina si passi poi ai concetti di centinaio, migliaio e via dicendo) mostra poi come "analogamente" nascano, anche fuori dello stretto campo matematico, i concetti di secondo grado relativamente a operazioni o gruppi di operazioni "subordinanti" secondo la logica dell'inclusione entro classi.

I sistemi di segni nascono e crescono parallelamente al sistematizzarsi delle operazioni e rimangono in corrispondenza biunivoca con i nostri interventi "reali" (e finalizzati) nel mondo. Può trattarsi di operazioni "manuali", ma possono essere anche interventi "riflessivi": sul pensiero, sul linguaggio, sui segni. Basta che "per noi" sia sorto un problema: che mostri di aver senso di per sé o che, magari per inventare un nuovo gioco, ci prema comunque di risolvere.

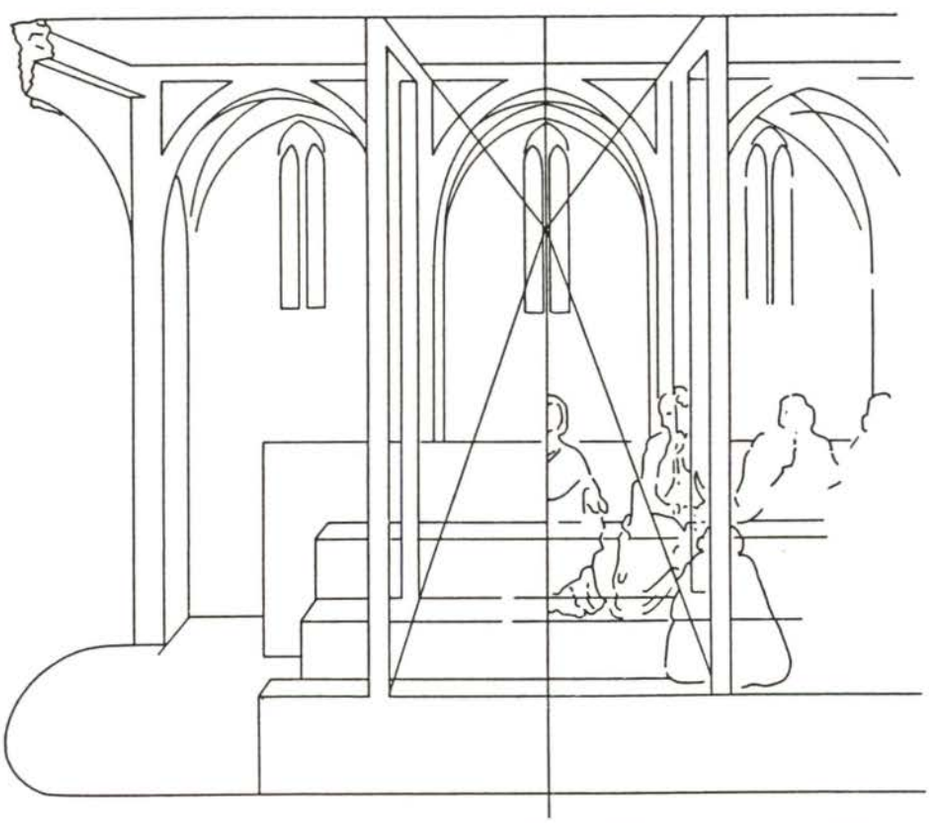
Ma un linguaggio "puramente formale" quale quello che si pretende essere il linguaggio dell'assiomatica astratta, un "codice" vale a dire "puramente sintattico" non è pensabile. *La forma di niente è niente*. Ma sembra che i matematici se ne siano scordati. E mi sembra che ancora si insista nel dire che gli assiomi definiscono interamente gli enti matematici (cioè li creano) e che "il numero 3 è la classe di tutte le classi che comprendono una terna di elementi", affermando per giunta che questo *non è* un circolo vizioso.

Questo dipende in sostanza proprio dai "vizi" del formalismo: credere cioè che ogni dimostrazione sia "puramente formale" e che gli assiomi di partenza riescano a definire ciascuna volta, da soli ed esaurientemente, sia gli enti matematici coinvolti che le relazioni – tutte le relazioni possibili – tra di essi.

Quanto più astratto (e quindi di grado più elevato: come le equazioni di secondo, terzo e quarto grado rispetto a quella di primo) sarà quindi il carattere delle operazioni considerate, d'altrettanto superiore e più nobile avrà da essere, per il formalista, la branca della matematica che se ne sarà occupata.

La coerenza di un sistema formale ("matematica come linguaggio") andrebbe così cercata – malgrado il teorema di Goedel che "formalmente" dimostra ciò essere impossibile – in un meta-sistema ("meta-linguaggio") parimenti assiomatico

Figura 6
Assisi, Transetto inferiore, La disputa.
Sotto: lo schema "centralizzato"



ma più generale e più astratto; e bisognoso a sua volta di trovare fuori di sé – con conseguente, immancabile rimando *"ad infinitum"* – le ragioni della propria coerenza.

Non c'è per altro nessun "irraggiungibile" meta-linguaggio "ultimo" che possa dar senso agli enunciati (assiomi o teoremi) dei linguaggi formalizzati; è il linguaggio comune che dovrebbe (è lo stesso Tarsky che lo riconosce) in quanto più generale e più "aperto" farsi carico delle manchevolezze del linguaggio-oggetto. Una proposizione che è o sembra ragionevole. Solo che il linguaggio comune riesce poi a sostenere le verità dei liguaggi formali non in quanto metalinguaggio (al di là, cioè "trans-linguistico" rispetto ad essi) ma in quanto "cis-linguistico": al di qua rispetto al linguaggio formalizzato dei tecnici e più immediatamente connesso con quelle pulsioni, emozioni, paure e desideri che impastano la vita dell'uomo e le danno senso proponendoglisi come fini.

La manipolazione dei segni non può creare i referenti, né relazioni tra i referenti che già non siano emerse dallo scontro diretto con i referenti stessi.

Senza un preventivo abbinamento di massima tra segni e cose, senza una fissazione di grossolane e pur generalissime categorie; senza la tacita premessa della presenza di un soggetto che ha già dato un "nome" – e qui nome sta per un qualsiasi "segno" anche mentale – a cose (o eventi) con cui s'è una volta scontrato (per riconoscerli al secondo incontro) e senza che tale soggetto abbia preso atto quanto meno dei meccanismi automatici di azione e reazione in cui è costretto a dibattersi, nulla significa nulla e a maggior ragione qualsiasi sequenza di "segni" resterebbe irrevocabilmente priva di senso. Potrebbe al più corrispondere – per un osservatore esterno – alla "meccanica" pura e semplice (una sorta di *Hardware* privo di *Software* per tenermi a un paragone usato anche da de Rubertis) del nostro sistema neurocerebrale.

L'operazionismo fa giustizia di tutto ciò. Il soggetto interagisce – per l'operazionista – direttamente con le cose: con le cose concrete e con le sue proprie procedure. La sistemazione "formale" (mai ripetere operazioni di cui già sia noto il risultato per ripetuti collaudi!) serve in tal caso ad allungare l'elenco di quelle relazioni tra oggetti che potranno essere alla lor volta pensate come oggetto virtuale, e manipolate di conseguenza. Ciò è servito finora – non è poco – ad abbreviare i tempi del nostro apprendistato nel "mondo" (scienza, conoscenza sistematica), e a garantircene (in quanto meglio "orientati") il crescente dominio.

Le relazioni "di grado più elevato" non saranno però mai intese dall'operazione quali relazioni dirette tra enti (e quale mai potrebbe essere il senso – dal punto di vista del sole – dell'attrazione esercitata dal sole sui pianeti?), ma come un rapporto tra le *nostre interazioni* (sensate) con l'oggetto *a* e le *nostre interazioni* (parimenti dotate di senso, cioè finalizzate) con l'oggetto *b*. E il rapporto tra codesti rapporti binari sarà quindi il passo successivo o di secondo grado, cui attribuiamo un livello "superiore" di astrazione.

È chiaro pertanto che ogni dimostrazione dovrà ricostruire analiticamente l'intero processo e rifarne la storia e ridiscendere quindi dai passi successivi a quelli precedenti e più immediati. In altre parole: non esiste possibilità di costruire sistemi deduttivi quando non sia presupposta l'esistenza di un soggetto operante e una serie di assiomi induttivamente costruiti. Ciò non è sempre chiaro a dire il vero. Si crede per esempio di poter introdurre come primario un concetto come quello di "velocità" intesa in senso assoluto: in base al quale derivare magari per deduzione formale le nozioni "più grossolane ed elementari" di tempo e di strada.

Ma quando diciamo "velocità" non facciamo che mettere in relazione le nostre interazioni inerenti all'oggetto "tempo" (meglio dire: la "memoria" delle competenti interazioni) con le nostre interazioni relativamente all'oggetto "strada". E in realtà *è proprio così* che l'oggetto (il concetto) "velocità" è stato una volta per tutte costruito ed istituito. È sottinteso che non parlo in questo caso della sensazione o dell'impressione globale e confusa della velocità, e che – solo in quanto analiticamente "costruiti" per primi – tempo e strada ne sono i precedenti immediati.

Non si può – su questo punto – non dare ragione a Leonardo: non si può uscire dalla condizione umana (e guai a volersi mettere dal punto di vista di Dio, o – come ora il Sawyer del *Preludio alla Matematica* – di un "angelo" o "puro spirito": che non è molto diverso); e conviene ammettere che non è vera scienza quella che non passa per le matematiche dimostrazioni *e il cui principio o il mezzo o il fine non ritorni dalla mano alla mano dell'uomo e non interessi in qualche modo ciascuno dei cinque sensi* [la citazione non è testuale, ma "a senso"].

Che percezione, sistemi di segni, e interventi nel mondo esterno si siano sviluppati insieme e correlativamente nell'ambito degli organismi viventi sembra chiaro: che tutto ciò abbia una preistoria nell'inorganico sarà vero anche, ma non interessa al nostro proposito. Personalmente ritengo ancora esemplare la teoria di Vitruvio sulla nascita del linguaggio parlato (teoria che rinuncia a proporre origini mitiche o metafisiche e che, come del resto il linguaggio stesso rispetto agli stadi prelinguistici, "comincia", per così dire *in media res*) che costituisce indubbiamente un modello plausibile per l'interpretazione dell'intero processo e per quanto riguarda almeno il "da indi in poi"....

«Scoperto per caso il fuoco e i vantaggi della vita associata, gli uomini primitivi che vagavano dianzi – dice Vitruvio – privi del linguaggio e come fiere nei boschi, cominciarono a radunarsi intorno ad esso per goderne i vantaggi e cooperare,

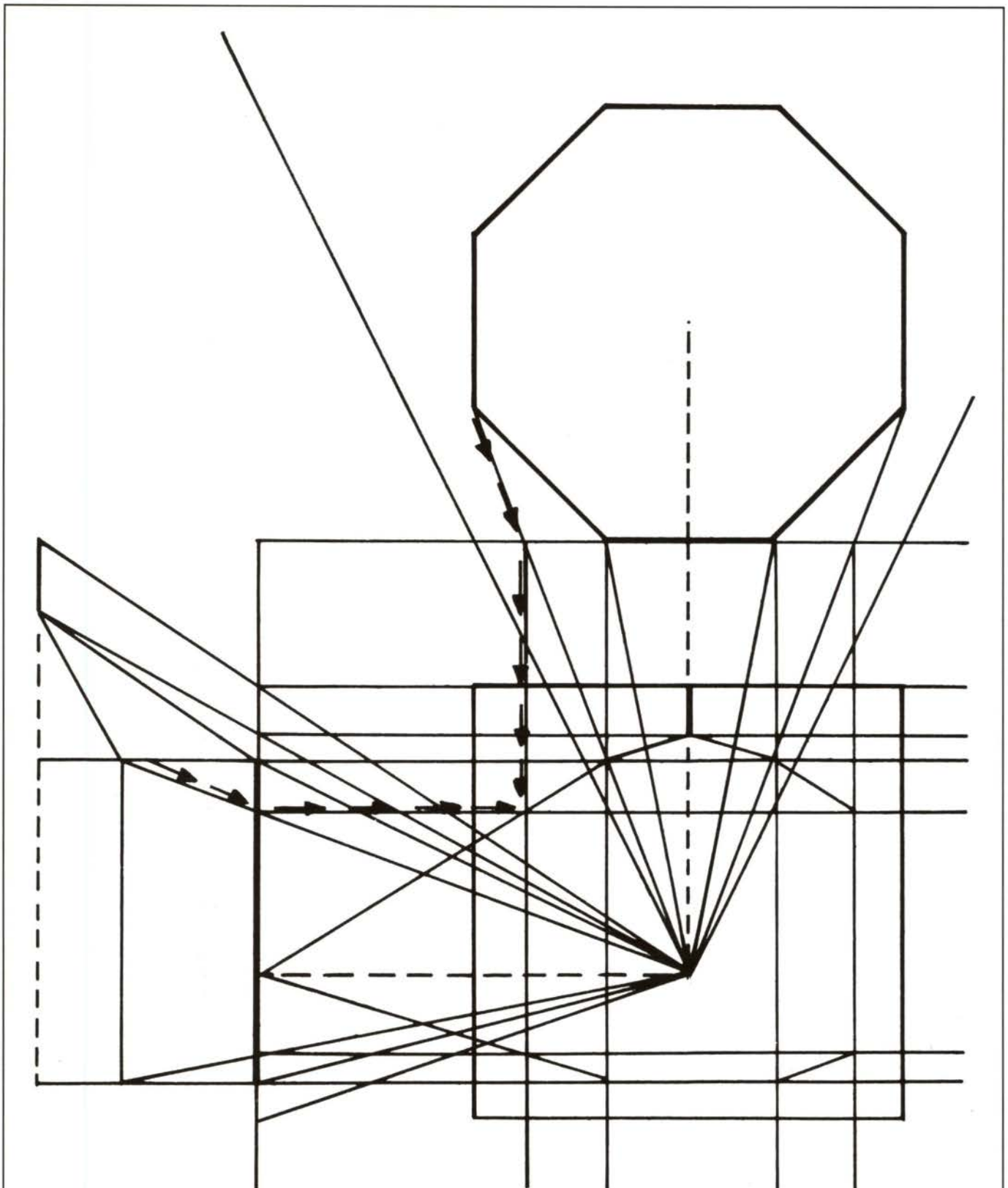


Figura 7
La verifica geometrica del reperto risulta di piena concordanza rispetto al metodo diretto secondo Vitruvio (e Martin).

accordandosi a gesti, per custodirlo e alimentarlo. In tali radunanze di uomini capitava loro di emettere dei suoni (*voces*) a seconda del tirar del fiato; in un secondo tempo, divenuta codesta una consuetudine quotidiana, costituirono così come capitava degli aggregati di suoni (*vocabula*) e infine significando [con il loro mezzo] le cose con cui più spesso gli avveniva di aver a che fare, cominciarono per caso a parlare a proposito (ex eventu fari fortuito coeperunt)». È l'abbinamento casuale tra parola ed evento che si fissa e si finalizza in tal modo e in tal punto su base statistica: fin da quando cioè la relativa frequenza dell'evento "ulteriore" (abbinamento) ne abbia imposta da prima la memorizzazione specifica.

Variazione a caso, fissazione selettiva. È il principio tipico dell'evoluzionismo darwinista o "neo-darwinista" (dato che al darwinismo prima maniera si rimproverò il supposto finalismo della sopravvivenza "del più adatto") e che tuttavia all'accusa di "finalismo" non riuscirà a sottrarsi in nessun modo. "Selettivo" significa in fondo finalizzato.

I fini pertanto o esistono in natura e dovremmo attribuirli in persona propria agli organismi tutti o siamo noi che, secondo i nostri principi e i nostri fini, li immettiamo – e questo basta all'operazionista – in un mondo insensato "come se" avesse senso.

Ma il modello darwinista (variazione a caso, confermazione finalizzata) è anteriore a Darwin. E secondo quanto avverte il Ragghianti (in "Sound-Sonda", n. 9, 1980, citando Jacques Tadhémar), fu enunciato fin dal 1855 da Alewander Baìn; e non a proposito dell'evoluzione biologica, ma dello svolgimento – guarda caso – delle arti e delle scienze.

Ma per tornare ora alle scienze e alle arti, è da dire che il medesimo "modello" che vale per la nascita del linguaggio parlato secondo Vitruvio presiede comunque alla costituzione di qualsiasi sistema di segni specifici. Non solo verbali cioè (o "uditivi"), ma tali da interessare qualsiasi "altro" canale sensoriale; e quello visivo segnatamente: poiché è nella vista il canale più rilevante e meglio abilitato a promuovere ("la vista, signora della conoscenza" dice Agostino) la conoscenza del mondo esterno inteso come campo operativo aperto ad ogni nostro intervento o progetto d'intervento.

Resta inteso che nessuna codificazione "a un solo canale" potrà reggersi da sola. E ciascun sistema codificato avrà bisogno del sostegno dei canali paralleli. Parlare di un oggetto di scarse caratteristiche tattili e olfattive e non commestibile (come un affresco, poniamo) non in presenza dell'opera e a chi non avesse mai visto nulla di simile non potrà mai portare a una piena comprensione di ciò che viene detto a parole. E l'*identikit* è stato inventato (dopotutto) apposta per questo.

Quanto al canale visivo io sono solito – data la specificità dei ricettori: coni, bastoncini, e segnalatori *on-off* (o "di movimento") – considerarlo scompartito a sua volta nei tre sotto-canali coloristico, chiaroscurale e linearistico. Quello linearistico, decisamente il meno rispondente alla natura dell'*input* esterno, è viceversa quello che fornisce le informazioni decisive (come *output*) per l'elaborazione ulteriore a livello centrale ("corticale" prima che centrale).

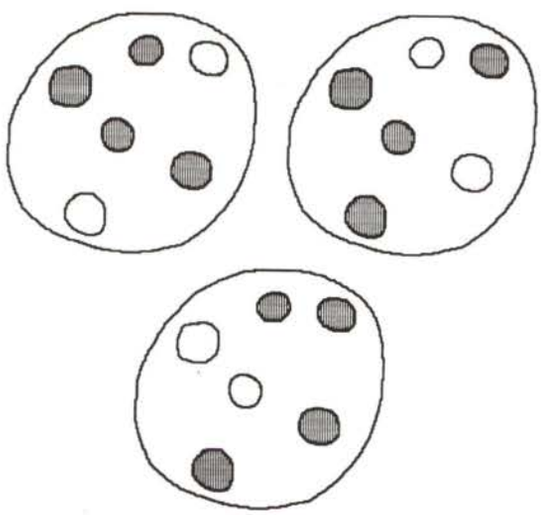
Ciò per dire che *in rerum natura la linea non c'è, ma si vede:* e questa sia la premessa fondamentale per la proposizione successiva: che il disegno lineare nasce, analogamente al "parlato" di Vitruvio, attraverso una serie relativamente limitata di disgiunzioni binarie e di approssimazione crescente rispetto al *corpus* sistematico delle informazioni che si perseguono.

La tavola di D. Morris ("dalla marcatura al cerchio e dal cerchio al pupazzetto") vuole illustrare (fig. 2) le fasi del processo di differenziazione nell'elaborazione di una figura schematica e niente di più. Personalmente ho voluto viceversa assumere questa sequenza come una catena di disgiunzioni binarie successive (ogni passo riducibile a un bit) nell'ambito della corrente teoria dell'informazione.

Quando l'operatore, scimmia o infante (dico io), ha regolarizzato la sua matassa di tracciati multipli nei tracciati multipli circolari e questi infine nel singolo circolo, vuol dire che ha "visto" come il primo circolo di ciascuna serie fosse più informativo che la serie intera. Per cui nella fase *e* l'operazione s'interrompe in quel punto e non si insiste oltre il primo giro.

Ma l'aver isolata dal resto del piano, una breve porzione circoscritta da una linea chiusa è quanto aver staccato una figura dallo sfondo, un corpo dal campo operatorio; sarà il segno di quel corpo; e rispetto al repertorio delle linee chiuse è stato impegnato un solo bit.

Il processo non è diverso nei passi successivi. L'altro momento cruciale è quando il cerchio interno è divenuto a sua volta il campo di marcature casuali e quando delle "molte marche" segnate (fase k) all'interno dell'oggetto rotondo ne vengono idealmente isolate solo quelle quattro (fase k, 1) che si possano leggere come occhi naso e bocca. Le tre facce possibili (secondo lo schema che ho in tal caso approntato qui sotto) mostrano



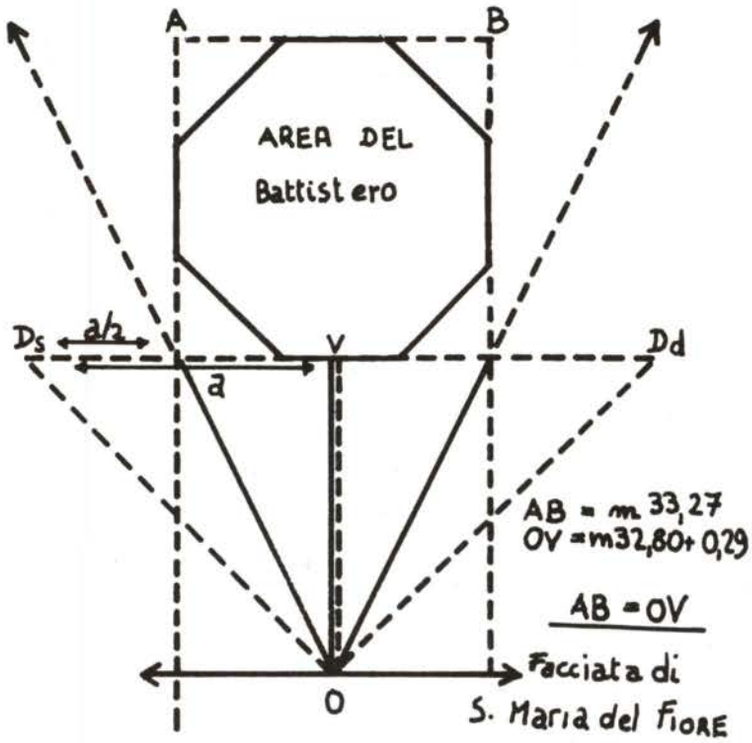


Figura 8 Situazione in pianta: la distanza OV (dal Duomo al Battistero) è pari al lato del quadrato che iscrive l'ottagono; fatto quindi aderire il piano di proiezione alla faccia anteriore del Battistero e considerati i due quadrati consecutivi, l'inquadratura che ne risulta (triangolo di Eulero) lascia sufficiente "respiro" allo sfondo paesistico mentre segnala parte per parte il luogo, comunque notevole, della "mezza distanza".

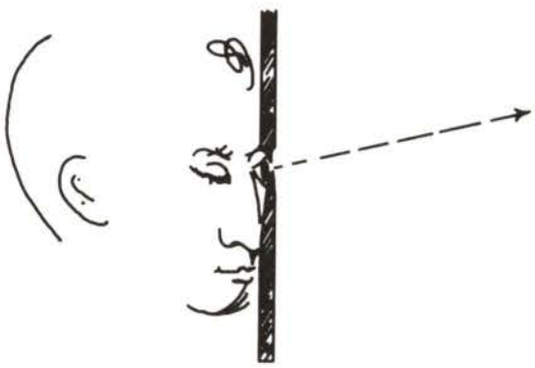


Figura 9 Per consentire un moderato "alzo" dell'"asse" nel caso di un foro fuori centro, basterà tagliare proporzionalmente "obliquo" il profilo del foro.

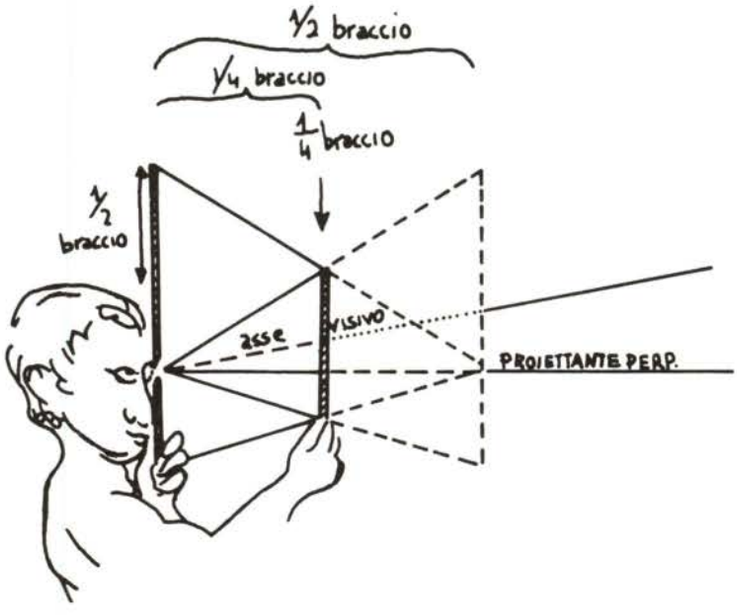


*Figura 10 L'alzo dell'*asse visivo *(naturalmente mobile e trascorrente da punto a punto) non sposta, ovviamente, la* proiettante perpendicolare*; dimensionamento dell'apparecchiatura.*

di presentare anche una fisionomia e un'espressione". Il bambino (la scimmia a questa scelta non è mai arrivata) ne sceglierà l'una o l'altra e ne regolarizzerà il tracciato, immagino, nella fase successiva: ma non ripeterà comunque le marcature eccedenti.

Fin qui è tutto abbastanza chiaro. Meno evidente che cosa rappresentino le fasi intermedie da f a k. Anche la scimmia infatti arriva alla fase f (marcatura disordinata all'interno del cerchio) dalla quale la fase k dovrebbe discendere immediatamente. Penso che in questo frattempo siano intervenute alcune altre disgiunzioni fondamentali anche se apparentemente marginali: dividere il campo due volte in due semicampi (g) mediante la verticale e l'orizzontale. E poi inserire tra i bracci della croce diritta così ottenuta una seconda, inclinata a quarantacinque gradi, che specchi i quadranti in ottanti.

Solo ora, tenendo a mente la virtuale raggera come riferimento ideale e ineliminabile, sarà possibile di memorizzare la *posizione relativa* di ciascuna delle marche casuali tracciate all'interno del circolo e di "tenere a mente" alla fine anche le configurazioni che siano per risultare ciascuna volta dagli abbinamenti e dagli aggruppamenti (ideali) tentati per prova.

Questa dunque l'origine del disegno lineare inteso come esplicitazione della nostra interazione visiva con le cose e con lo spazio.

E con ciò vengo a dire del disegno tecnico. Chiaro che il disegno tecnico non è che una razionalizzazione univoca e metodica di questo medesimo processo. E se il disegno "spontaneo" tende naturalmente alla schematizzazione geometrica, nel disegno tecnico il riferimento a forme geometriche regolari è integrale e sistematico: al fine di rendere progettabile ogni nostro intervento manuale o altrimenti inteso a introdurre l'ordine nel disordine apparente.

La geometria è il primo approccio analitico rispetto alla globalità del "vissuto". Si tratta proprio di segmentare il nostro campo operatorio (nel quale ci siam mossi fino allora "d'istinto") in modo da inserirvi delle linee progettuali intese a consentirci di montare e smontare a nostro talento il grande "puzzle", sì che l'intervento deliberato possa riuscirci sistematicamente vantaggioso.

Non credo che la geometria sia meno esatta dell'algebra. È un'illusione ricorrente quella di credere che esprimere un numero "reale" per mezzo di decimali (la cui coda dovrò pur sempre interrompere in un certo punto) mi consenta di individuare senz'ambiguità *quel* dato numero reale *in modo esatto*. E che l'approssimazione della geometria sia invece grossolana o imprecisa.

Come l'aritmetica, anche la geometria è fatta di forme ideali. E quel qualsiasi processo che mi servirà a costruire con riga e compasso la bisettrice di un segmento o di un angolo o (non certo con riga e compasso) la trisezione di un angolo o la duplicazione del cubo sarà pure perfettamente determinato come enunciato (non meno e non più che la progressione da cui si genera quel numero), mentre sarà approssimativa, se la vorrò eseguire in pratica, l'operazione così dichiarata.

Ma nel caso del numero potrò sempre aggiungere decimali inferiori, si dice. E con ciò? Anche nel caso del disegno potrò sempre eseguire una serie di disegni di scala crescente di modo che in ogni caso possa risultare trascurabile rispetto alla finezza dell'operazione richiesta lo spessore (tanto per fare un esempio palmare) delle rette tracciate a matita sul foglio di carta: sì da poter inseguire in teoria, qualsiasi coda di decimali che l'algebrista possa aver per suo conto voluto precisare e ritenere.

Io ho a dire il vero tentato di esplicitare meglio questo pensiero a proposito del punto di fuga che, nella prospettiva, dovrebbe rappresentare come si dice un punto all'infinito. Io non credo ai punti all'infinito. Un punto all'infinito è un punto "alla fine dell'infinito": è una contraddizione che serve per dissimulare la sostanziale approssimazione che è insita in tutti i procedimenti infinitesimali (o che anche altrimenti abbiano a che fare con progressioni infinite ossia "indefinitamente" protrattili) e che ovviamente si fermano sempre *prima* della "fine dell'infinito".

Quale sia il rapporto tra il *triangolo di fuga* sul quadro e i due binari che marciano verso l'infinito (essendo rappresentati da due cruri del detto triangolo) ho cercato di mostrarlo attraverso la metafora (figg. 3 e 4) della *zoomata* in due figure (assai male eseguite a dire il vero) dell'*"Abbiccì"* del 1979.

Ma il medesimo vale anche per le coordinate omogenee della moderna proiettiva, le quali vengono in sostanza ad affermare che qualsiasi grandezza finita è imparagonabile sia all'infinito che al nulla e che pertanto, in rapporto a questi due estremi, *tutte le grandezze finite sono uguali tra loro*.

Il principio degli ingrandimenti successivi (o delle zoomate) e l'introduzione delle coordinate omogenee ci dicono in sostanza la stessa cosa. Ed è questa: che esiste una "soglia di trascurabilità" che è diversa da caso a caso, ma che in tutti i procedimenti infinitesimali può essere sempre rispettata, dato che l'errore può essere sempre reso minore di "qualsiasi grandezza data piccola a piacere". Val la pena di dissimulare tutto ciò, solo per garantire l'uniformità del calcolo limitatamente a settori che in parte o in qualche accezione particolare possono, benché eterogenei, essere considerati omogenei?

Io non ho nulla contro le procedure moderne che hanno aperto campi molto promettenti al lavoro del matematico, ma credo che i fondamenti non mutino come si crede. Credo che le algebre di Boole abbiano mostrato veramente come funzioni quel *personal computer* che sta nella nostra testa, che gli insiemi di Cantor costituiscano un'interessante teoria delle corrispondenze biunivoche, e che la stessa analisi non-standard, oltre a reintrodurre nel modo di parlare quelle impre-

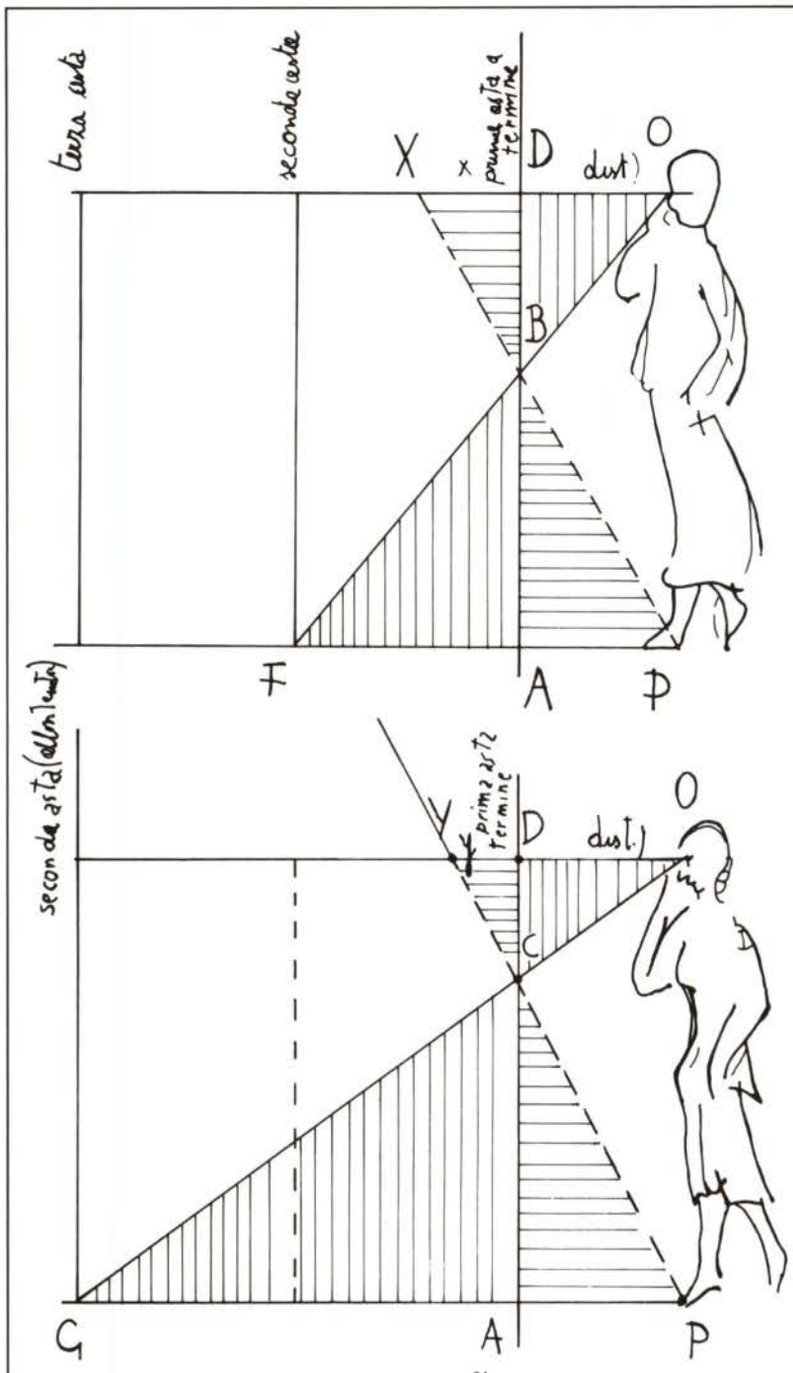


Figura 11 «*E sempre è l'immagine della seconda linea (asta) rispetto alla prima in quella proporzione che è dal termine all'occhio e dall'occhio alla seconda*» *(Piero della Francesca). Dal primo disegno risulta che: i "triangoli tratteggiati" sono a due a due simili: perciò x sta alla distanza come BD a AB e cioè x:d=BD:AB, ma risulta anche che d:AF=BD:AB e che quindi x:d=d:AF. Ma dal secondo disegno (in cui AG è doppio rispetto AF) risulta anche che y:d=d:2AF sicchè y=x:2.*

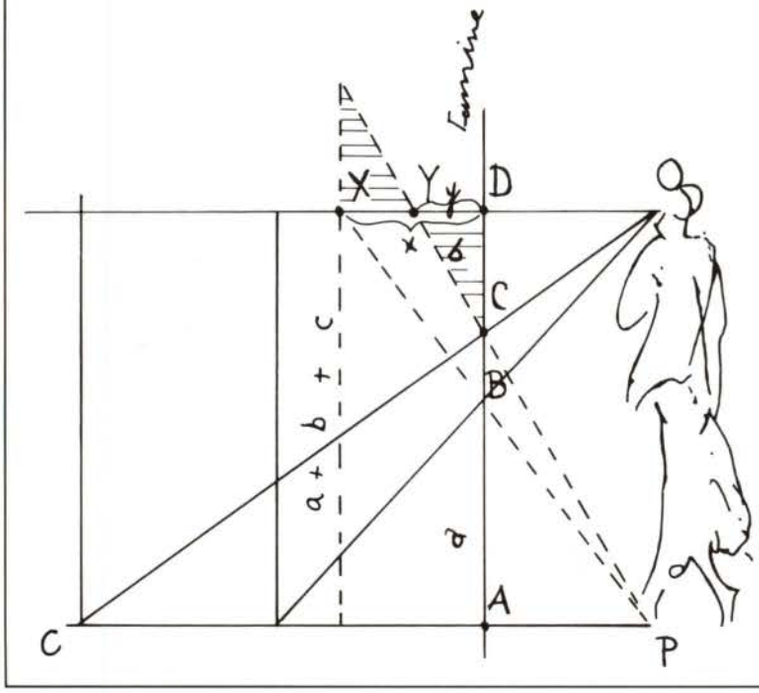


Figura 11A Sovrapponendo i due disegni di fig. 11 e tracciando una perpendicolare per X.
Dato che y=x:2 e XY=YD, anche i triangoli "tratteggiati" sono uguali; per cui la misura di c si riproduce in testa a X. Basterà ora considerare i triangoli con vertici in P e leggervi semplicemente la relazione desiderata a:b (nel "termine") come (a+b+c): c (nella perpendicolare per X) ossia a • c=(a+b+c) • b.

cisioni che Archimede e Weierstrass avevano bandito, abbia veramente rese più sbrigative certe procedure che avvengono in condizioni di non pregiudizievole incertezza.

Credo anche che le geometrie non-euclidee (che tra l'altro derivano tutte dalla proiettiva e sostituiscono anche nei modelli esemplari – come nei modelli di Klein o di Poincarè – i birapporti alle lunghezze) possano avere ed abbiano senz'altro una loro funzione nel campo dell'applicabilità alla fisica: come gruppi albebrici "analogamente costruiti" al limite; come modello di operazioni che abbiano magari anche qualche rapporto preciso con lo spazio in cui viviamo, posto che la stessa proiettiva non è che la trasposizione visiva dello spazio visivamente vissuto.

Ma mi sembra che sia ora di finirla con il dire che le geometrie di Riemann o di Lobacewsky sono altrettanto vere come l'euclidea. Solo la geometria cosiddetta euclidea è stata da noi costruita sulla base delle nostre interazioni "manuali" nel mondo. La geometria euclidea "solida" ingloba in realtà tutte le altre forme di geometrie "pensabili": (quelle impensabili come gli spazi a n dimensioni sono, come s'è detto, dei gruppi algebrici relativi a operazioni che non hanno generalmente nulla a che fare con lo spazio della comune esperienza).

Che poi i "raggi visuali" s'incurvino in presenza di masse o campi gravitazionali non intacca per nulla la "verità" della geometria d'uso. E in effetti rispetto a quali coordinate sarebbero mai curve le cose curve, una volta che sia stato assodato che veramente lo siano? E se poi le stesse "coordinate curve" servono (e come no?) in vari campi o settori della geometria, chi mai potrebbe "curvare" quelle altre coordinate da me "pensate come rette" e *rispetto alle quali* sono curve le prime? Quanto ai raggi visivi (le traiettorie dei treni d'onda nell'ambito delle radiazioni elettromagnetiche) il fatto che possano curvarsi (o siano anzi e senz'altro da ritenere generalmente e variamente curvi) non è poi un evento così drammatico come pare si tema: e s'incurvano anche in un bicchier d'acqua, se è per questo.

Non bisogna confondere – in altre parole – la mappa con il territorio, né credere che se tre alla terza corrisponde altrettanto bene al volume di un cubo di tre metri di lato, che a tre bastonate in testa per tre giorni di seguito di tre settimane successive, tra i cubi e le bastonate una qualche somiglianza in più ci debba pure essere.

Ma il disegno tecnico consiste comunque ancor oggi in una struttura privilegiata per progettare, esprimere e verificare l'intervento dell'*homo faber* nel suo mondo. Credo che abbia dato molto all'umanità: che non ci sia cioè nessun'altra attività capace come il disegno di rendere univoche e metodiche le nostre operazioni. E che non esista un altro sistema di segni altrettanto conveniente a rappresentarle: rigido – e perciò semplice – in quanto codice; ma duttile a domanda quanto o più di qualsiasi altro sistema.

Gran parte della geometria è stata ed è disegno. Penso che una storia "interna" del disegno nelle sue varie declinazioni e procedure possa ancora aiutarci a ricostruire i processi reali, che hanno sostenuto e sostengono le cosiddette rivoluzioni scientifiche e a smitizzarne spesso i presunti "capovolgimenti di paradigma".

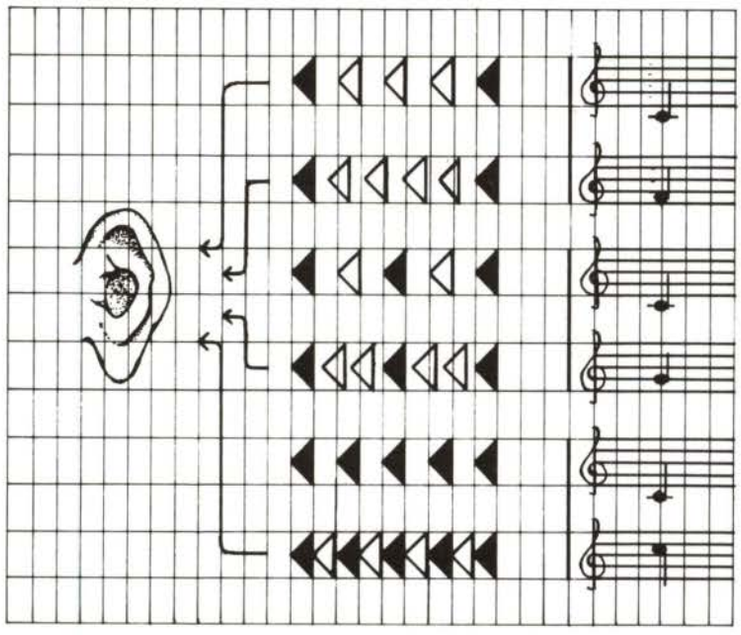
Ciò che in simboli puramente matematici sembra talora qualche cosa di assolutamente nuovo o diverso rispetto ai paradigmi vigenti, si rivela, il più delle volte, a ricostruirne analiticamente i passi realmente percorsi, come un banale ampliamento del patrimonio cognitivo fino allora accumulato. Si può essere tentati di cambiare il nome (in funzione di un prevedibile "ampliamento ulteriore") a quei "concetti" che, emersi alla fine della sistemazione teorica precedente, saranno la base su cui sarà costruita la nuova teoria, certo. Ma se è vero che "concetto=operazioni", è chiaro che cambiargli il nome non servirà a cambiare l'evento-intervento su cui si pensa di fondare la teoria ampliata.

Ricostuire non ciò che i protagonisti stessi delle fasi attive dicono o credono di aver fatto, ma ciò "che hanno fatto veramente": questo secondo me il solo compito di una storia della scienza (ossia delle procedure cognitive effettuali) che sia per risultare ancor oggi propulsiva rispetto alla scienza *in fieri* e comprensibile anche agli "apprendisti".

Per mio conto debbo dire che le mie esperienze sono limitate, ma che forse non sarà inutile di riassumere quello che può essere – in questo senso – il frutto della mia personale esperienza. Mi sono prevalentemente occupato della storia della prospettiva. E ho finito per considerare la prospettiva teorica quale uno dei modelli operativi più rispondenti per allestire in seconda battuta dei modelli di immediato riferimento percettivo relativamente a qualsiasi intervento "manuale" eseguito o progettato: un modello cioè con il quale si possa interagire "analogamente" rispetto alla prevista interazione con la realtà.

Né starò ora a dichiarare quali possano essere le interazioni rispetto ad altri "codici linearistici" diversi da quelli prospettici. Solo debbo almeno di sfuggita accennare al codice "egizio" (per le possibili risposte a quella domanda che è l'unica in tal senso pertinente: che ci fai tu con quella cosa lì?) relativamente alle navi – poniamo – di Hatscep-Sut nei disegni-rilievi di Deir-el-Bahari (li posso passare direttamente al cantiere, se è per questo: e si tratta dopotutto di disegni "esecutivi" in scala) o a quell'acrobatico montaggio di parti che – testa, braccia e gambe di profilo, torace di fronte e occhio parimenti frontale – costituisce di norma la figura egizia (ci puoi sempre prendere – ciò piacerebbe a Bridgman – le misure per il vestito nuovo del Faraone...).

Ma passiamo ai codici di tipo "naturalistico", dato che prevalentemente



	frequenza:	rapporto f
do "sotto il rigo"	261,63 vibrazioni sec.	1
mi	rispetto alla f.del do: 5/4	1,25
do		1
sol	rispetto alla f.del do: 3/2	1,50
do		1
do "dell'ottava sup."	rispetto alla f.del do sotto il rigo: 2/1 (doppio)	2

Figura 12 in alto. Tra il do e il mi che in senso ascendente immediatamente lo segue, l'intervallo, detto di terza maggiore, è pari a un rapporto di 5/4: ciò vuol dire che la frequenza del mi rappresenta i 5/4 di quella del do e che ogni quinto impulso del mi è nuovamente "in fase" rispetto al quarto del do.
Tra il do e il sol l'intervallo "di quinta" corrisponde a un rapporto di 3/2: la frequenza del sol è pertanto pari a una volta e mezza (3/2) rispetto a quella del do e ogni terzo impulso del sol è in fase con ogni secondo impulso del do.
Tra il do e il do superiore l'intervallo è di ottava; la frequenza del do superiore (rapporto 2/1) è doppia e ogni seconda vibrazione del do superiore sarà pertanto in fase con ciascuna delle vibrazioni indotte dal do dell'ottava inferiore (do "sotto il rigo").

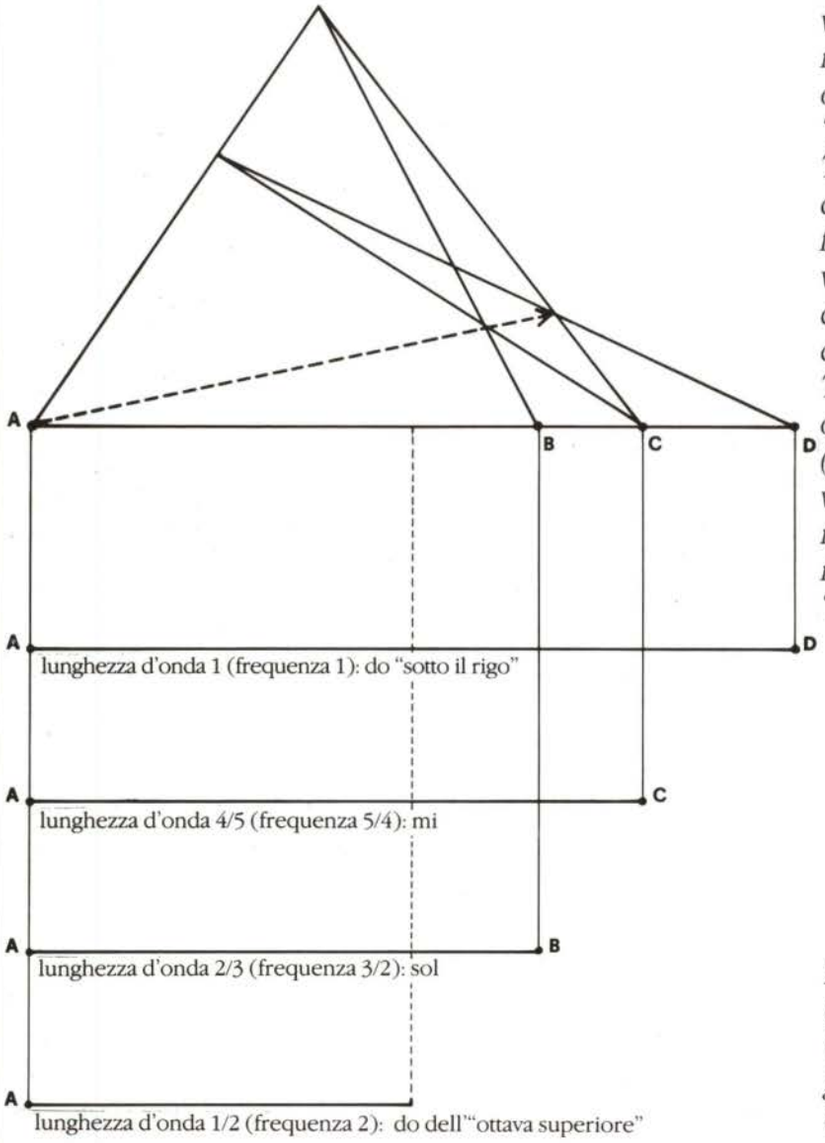


Figura 13 in basso. I punti A B C D costituiscono una quaterna "armonica" (birapporto=1), come si prova anche graficamente completando le diagonali del quadrato in prospettiva.

mi sono occupato della fase ulteriore del processo: della nascita della prospettiva cioè e del suo decadimento; e della sua rinascita fino all'affermazione dei procedimenti moderni e ancora in uso. Ho cercato di vedere anzitutto che cosa intendessero dirci i Greci e i Romani nel corso dello stabilimento primo della teoria prospettica: ed ho mostrato qual è l'interpretazione rispondente dei testi di Vitruvio che ne dichiarano le procedure. E l'ho detto e scritto tante volte che non lo ripeterò (fig. 5) altrimenti.

Ho mostrato quindi come sia Giotto il primo che "modernamente" si renda conto che è possibile ottenere, battendo un punto di fuga "principale" da valere per tutto lo spazio del dipinto (e scorciando secondo la diagonale i quadrati relativi a soffitti o pavimenti), una pittura "così vera" (fig. 1) che avrebbe finito per mettere in crisi prima o poi tutta la decorazione pittorica tradizionale. Ma ho anche pensato che Giotto attingesse in sostanza senza un'analisi esaustiva del procedimento a superstiti modelli greco-romani della fase secondo e terzo stile. E che il Brunelleschi dovesse in pratica ripartire da zero.

Credo di avere quindi dato delle plausibili indicazioni per ricostruire la "dimostrazione" (operativa) del Brunelleschi, riguardo alla "prima" delle due tavolette prospettiche. Ciò è stato – secondo me – attraverso il confronto di due linee operative parallele (una di rilevamento diretto, l'altra di deduzione da pianta e alzato: figg. 7, 8, 9 e 10). Ma la conclusione più generale è che tutte le dimostrazioni sono parimenti "per constatazione" e poiché per procedere alla constatazione *devo* ripercorrere uno per uno tutti i passi precedenti, ciò significa che ogni dimostrazione è sempre anche e soprattutto "storica".

È in tal senso che ho lavorato anche ultimamente. E ho scoperto per esempio che in Piero della Francesca la proposta progressione delle equidistanze prospetticamente scorciate è già una regola generale espressa in una ineccepibile forma algebrica, ancora che beninteso pur sempre nell'ambito della cosiddetta "algebra in parole". Conseguentemente ho voluto vedere se, mediante un semplice sistema di similitudini incatenate (quale quelle che Piero usa comunemente) si potesse andare anche oltre il dettato e ho lavorato sul disegno di quelle quattro aste in successione di cui parla l'autore (ma anche il disegno – figg. 14 e 15: da "Edizioni scientifiche U.I.A." Venezia, in corso di stampa – è mio, dato che Piero non ha creduto opportuno di illustrare un procedimento così banale) ed ho facilmente ottenuto una visualizzazione immediata della nozione "birapporto=1" nelle quaterne "armoniche" (fig. 13).

Ciò mi servì per formulare la seguente ipotesi: il birapporto generico è un concetto troppo vago ed astratto per essere un concetto primario. Operativamente si può istituire solo dopo che sia stato chiarito il senso del doppio rapporto in qualche cosa che si fosse proposta da prima quale immediatamente dotata di senso e cioè la quaterna prospettica (dei "quattro punti armonici"). Il fatto che tale quaterna (e la serie che ne deriva) sia stata chiamata "armonica" o "anarmonica" (da Chasles; o chi per lui: e non prima – a quel che pare – degli inizi del secolo scorso) viene dal fatto che si riproduce in essa qualche cosa che ha a che fare (Sawyer) con l'accordatura degli strumenti musicali. Come avesse a che farci non ero riuscito a sapere lì per lì. Debbo a Lando Bartoli (il cui libro sulle proporzioni musicali in architettura – "La rete magica di Filippo Brunelleschi" – resta tra le non molte cose sensate scritte in proposito) l'informazione che cercavo.

Era nell'accordatura per terze e quinte del sistema moderno rispetto alle due note estreme (do-mi-sol-do) la ragione, per cui era stato dato il nome di armonica a una serie "prospettica" (e che poteva ovviamente assumere infiniti altri valori rispetto ai 4/5 dell'intervallo di terza e ai 2/3 di quello di quinta): in quanto visualizzazione di grandezze il cui birapporto fosse comunque uguale a 1 (–1 secondo l'uso attuale: fig. 17).

Questo dissi nelle lezioni relative al corso di Storia dell'Arte 1984-85. E ne presi nota nella traccia scritta che conservo. Non sono passati sei mesi da allora e, nel ripren-

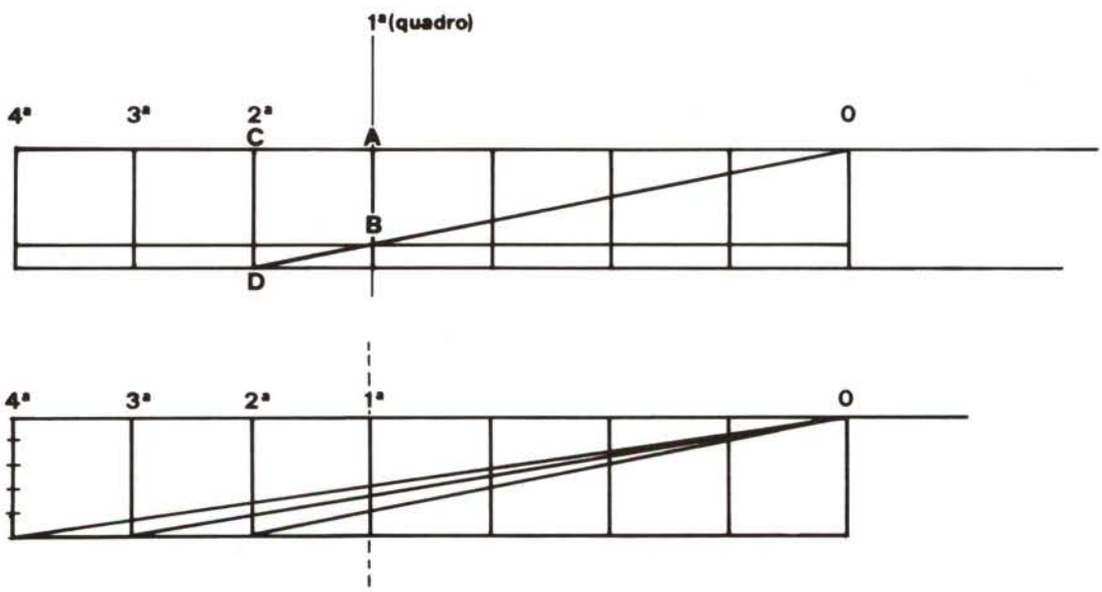
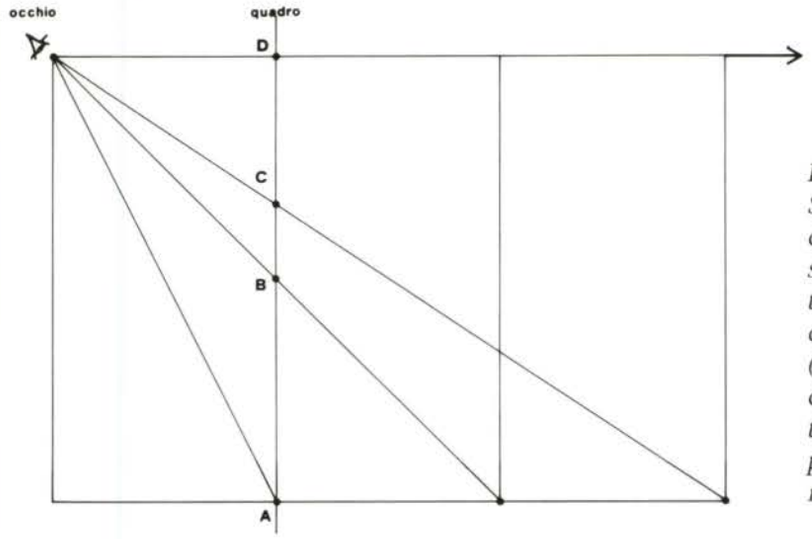


Figura 14 O=occhio distante quattro braccia dal quadro, 1ª=prima "asta" o "linea" di un braccio, giacente sul quadro; 2ª, 3ª e 4ª: linee parallele di un braccio distanti un braccio l'una dall'altra.
Per la similitudine dei due triangoli con vertice in 0 e con basi rispettivamente in AB e in CD, risulta che la proiezione della seconda asta sulla prima è pari ai quattro quinti di questa.

Figura 15 L'immagine della seconda asta sul quadro è quindi pari ai 4/5 della prima (84/105). L'immagine della terza asta sul quadro è pari ai 5/6 di quella della seconda (70/84). L'immagine della quarta è, sul quadro, pari ai 6/7 di quella della terza (60/70).



Da Vitruvio
Similiter cum astrologis et musicis est disputatio communis de sympathia stellarum et symphoniarum, in quadratis et trigonis, diatessaron et diapente a geometris divisus qui graece logos opticos appellatur (musici e astronomi usano le medesime considerazioni riguardo a quadrati e triangoli: che è quel che, diviso dai geometri per quarte e quinte, è chiamato in greco rapporto prospettico):

Figura 16
La serie ABCD usata per individuare le note fondamentali dell'accordatura antica (do sol do) per quarte (3/4 rispetto alla nota successiva) e quinte (2/3 della nota successiva) corrisponde, nell'ipotesi di una serie di equidistanze (compresa la distanza dall'occhio al piano di proiezione), alla diminuzione 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 per la grandezza delle "aste" (ed è la classica serie prospettica semplificata, attribuita a Leonardo) e rispettivamente 1/2, 1/2-1/3, 1/3-1/4, 1/4-1/5, per le equidistanze reperite sul piano di terra. E' questa la serie che «divisa dai geometri per quarte e per quinte è chiamata dai greci rapporto prospettico».

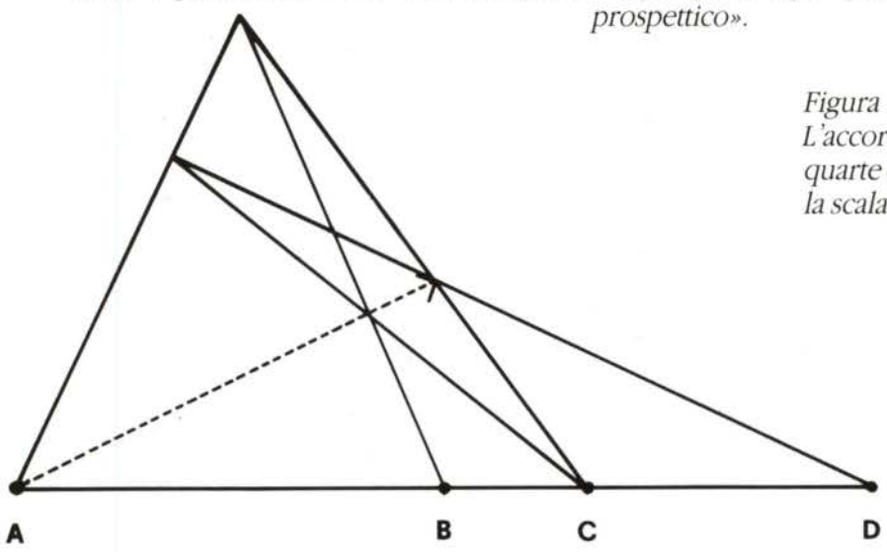


Figura 17 di sotto.
L'accordatura degli antichi tetracordi era per quarte (diatessaron) e per quinte (diapente): la scala era discendente e non ascendente.

do della seconda ottava o del terzo spazio
(metà lunghezza della lunghezza d'onda del do naturale: corrisponde a 3/4 del sol = intervallo di quarta)

sol (lunghezza d'onda: 4/3 del do sopra il rigo (quarta) e 2/3 del do naturale (quinta)

do naturale (do sotto il rigo):
lunghezza d'onda 3/2 del sol:
doppia del do
dell'ottava superiore

nella fattispecie: AB = 6,BC = 2,CD = 4; per cui $\frac{AB}{BC} : \frac{AB+BC+CD}{CD} = \frac{6}{2} : \frac{12}{4} = 3:3 = 1$

Perciò ABCD rappresenta una serie armonica, il cui birapporto è uguale a 1 (o '–1')

dere in mano la questione proprio per questo incontro, vedo che anche questa vicenda ha una preistoria nell'antico.

Anche la divisione dell'ottava per quarte e per quinte (cioè secondo l'accordatura antica) è una quaterna "armonica" relativa a tre segmenti allineati e proporzionali a 3-1-2 (figg. 16 e 17). Può essere (anzi è certo) che Vitruvio parli proprio di ciò in un passo al solito mal capito (sempre pertinente al primo capitolo del primo libro): «e così ad astronomi e musici è comune la teoria relativa ai quadrati e ai triangoli: quello cioè che, diviso dai geometri in una "quarta" e una "quinta" (*diatessaron et diapente a geometris divisus*) è chiamato in greco "rapporto prospettico" (*logos optikos*)».

Che i Greci conoscessero il birapporto e l'invarianza in proiezione del birapporto stesso (e delle serie armoniche in genere) l'ho detto ripetutamente in base a singoli messaggi sui testi di Apollonio e di Pappo. Ma ora il Freguglia ne ha dato un'esposizione chiara e lampante e accessibile anche ai non addetti ai lavori. Ma questo è un altro discorso: solo che la mia tesi ("la prospettiva precede") rimane e si rafforza.

Solo nella prospettiva quei rapporti e relazioni sono sensati "immediatamente": poi passeranno a confrontarsi con le serie pitagoriche dei suoni. E Vitruvio mostra che, contrariamente a Chasles che crede di dover trasferire alla proiettiva un rapporto "armonico", i geometri antichi *sapevano* di aver trasferito all'armonia dei suoni un rapporto nato con e per la prospettiva (*logos optikos*).

Ora i rapporti semplici di numeri interi relativamente bassi sono comuni a quasi tutte le nostre operazioni aritmetiche elementari e di solito diventano insignificanti immediatamente al di là dell'assunto.

Ma che il disegno e la visualizzazione dei rapporti geometrici abbiano contato più di qualsiasi altra cosa, per renderli perspicui e per estenderne l'eventuale dominio, mi pare certo.

E mi sembra che ci sia ancora posto per controllarne la tenuta nelle vicende ulteriori: dalla prospettiva alla proiettiva, dalla proiettiva alle geometrie non-euclidee, ai calcoli vettoriale e tensoriale, nei quali tutti compaiono notazioni "mitiche" (come la moltiplicazione per la radice quadrata di –1) che forse l'impiego del calcolatore, consentendoci di analizzare veramente passo passo le procedure reali, finirà per smitizzare definitivamente un giorno o l'altro.

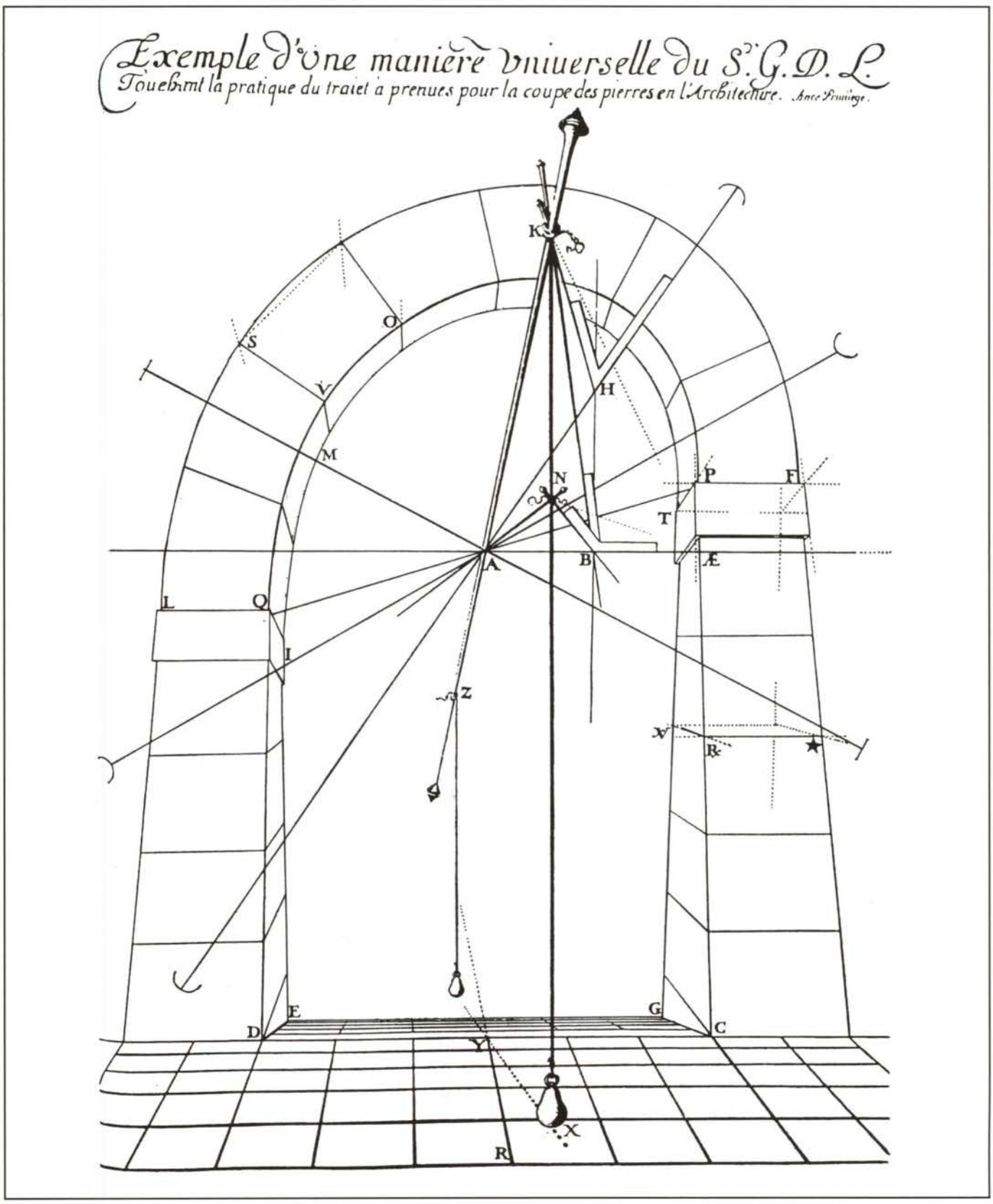
E si dimostrerà forse che, per progredire, la scienza non ha bisogno di cadere nei paradossi (nemmeno quelli apparentemente sensati come «tutte le osservazioni dipendono dai presupposti e nessun presupposto può essere giustificato indipendentemente» riproposto ultimamente dal Gregory o il famoso *calembour* di Einstein secondo cui «la cosa più incomprensibile dell'Universo è che sia comprensibile») riducendoli a quel che più probabilmente sono: vale a dire puri e semplici giochi di parole.

Decio Gioseffi

Nato a Trieste il 12.8.1919 laureato in Archeologia a Padova (febbraio 1942).
Libero docente dal 1958, direttore dell'Istituto di Storia dell'Arte medioevale e moderna dal 1964, professore di ruolo dal 1967.
*Critico "militante" presso la radio e i quotidiani locali dal '45 al '62; ottiene i premi "Olivetti" (di architettura e urbanistica, sezione critica) per il 1957 e "In Arch 1961" con le opere *"Perspectiva artificialis" (Trieste 1957) e *"La cupola vaticana: un'ipotesi michelangolesca" (Trieste 1960). Membro dal 1976, è dal 1980 presidente del Comitato di Settore per i Beni Artistici e Storici presso il Ministero dei Beni Culturali; dirige dal 1975 il Periodico "Arte in Friuli - Arte a Trieste".*
*Altre pubblicazioni. Medioevalistica: *"Giotto architetto" (Milano 1963); *"Scultura alto medioevale in Friuli" (Roma A.C.R.I. s.a., ma 1979); rinascimento e barocco; *"Tiziano" (Bergamo 1959), "Porta Pia" e "S. Giovanni dei Fiorentini" in "Portoghesi-Zevi, Michelangelo Architetto", Torino 1964, *"Pittura del Settecento veneziano" (Bergamo 1957), *"Canaletto e l'impiego della camera ottica" (Trieste 1959), *"Pittura disegni e Stampe del Settecento" (Milano 1973); moderno e contemporaneo: "La falsa preistoria di Piet Mondrian" (Trieste 1957), "Picasso, Guernica e i Codici Mozarabici" in "Critica d'arte" (Firenze 1965), *"Michelangelo Guacci" (Trieste 1969).*
*Sono successivamente usciti i volumi più ampiamente comprensivi: *"Udine: La Storia delle Arti" (Udine 1983) e *"Pittura dal secolo IV all'XI" (Milano 1984) che è il primo della monumentale "Storia della Pittura" di De Agostini di AA.VV., tuttora in corso di stampa.*
Un diffuso interesse metodologico e "strutturale" è il comune denominatore che connette tra loro tali studi, come è attestato da altri numerosi saggi tra i quali si segnalano i seguenti: "Croce: la critica delle arti figurative ("Pagine Istriane" 1953), "Prospettiva e Ottica" in "Enciclopedia universale dell'arte" vol. X (Venezia-Roma 1963: trad. ingl. in "Encyclopedia of World Art"), "Sistemi visivi" ("Critica d'arte" 1971), "L'abbiccì della prospettiva" ("Arte in Friuli - Arte a Trieste" 1979).
*Presentemente Decio Gioseffi è impegnato nel tentativo di formalizzare una più rispondente analisi dei sistemi linguistici visivi storicamente determinati (*visual languages*) nell'ambito di una teoria operatoria unificata (teoria della verità, del segno, della dimostrazione e dei modelli) nel nome dell'operatività dell'umano conoscere: in linea con quanto proposto da Vico, Dingler, Bridgman, Popper, Lerentzen, Piaget, Neisser e non in contraddizione rispetto ai principi dell'informatica e alle recenti acquisizioni della neurofisiologia.*

Les grandes étapes de la mathématisation des techniques graphiques: des origines à Dürer, à Desargues et à Monge

di René Taton



C'est à la fin du XVIII[e] siècle et au début du XIX[e] que la création de la géométrie descriptive par Gaspard Monge et celle de la géométrie projective par Jean Victor Poncelet marque le véritable aboutissement de l'effort de mathématisation des techniques graphiques mené depuis de longs siècles avec plus ou moins de vigueur et d'efficacité. La publication en 1799 de la *Géométrie descriptive* de Monge et celle du *Traité des propriétés projectives de Poncelet* en 1822 concrétisent en effet la maîtrise par voie purement géométrique des techniques ancestrales du dessin architectural, de la coupe des pierres et des bois, de la gnomonique et de la perspective artistique. Sur le plan théorique, elles ouvrent la voie au brillant renouveau que connurent les études géométriques au cours du XIX[e] siècle, renouveau marqué en particulier par la systématisation et l'axiomatisation de la géométrie projective, l'étude approfondie des transformations géométriques, le développement parallèle des diverses branches de la géométrie et la création des géométries non-euclidiennes, l'interprétation structurale de l'édifice géométrique grâce à la théorie des groupes et enfin l'étude des fondements del la géométrie. Parallèlement elles suscitent l'essor du dessin industriel et des diverses techniques perspectivistes et préludent à l'invention de "machines à images" sans cesse plus perfectionnées et plus performantes: appareils photographiques et cinématographiques, téléviseurs, radars, ordinateurs, etc. ..., liées aux progrès de l'optique classique et de la chimie appliquée, à l'élargissement du spectre des radiations utilisées et à l'extension correspondante du concept d'image, aux méthodes de l'électronique et de l'informatique, etc.

Sans vouloir retracer en détail les étapes successives du lent mouvement qui conduisit à cette mathématisation des techniques graphiques, je voudrais en esquisser les grandes lignes, tout en insistant sur les apports de trois esprits profondément originaux dont l'oeuvre créatrice a été particulièrement déterminante dans cette voie. Il s'agit d'un artiste de la Renaissance, le célèbre peintre et graveur Albrecht Dürer (1471-1528), d'un ingénieur géomètre du XVII[e] siècle, ami de Descartes et de Pascal, le lyonnais Girard Desargues (1591-1661) et d'un des principaux mathématiciens de la fin du XVIII[e] siècle, le géomètre Gaspard Monge (1746-1818).

Cette mathématisation des techniques graphiques réalisée à l'aube du XIX[e] siècle repose en fait sur la claire explicitation de deux types très voisins de transformations géométriques: la projection centrale et la projection cylindrique. La première de ces transformations, la projection centrale, faite à partir d'un point à distance finie, est le principe même de la perspective géométrique et le point de départ de l'essor de la géométrie projective; fondement de la perspective artistique, des diverses méthodes de perspective pratique et des tracés de la gnomonique, elle est elle-même issue d'une réflexion théorique sur les bases de ces techniques graphiques. Quant à la seconde, cas particulier de la première où le centre de projection est rejeté à l'infini, elle est aussi appelée perspective parallèle ou axonométrie. Si les rayons projetants sont obliques par rapport au plan du tableau, il s'agit d'une axonométrie oblique, plus connue sous le nom de perspective cavalière. L'axonométrie ou projection orthogonale, où les rayons sont perpendiculaires au plan du tableau, a été utilisée dès l'Antiquité pour l'établissement de plans d'édifices ou de villes. On trouve plus tardivement l'emploi occasionnel de deux projections orthogonales d'une même figure faites sur deux plans orthogonaux entre eux. Quelques exemples d'établissement d'une correspondance entre ces deux projections apparaissent ensuite, dans le dessin architectural en particulier, préludant à la systématisation d'une telle correspondance dans le cadre de la géométrie descriptive de Monge, à la fois technique graphique pleinement dominée et branche nouvelle de la géométrie, qui se trouve avec la perspective théorique au point de départ du développement de la géométrie projective.

Retracer les grandes lignes du processus de mathématisation des techniques graphiques, revient donc à rechercher les origines de la perspective théorique et de la géométrie descriptive, et ceci à travers les essais de théorisation de deux types de procédés graphiques, d'une part ceux des dessinateurs, peintres, sculpteurs, graveurs et fabricants de cadrans solaires, d'autre part ceux des architectes, maçons, tailleurs de pierres et charpentiers. Tel est l'objet de cet exposé que l'attention toute particulière portée aux contributions fondamentales de Dürer, de Desargues et de Monge permettra de structurer plus clairement.

Les origines

C'est dès les premiers temps historiques qu'apparaissent dans les dessins et peintures les premiers essais empiriques de perspective et, dans les relevés de terrains, les plans de cités et les dessins architecturaux, le recours, tout aussi empirique, à une projection orthogonale approximative.

L'expérience vécue, l'influence des civilisations successives, l'évolution du sens de l'espace, la variété croissante des modes de représentation, le recours à de nouveaux supports, à de nouveaux colorants expliquent la variété de ces essais où s'entremêlent souvent de façon parfois complexe les deux modes de projection appréhendés d'une façon purement empirique. C'est avec les Grecs qu'apparaissent les premiers essais véritables de théorisation. Malheureusement le seul grand traité d'architecture antique qui nous soit parvenu est celui de Vitruve, de peu antérieur à notre ère. Cet ouvrage, le *De Architectura*, considéré comme un modèle jusqu'au XVII[e] siècle, donne de précieux renseignements sur les techniques de construction en usage chez les Romains mais peu de

Pagina precedente:
Page de titre de l'essai sur le trait de la coupe des pierres de G. Desargues (1640).

détails sur les procédés de dessin architectural. Néanmoins, Vitruve signale dans le premier livre de sa *De Architectura* que l'ichnographie et l'orthographie (plan et élévation) étaient à son époque couramment utilisées à la représentation des édifices. Cette tradition, héritée par l'intermédiaire des Grecs des premières civilisations du Proche Orient, s'est transmise à l'Europe occidentale grâce à la grande diffusion du traité du célèbre architecte.

Si cet ouvrage de Vitruve nous est parvenu sans les figures correspondantes, par contre dans la première partie de leur ouvrage récent *Il rilevamento architettonico – Storia, metodi e disegno* (Roma-Bari, 1984), Mario Docci et Diego Maestri donnent des exemples nombreux et précis de plans et de relevés cadastraux et topographiques, voire quelques dessins architecturaux assez primitifs, datant des civilisations antiques, proche-orientales, grecque et romaine.

Quant à la perspective, aucune des figurations antiques connues, que ce soit celles des bas-reliefs babyloniens, des tombes et des papyrus égyptiens, des vases de céramique grecs à figures rouges ou des peintures pompéiennes, ne permet de conclure à l'emploi de règles systématiques. Vitruve écrit que les premières réflexions sur ce sujet remontent à l'époque d'Eschyle; il mentionne les écrits perdus de Démocrite et d'Anaxagore et cite avec éloges le premier traité connu, l'*Optique* d'Euclide, mais il n'envisage en fait que l'application de l'optique à la peinture et à la confection des décors de théâtre, d'où le terme de scénographie qui resta en usage jusqu'au XVIII[e] siècle. Quant à l'astronome Ptolémée du II[e] siècle de notre ère, il s'intéresse surtout à la projective stéréographique, base de la géographie mathématique.

Le dessin architectural au Moyen Age et à la Renaissance

Etant constitués pour l'essentiel de pierres et de matériaux prismatiques reposant de façon stable les uns sur les autres et constituant des voûtes de forme très simple, les édifices et monuments de l'Antiquité ne soulevaient pas de délicats problèmes de coupe des pierres. Par contre, la construction des coupoles byzantines, de certains éléments de monuments arabes et des voûtes et arcs-boutants des cathédrales médiévales posèrent des problèmes beaucoup plus délicats, nécessitant le recours à des techniques beaucoup plus complexes de dessin et de taille des pierres. Les procédés empiriques progressivement mis au point à cette occasion sont à l'origine d'une tradition qui se perpétua parmi les architectes, maîtres d'oeuvre et tailleurs de pierre jusqu'au XVII[e] siècle, tradition formée de règles compliquées et obscures adaptées aux nombreux types de voûtes et de structures architecturales employées. Malgré leur apparence empirique et leur exactitude souvent très approximatives, ces règles n'ont pu naître que grâce à une haute intuition des figures de l'espace et des propriétés des projections. Peu de renseignements nous sont parvenus sur l'élaboration de ces règles de taille des pierres, qui apparaissent codifiées en une sorte de catéchisme que les compagnons apprenaient par coeur sans en connaître les fondements mi-logiques, mi-empiriques. L'album de Villard de Honnecourt, architecte français du XIII[e] siècle, est le document le plus précieux qui nous soit parvenu sur l'art des bâtisseurs de cathédrales. Malheureusement les nombreuses figures qui le composent, renseignent très peu sur les méthodes graphiques utilisées, de plus, les plans et élévations qu'il contient ne s'appliquent jamais simultanément au même objet.

Au XV[e] siècle, le renouveau d'intérêt porté aux monuments de l'Antiquité préservés en Italie, la construction ou la transformation de palais, de bâtiments, de forteresses et d'édifices divers et l'essor de l'urbanisme entraînent la réalisation de nombreux dessins architecturaux dont de remarquables exemples de nature variée sont donnés dans l'étude déjà citée de Mario Docci et Diego Maestri sur le relèvement architectonique et dans le très bel ouvrage d'André Chastel *Le grand atelier d'Italie 1460-1500* (Paris, 1965). Plans, élévations, vues de profil et vues perspectives de l'ensemble ou de détails d'un édifice se rencontrent parfois sur les mêmes planches, mais sans qu'une liaison directe apparaisse entre les différents dessins se rapportant éventuellement au même objet. Par rapport à Villard de Honnecourt, les progrès sont très nets mais restent d'ordre purement technique, sans une claire appréhension des rapports géométriques très simples existant entre les différentes projections d'un même élément. De même, malgré leur originalité, les traités des architectes italiens du XV[e] siècle, de Filarète et Alberti à Francesco di Giorgio, n'apportent que peu de progrès dans cette voie, se bornant par ailleurs, pour les cas délicats de coupe des pierres et de construction de voûtes ou d'autres éléments architecturaux un peu complexes, à donner des recettes empiriques sans aucune démonstration effective. Cette conception purement pratique et technique du dessin architectural se maintiendra d'ailleurs pendant le XVI[e] siècle et le début du XVII[e] siècle, malgré la publication de traités nombreux et souvent remarquablement illustrés. Par contre, la perspective connaîtra une évolution continue beaucoup plus nette au cours du Moyen Age et de la Renaissance.

La perspective au Moyen Age et à la Renaissance

Au Moyen Age, l'étude la plus importante concernant la perspective, considérée comme chez Vitruve comme l'une des branches appliquée de l'optique, est celle de l'auteur arabe du X[e] siècle Ibn-al-Haytham, ou Alhazen, qui, bien qu'elle n'ait été éditée qu'en 1572, en traduction latine, par F. Risner, a fortement influencé la pensée des au-

teurs médiévaux occidentaux. Nombre de ceux-ci se sont activement intéressé à cette "perspectiva", l'"optiké" des Grecs, science des phénomènes lumineux, qui sera ensuite dénommée perspective commune ou naturelle; il s'agit en particulier de Roger Bacon, Witelo et John Pecham au XIII^{e} siècle, de Paolo dell'Abaco et Blaise de Parme au XIV^{e} siècle. Parallèlement à ces auteurs dont les écrits, de caractère abstrait, connaîtront pour la plupart des éditions latines au XVI^{e} siècle, par la recherche d'un nouvel espace pictural et un souci de réalisme de plus en plus affirmé, différents peintres et enlumineurs, français, italiens, flamands ou rhénans s'efforcent de découvrir des règles empiriques permettant de répartir dans le plan du tableau les personnages et objets perçus dans la réalité. Ce mouvement vers l'imitation de la nature va s'affirmer plus nettement dans le cadre de la brillante renaissance artistique qui se développe en Italie au XV^{e} siècle. Ayant reçu une solide formation scientifique et technique, aussi bien qu'artistique, les principaux peintres, sculpteurs et architectes du *Quattrocento* vont s'efforcer de fonder sur des bases rationnelles les représentations qu'ils donnent de la nature et du monde environnant. Considérant que l'espace pictural préexiste aux objets représentés, ils s'efforcent de créer une nouvelle perspective basée sur les lois de la géométrie. Après l'architecte Filippo Brunelleschi, mort en 1446, qui semble avoir jeté les fondements de cette perspective géométrique, dite artificielle, l'architecte et sculpteur Ghiberti, le sculpteur Donatello et le peintre Masaccio s'efforcent d'appliquer concrètement cette théorie formulée pour la première fois en 1443 dans le *Trattato della pittura* de l'architecte Leon Battista Alberti, publié à Nuremberg en 1511. La méthode nouvelle repose sur un procédé de construction, dit *costruzione legittima*, fondé lui-même sur les lois de la géométrie d'Euclide et sur le recours à deux dessins préparatoires, l'un vertical, l'autre horizontal; ce procédé est décrit pour la première fois vers 1480 par le peintre Piero della Francesca (1410?-1492) dans son *De prospettiva pingendi* qui, bien que publié seulement en 1899, eut une importante influence sur tous les auteurs de perspective du XVI^{e} siècle. Léonard de Vinci (1452-1519) s'intéresse lui-même très activement aux problèmes de la vision et de la perspective. Son "Traité de la peinture" (recueil de notes publié en version française en 1651) et le "Codex Urbinas latinus 1270" (publié en 1956) témoignent de l'ampleur de ses desseins, liant théorie de la peinture, perspective, mathématiques, géométrie de la nature et architecture du monde. Ami de Léonard, le mathématicien néoplatonicien Luca Pacioli (1445?-1514), auteur en 1494 de la première encyclopédie mathématique jamais publiée, la célèbre *Summa*, édite en 1509 le *De divina proportione* qui traite à la fois de géométrie et de proportions selon le nombre d'or. Son influence sera déterminante dans toutes les recherches artistiques où interviennent le nombre, la construction et la proportion, parallèlement à celle du philosophe rhénan Nicolas de Cues (1416-1464; *Opera* plusieurs fois rééditées à partir de 1488) qui soutient l'idée d'un espace infini, homogène et mathématique, préfigurant celui de l'astronomie copernicienne et de la science moderne. Enfin, dernier acteur de cette période de passage du XV^{e} au XVI^{e} siècle, le chanoine français Jean Pélerin, dit le Viator (1435?-1524), auteur du premier ouvrage consacré à la nouvelle perspective (*De Artificiali perspectiva*, Toul, 1505), ouvrage plusieurs fois réédité et largement utilisé par divers compilateurs, dont les auteurs de plusieurs éditions de la *Margarita philosophica*, sorte d'encyclopédie des connaissances de l'époque.

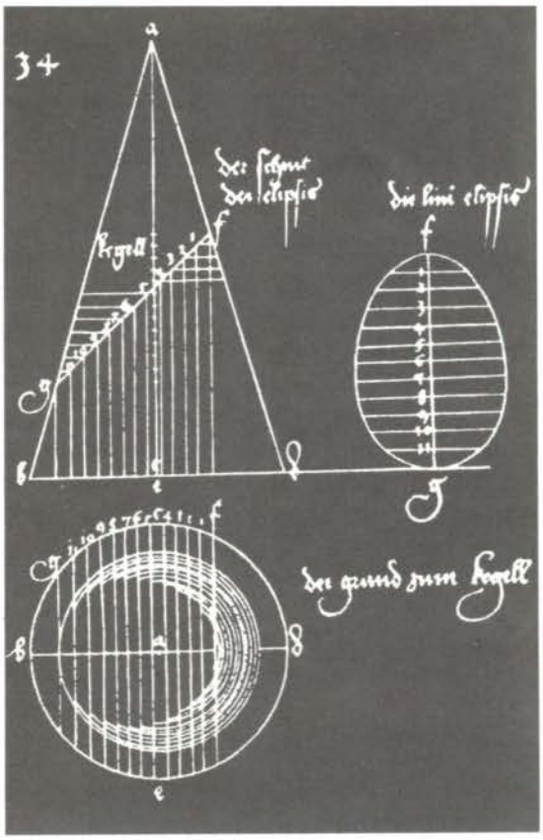
Albrecht Dürer (1471-1528)

Le renom des artistes et des auteurs de perspective italiens était alors tel que de nombreux artistes étrangers s'efforçaient de s'initier aux nouvelles méthodes en se rendant en Italie. C'est ainsi que le grand peintre et dessinateur allemand Albrecht Dürer (1471-1528), qui devait tenir une place toute spéciale parmi les artistes-géomètres de cette époque, comme auteur du premier traité donnant une interprétation géométrique d'ensemble du langage des formes, se familiarisa avec les nouvelles tendances de la poussée artistique italienne au cours de deux séjours qu'il fit en Italie, à Venise en particulier, en 1494-1495 et 1505-1507.

C'est à Venise semble-t-il qu'il rencontra son compatriote l'astronome Johann Werner (1468-1528) et sans que l'on puisse juger exactement de l'influence qu'eurent les maîtres de perspective italiens sur ces deux hommes, il est certain qu'elle orienta leurs recherches géométriques dans une voie nouvelle.

En 1522, Werner publia à Nuremberg le premier traité original sur les coniques paru en Occident. Bien qu'ayant découvert plusieurs importantes propriétés de nature projective, les géomètres grecs évitaient d'utiliser la projection centrale comme moyen de démonstration. Werner, au contraire, démontre plusieurs théorèmes sur les coniques en considérant celles-ci comme sections planes d'un cône droit à base circulaire et en les faisant dériver par perspective du cercle de base; ainsi la géométrie projective fait-elle une première apparition dans son traité.

Trois ans plus tard, en 1525, Albrecht Dürer publia à son tour à Nuremberg également un traité de géométrie d'une grande originalité (*Traité des mesures avec la règle et le compas, des lignes, surfaces et corps entiers*; 2^{e}éd. complétée en 1538)(1). Une de ses premières particularités est la part considérable qu'il accorde à l'étude des figures de l'espace. Orienté vers les applications de la géométrie à l'art, cet ouvrage cherche essentiellement à donner des règles permettant de construire des courbes, des surfaces et des solides susceptibles d'être utilement représentés à des fins artistiques. C'est ainsi que dans la partie consacrée à la géomé-



Section plane elliptique d'un cône à base circulaire: deux projections orthogonales et rabattement (A. Dürer) Underweysung..., 1525).

trie dans l'espace, l'auteur étudie les méthodes de la perspective, et constate le grand rôle qu'elles peuvent jouer en géométrie.

C'était là un pas très important car, en pénétrant dans le domaine de la géométrie pure, la perspective considérée jusqu'alors comme une technique se rattachant à l'optique et aux arts, pouvait en renouveler les méthodes et entraîner des progrès rapides, spécialement dans l'étude des coniques et dans la conception d'ensemble de la géométrie. Malheureusement, les idées, voisines dans leur principe, de Werner et de Dürer ne furent pas estimées à leur juste valeur et, malgré la publication en 1575 d'un traité sur les coniques de Maurolyco, inspiré de l'ouvrage de Werner, l'emploi des méthodes de projection ne se répandit pas.

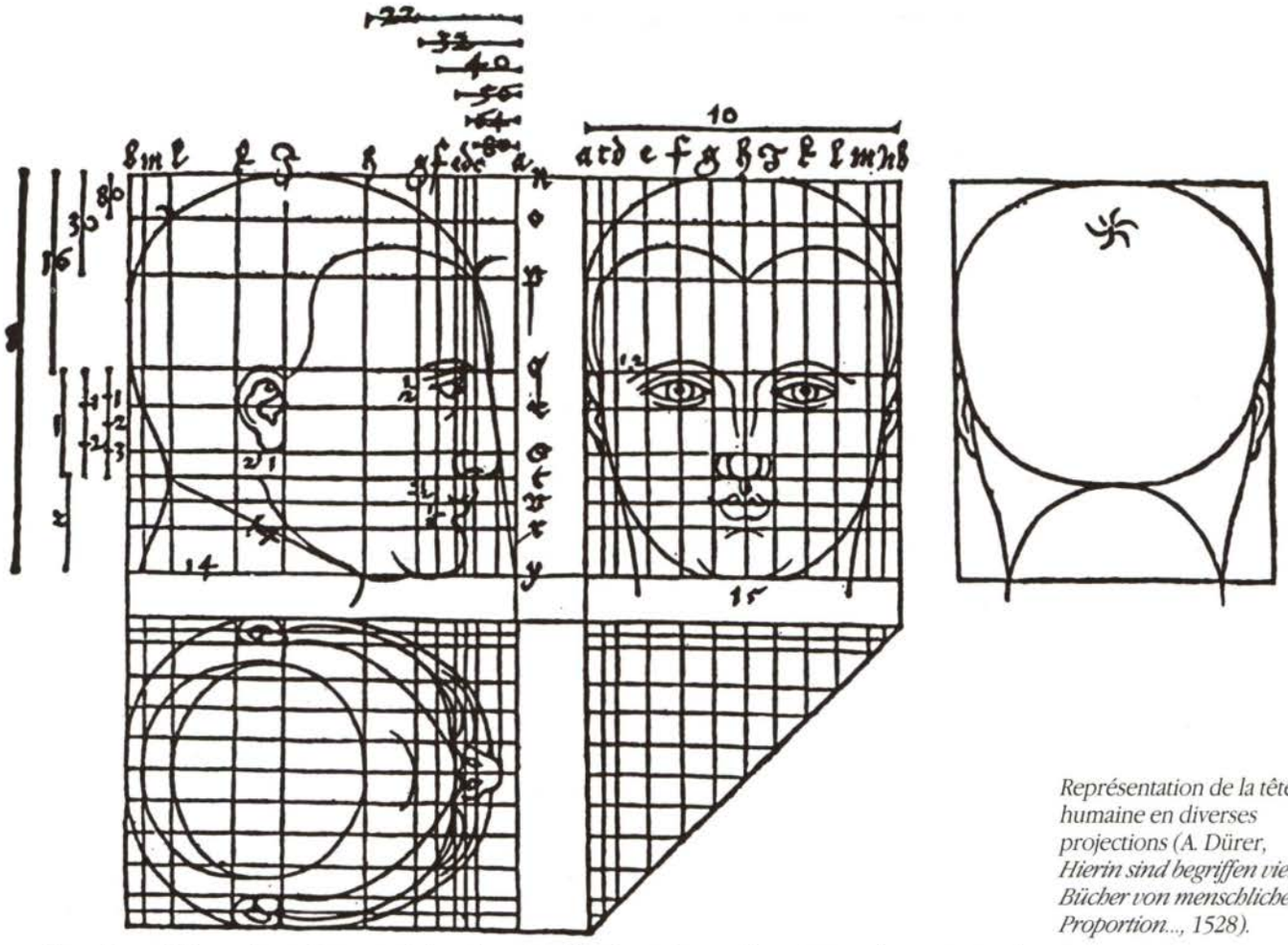
Mais le traité de Dürer introduisait une autre méthode géométrique de la plus haute importance. On y trouve en effet la première conception claire du rôle de la méthode des projections et l'emploi de procédés proches dans leur esprit de la géométrie descriptive élémentaire. C'est le cas par exemple des figures qui représentent une hélice circulaire ou une courbe coupant sous un angle constant les génératrices d'un cône; les lignes de rappel, associées à un même numérotage des points correspondants dans les deux projections, établissent clairement la correspondance point par point entre celles-ci. Les coniques sont représentées comme sections d'un cône droit dont la base est un cercle situé dans le plan horizontal de référence, par des plans de bout dont les diverses orientations correspondent aux trois types de courbes. Le cône et le plan de bout coupés par une série de plans horizontaux donnent en projection horizontale des cercles et des droites de bout et les intersections de chaque cercle avec la droite correspondante déterminent la projection horizontale de la section point par point. Tirant parti du fait que les horizontales et les lignes de pente du plan de bout se projettent en vraie grandeur, respectivement sur le plan horizontal et sur le plan vertical, il obtient aisément la conique en vraie grandeur.

Dans un autre exemple: l'épure de l'ombre au flambeau d'un cube posé sur le plan horizontal avec une arête parallèle à la ligne de terre, les constructions sont conformes à la méthode moderne et Dürer passe ensuite de cette épure à une représentation en perspective de la figure d'ensemble afin de matérialiser dans l'espace les diverses constructions effectuées.

Signalons encore l'application ingénieuse faite par Dürer des procédés de géométrie descriptive, dans son célèbre traité sur les proportions du corps humain, publié en 1528, peu après sa mort. Il applique en effet cette méthode à la figuration de la tête humaine, représentée de profil, de face, vue d'arrière et même, en la supposant séparée du corps, vue de dessous. Pour situer les points particuliers, les vues de profil et de face sont couvertes d'un quadrillage orthogonal permettant en quelque sorte de repérer chaque point par ses trois coordonnées rectangulaires. Ainsi, la géométrie descriptive, dont Monge réservera l'emploi aux "figures susceptibles d'une définition rigoureuse", est-elle ici, avec quelque bonne volonté, étendue à une figure aussi peu géométrique que la tête humaine. La correspondance entre profil et plan est obtenue à l'aide d'un triangle rectangle isocèle dont un côté de l'angle droit est parallèle à la ligne de terre; en se réfléchissant sur son hypoténuse, les lignes de rappel se transforment en parallèles à cette ligne de terre. En remplaçant ce triangle par un triangle rectangle quelconque, Dürer obtient des vues curieuses, transformées par affinité de la figure exacte. En conservant la vue de face, et faisant tourner la vue de plan d'un certain angle, il obtient une vue de profil de la tête orientée obliquement. Cette application, curieuse, révèle une grande virtuosité dans le maniement de la méthode des projections.

Artiste doué d'un sens géométrique aigu, Dürer a ainsi compris le principe de la géométrie descriptive et, en considérant le problème sous sa forme la plus simple, il a imaginé les méthodes élémentaires qui ont été ultérieurement reprises. Il s'agit là d'un exemple particulièrement clair du rôle essentiel joué alors par les artistes et les techniciens dans le renouvellement des méthodes géométriques. Cette action s'explique par le fait que les géomètres purs, disciples fervents des mathématiciens grecs étaient trop respectueux de l'oeuvre de leurs inspirateurs pour envisager un tel changement d'orientation. D'ailleurs, par suite de leur refus d'admettre la valeur et la fécondité des nouvelles méthodes, malgré les nombreuses éditions et traductions de son traité, Dürer demeura incompris, et sa découverte des principes de la géométrie descriptive passa inaperçu.

En effet, si Werner eut au moins un continua-



Représentation de la tête humaine en diverses projections (A. Dürer, Hierin sind begriffen vier Bücher von menschlicher Proportion..., 1528).

teur, Mamolyco, Dürer n'en eut pas; certains des nombreux auteurs de traités de perspective du XVI[e] siècle apportèrent des perfectionnements aux procédés utilisés, mais la méthode des deux projections resta ignorée jusqu'au milieu du XVII[e] siècle, avec l'intervention de Girard Desargues.

De Dürer à Desargues

Sur le plan de l'histoire générale de la science, la période d'un siècle qui s'étend de 1538, date de la 2[e] édition, plus complète, de l'*Underweysung* de Dürer à 1636, date de la publication du premier essai perspectiviste de Girard Desargues, est celle d'une mutation décisive marquée en particulier par les oeuvres pionnières de Copernic, Galilée, Kepler et Cavalieri (1635), en attendant le *Discours de la méthode* de Descartes (1637), oeuvres qui marquent la naissance véritable de la science moderne. Dans le domaine des techniques graphiques, les progrès annoncés par quelques oeuvres novatrices dont celles de Dürer, apparaissent plus limités.

Les nombreux plans, relevés et traités d'architecture civile et militaire réalisés ou publiés au cours de cette période se situent en effet dans la même ligne que ceux du siècle précédent, qu'il s'agisse de relevés de monuments antiques, de plans d'édifices récents, de projets de bâtiments urbains ou de fortifications, de plans de villes ou de régions. Les traités classiques de Vitruve, et d'Alberti continuent à être réédités, adaptés et traduits; de plus, de nouveaux auteurs interviennent, dont la plupart connaîtront eux-mêmes un succès durable, en particulier S. Serlio (1537 à 1551, nombreuses rééd.), A. Palladio (1557; 1570; nombreuses rééd. et trad.); D. Barbaro (1556); A. Androuet du Cerceau (1559; 1561); Philibert de l'Orme (1561; 1567, rééd. 1626), G. Barozzi da Vignola (1562, nombreuses rééd.), J. Bullant (1563, rééd. 1568 et 1647), H. Vredeman de Vries (1565, nombreuses trad.), V. Scamozzi (1582 et 1615), J. Errard (1600, rééd. 1620), P. Le Muet (1623, nombreuses rééd.). Si, dans la plupart des cas, la qualité et la précision du dessin architectural sont indiscutables et si le recours fréquent à plusieurs vues d'un même élément implique l'emploi de la méthode des deux projections, celui-ci n'est jamais clairement explicité. De plus, les règles empiriques qui sont données concernant la coupe des pierres et la construction des voûtes ne reposent sur aucun raisonnement valable et sont parfois suffisamment inexactes pour introduire de graves défauts dans la construction. Dans un ouvrage publié en 1642 à La Flèche, le praticien Mathurin Jousse écrit à ce sujet:

Il y a beaucoup de superbes Edifices qui ont très mal réüssi, pour avoir esté faits par des personnes qui ne sçavoient point les traits Geometriques necessaires à la coupe des pierres. Combien en a-t-on veu, & void on tous les jours de grands et riches Bastimens aller en ruine, pour n'avoir sçeu tailler et aprester les pierres comme il falloit? ... En fait d'Architecture, il est necessaire de sçavoir ce qui concerne la couppe des pierres & les traits Geometriques qui en donnent la reigle, puis que de l'ignorance de ce point procède la perte des Edifices,

et de l'honneur des Architectes. Or est-il que de ce qui est de ce poinct, il ne s'en trouve rien dans les meillers Autheurs de tous les Anciens Architectes.

Après avoir cité une vingtaine d'auteurs de traités d'architecture ou de fortification dont Vitruve, L.B. Alberti, G. Barozzi de Vignola, J. Errard, Jousse conclut qu'"aucun d'eux n'a décrit la façon de tirer les traits geometriques nécessaires à la coupe des pierres ... excepté Maistre Philebert de Lorme qui en a laissé en son 3 & 4 Livre quelques démonstrations, lesquelles je n'accuse point de fausseté: mais seulement d'estre enveloppées sous tant de lignes & de paroles, que quoy qu'elles fussent bonnes pour les Doctes, elles ne peuvent se comprendre aisément par beaucoup de ceux qui font profession de tailler & coupper les pierres.

Comme le note Jousse, le Premier Tome de l'Architecture *de Philibert de l'Orme de 1567, réédité en 1626, fait appelau raisonnement géométrique pour justifier les règles de la taille des pierres et du dessin architectural. Malheureusement, les démonstrations y sont insuffisantes et les méthodes graphiques, compliquées, ne présentent que peu d'innovations réellement intéressantes et les planches sont souvent difficiles à comprendre. Néanmoins, cet ouvrage qui présente un ensemble de règles pratiques assez bien coordonnées eut une influence salutaire et durable.*

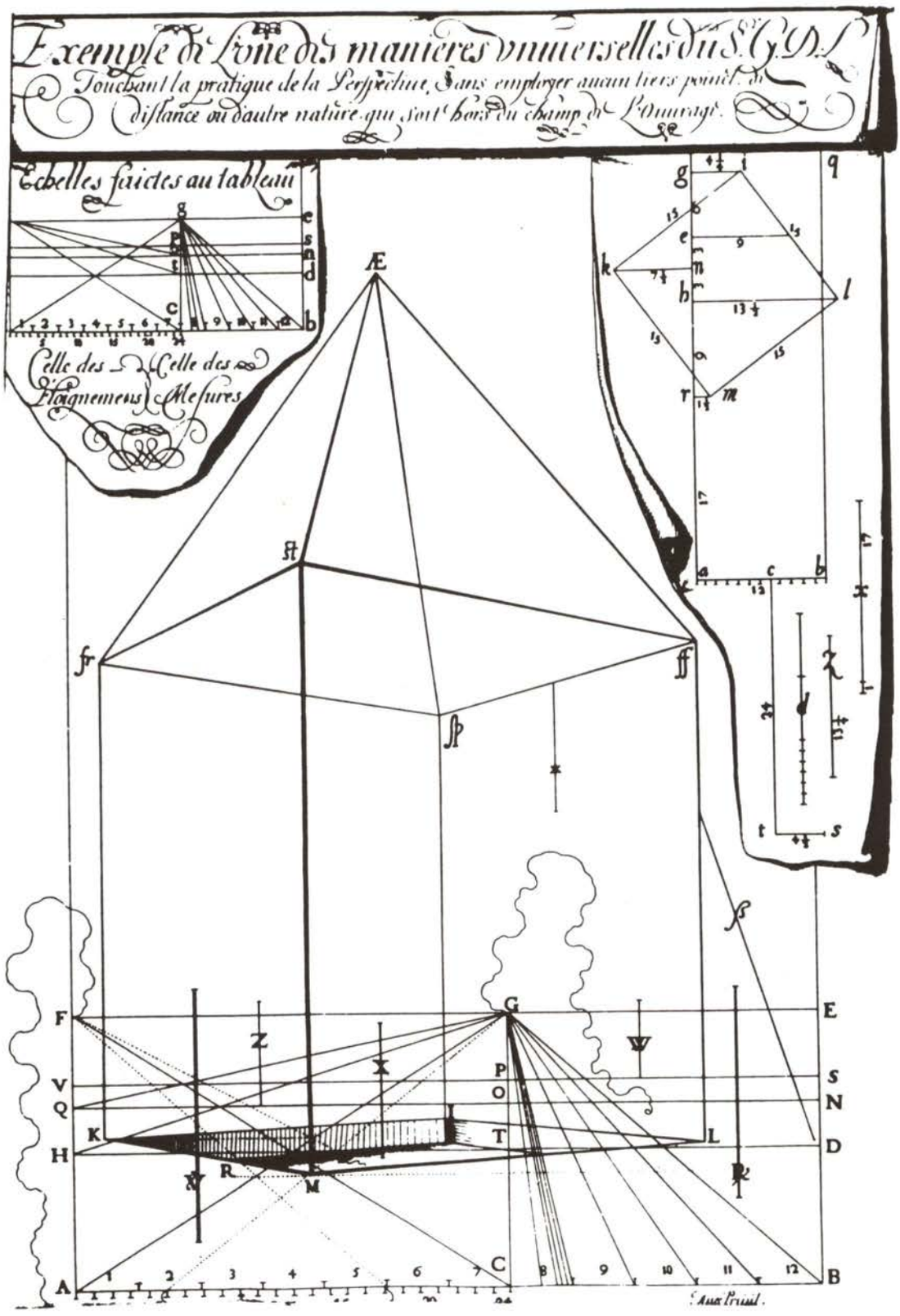
En 1636, la situation dans le domaine du dessin architectural est donc satisfaisante sur les plans technique et pratique, mais sans qu'apparaisse un quelconque support théorique solide. Les tracés de coupes des pierres demeurent dans la tradition purement empirique de la période antérieure, sans qu'un effort sérieux soit tenté pour les rationaliser.

Quant à la perspective, cette discipline nouvelle s'est rapidement popularisée grâce à la publication de nombreux traités d'orientations très différentes. Certains de ceux-ci, destinés aux praticiens hostiles à toute emprise des mathématiques sur l'art, évitent de recourir au raisonnement géométrique et se bornent à présenter et commenter un ensemble de règles graphiques, destinées à permettre à l'artiste d'imiter au mieux la nature, en dehors de toute contrainte théorique. Influencés à la fois par la tradition de Dürer et par le baroque naissant, d'autres traités s'efforcent avant tout de fournir aux peintres et aux différents ouvriers d'art, des exemples très variés de personnages en diverses positions, de paysages, d'architectures et de motifs décoratifs dans l'esapce. Une troisième catégorie de traités, conçus par des artistes possédant également une culture géométrique, présentent un tableau d'ensemble des méthodes et des connaissances dans ce domaine et en exposent les fondements rationnels, sans entrer dans le détail de certains raisonnements géométriques. Enfin un dernier type d'études, celui qui nous intéresse tout spécialement, est l'oeuvre d'auteurs scientifiques, désireux à la fois de fonder cette discipline sur des bases mathématiques rigoureuses et d'explorer les possibilités qu'elle peut offrir à la recherche géométrique. Les premiers efforts réalisés dans cette voie l'ont été par trois mathématiciens italiens de la génération antérieure à celle de Galilée: F. Commandino qui, en 1558, définit la projection stéréographique des cercles de la sphère céleste sur le plan de l'équateur; J.B. Benedetti qui, en 1585, inclut une étude de perspective dans son *Diversarum speculationum*; et enfin le mathématicien et ingénieur Guidobaldo Del Monte qui, en 1600, publie à Pesaro un important ouvrage, *Perspectivae libri sex*, premier traité de perspective ordonné comme un ouvrage de mathématiques, avec des démonstrations rigoureuses, bien qu'assez lourdes, des différentes propriétés rencontrées. Mais l'intérêt principal de cet ouvrage réside dans les importantes innovations qu'il introduit. C'est ainsi qu'il donne les premiers énoncés clairs avec démonstrations de deux théorèmes fondamentaux: la transformation par perspective de tout faisceau de droites parallèles en droites concourantes en un point appelé point de concours ou point de fuite et l'alignement des points de fuite correspondant aux différentes directions d'un plan. C'est ainsi également qu'ayant rabattu le plan projeté sur le plan du tableau, il fait un emploi indirect, mais habile, de la transformation connue plus tard sous le nom d'homologie. Mentionnons également ses études sur la perspective sur des surfaces irrégulières, sur la construction des ombres, sur les perspectives accélérées destinées au théâtre et son introduction du problème inverse de la perspective. Mais, malgré ses qualités, l'ouvrage de Del Monte ne semble pas avoir connu un grand succès. Il en fut de même pour un traité similaire d'inspiration mathématique publié en flamand en 1605 (versions française et latine en 1608) par le mathématicien, mécanicien et ingénieur Simon Stevin qui, d'après Michel Chasles, avait traité la perspective "en géométre profond et peut-être plus complètement qu'aucun autre sans le rapport théorique". Il est vrai que l'on était loin de la période idyllique du *Quattrocento* où les artistes s'efforçaient d'améliorer leurs constructions de perspective en les fondant sur des bases géométriques solides. Tout au long du XVI^{e} siècle, le développement de la perspective scientifique avait suscité une hostilité croissante de la part de beaucoup de praticiens et d'artistes qui considéraient que des règles purement géométriques ne povaient donner une bonne représentation de la nature et de l'espace visuel. Critiquant la position de ses prédécesseurs, le peintre F.Zuccaro écrivait en 1607 que «l'art de la peinture ne doit pas déduire ses principes de base des sciences mathématiques ... Cet art n'est pas issu des mathématiques, mais de la nature elle-même».

Aussi, en dehors des ouvrages de Del Monte et de Stevin, les traités de perspective publiés entre 1600 et 1636 sont-ils essentiellement d'inspiration pratique et évitent-ils toute démonstration purement géométrique pour se limiter à l'établissement de règles d'application directe, soit aux divers arts graphiques: dessin, gravure, peinture, etc., soit à la construction des ombres, à celle des

anamorphoses et au tracé des cadrans solaires (gnomonique). Citons seulement ceux de H. Vredeman de Vries (1605), S. de Caus (1612), F. d'Aiguillon (1613), S. Marolois (1614), P. Accolti (1625), Vaulezard (1630 et 1631). Ainsi, dans le domaine de la perspective, comme dans ceux du dessin architectural et de la coupe des pierres, la plupart des usagers, artistes et praticiens, se satisfont-ils de savoir qu'existe une certaine justification d'ordre théorique de leurs procédés graphiques, sans souhaiter pour autant en connaître les fondements mathématiques et en désirant même éviter toute intervention de géomètres dans leur travail.

Quant aux mathématiciens, la plupart, restés fidèles aux modèles de l'Antiquité, considèrent la perspective comme une technique, extérieure à leur domaine de recherche. Aussi ne cherchent-ils pas à approfondir les idées fécondes sous-jacentes aux traités de Del Monte et de Stevin, en particulier celle de point à distance infinie, bien qu'elle ait été reprise et précisée en 1604 par J. Kepler dans son traité d'optique *Ad Vitellionem Paralipomena*. Ainsi, au moment où Desargues rédige ses premiers essais, la situation apparaît-elle moins favorable qu'elle ne l'était à l'époque du *Quattrocento* où certain mathématiciens comme L. Pacioli ou



Page de titre de l'essai de perspective de D. Desargues (1636).

certains artistes comme Dürer, n'hésitaient à lier dans leurs réflexions l'art et les techniques graphiques aux mathématiques.

Girard Desargues (1591-1661)

Lorsqu'en mai 1636 paraît à Paris une petite brochure (12 p. et 2 pl.) intitulée *Exemple de l'une des manieres universelles du S.G.D.L. touchant la pratique de la perspective sans emploier aucun tiers point, de distance, ny d'autre nature qui soit hors du champ de l'ouvrage*, seuls quelques initiés savent que son auteur estle Sr Girard Desargues né à Lyon (d'où ses initiales) en 1591, au métier et aux activités mal définies, sinon un projet de machine hydraulique présenté à Paris en 1626. Cependant, lié depuis plusieurs années au cercle scientifique qui gravite autour de P. Mersenne, Desargues révélera bientôt une parfaite connaissance des mathématiques de l'époque, une solide expérience technique et une exceptionnelle originalité d'inspiration. Mais il est avant tout guidé par le double souci de renouveler l'orientation de la pensée géométrique et de contribuer à l'avancement des techniques en les fondant sur des bases rationnelles grâce à ses "manieres universelles". L'essentiel de son oeuvre se réduit à quatre brèves publications, la première, de 1636, déjà citée, présente sa nouvelle méthode de perspective. La seconde, une brochure d'une quarantaine de pages, publiée à 50 exemplaires en 1639, pose les bases de la géométrie projective. Enfin les deux autres, publiées en 1640, exposent en quelques pages sa manière universelle pour le trait de la coupe des pierres (4 p. et 5 pl.) et sa méthode de gnomonique (1 simple affiche).

Certes, depuis le début du XVII[e] siècle, les principes et les règles de la perspective pratique étaient clairement établis. Aussi les apports concrets de Desargues se limitent-ils à deux innovations essentielles: l'élimination des points de concours de parallèles situés en dehors du cadre du tableau et le recours à des "échelles perspectives" destinées à la construction de points situés sur des droites d'orientations quelconques. Si la première de celles-ci fut facilement admise, par contre la seconde suscita des polémiques haineuses qui assombrirent plusieurs années de la vie de Desargues. Cependant, la publication en 1648, du premier volume d'un traité de son disciple Abraham Bosse développant et vulgarisant, bien que d'une manière souvent lourde et diffuse, les procédés décrits dans l'essai de 1636, relança l'intérêt pour la méthode de Desargues. Bosse fut alors autorisé à enseigner la perspective aux élèves de la nouvelle Académie royale de peinture et de sculpture; mais cette autorisation lui sera brutalement retirée en 1661, à la suite d'une nuovelle polémique et cette décision marquera l'éclipse quasi définitive de la méthode de perspective de Desargues, bien qu'elle fut appréciée de certains peintres tels que Philippe de Champaigne et Laurent de la Hire. Le jugement très favorable porté sur cette méthode par des savants tels que Descartes et Fermat ne tient pas à ses aspects techniques, mais à ses fondements géométriques. La méthode de Desargues repose en effet, d'une part sur l'idée que l'espace est mesurable et que tout point peut y être repéré dans un système de référence, proche des coordonnées cartésiennes et d'autre part sur l'analogie qui existe entre la mise en perspective d'une figure et l'établissement de ses plans géométraux, c'est-à-dire entre la projection centrale et la projection cylindrique. Ces idées profondément originales n'apparaissent ici qu'en filigrane. Elles marquent cependant une étape décisive dans la mathématisation des techniques graphiques et dans l'ouverture de la pensée géométrique vers de nouveaux domaines.

L'étude minutieuse qu'il fait dès 1637 de la *Géométrie* de Descartes et son intervention, en 1638, dans la discussion sur les méthodes des tangentes de Fermat et de Descartes amènent Desargues à esquisser ses idées sur ses nouvelles méthodes de géométrie et, en particulier, sur l'emploi de la projection centrale pour une étude unitaire des coniques. Telle est d'ailleurs la conception qu'il développe en 1639 dans son célèbre *Brouillon project d'une atteinte aux evenemens des rencontres du cône avec un plan*, texte qui, malgré son style concis et difficile, son vocabulaire original et son refus du symbolisme algébrique, est aujourd'hui classique, car il marque la naissance véritable de la géométrie projective.

Sans aborder ici ni l'étude ni l'analyse de cet écrit fondamental, très riche et profondément original, notons qu'on y trouve dès l'abord la définition des points et droites à l'infini et l'introduction d'une transformation géométrique, l'involution, qui lui permet de transférer en géométrie plane la théorie projective des coniques qu'il avait conçue "dans le solide". On y trouve aussi tous les éléments de cette théorie, l'étude des pôles et polaires, la définition générale des foyers et, en conclusion, les principes d'application de cette étude à "la perspective", à la gnomonique ("les Monstres de l'heure au Soleil") et à "la coupe des pierres de taille". Dès 1640, Desargues reçut à ce sujet les éloges de Descartes et de Fermat, mais surtout ceux d'un jeune homme de 17 ans, Blaise Pascal qui devait se révéler comme le premier et le plus brillant de ses disciples. En effet si le *Brouillon project* de Desargues tomba assez rapidement dans l'oubli et si lui-même ne revint plus que de façon épisodique sur ce sujet, Pascal dès 1640 édita son *Essay sur les coniques*, qui constitue un véritable programme de recherches dans ce domaine. Malheureusement, le remarquable "Traité des coniques" auquel il consacra une partie de ses recherches resta à l'état manuscrit; encore celui-ci, aujourd'hui perdu, ne nous est connu que par les quelques notes que Leibniz avait pu en tirer.

Les deux brèves études sur le trait de la coupe des pierres et sur les tracés de gnomonique publiés par Desargues en 1640 sont fondés, comme il l'annonçait dans son *Brouillon project* de 1639, sur la projection cylindrique pour la première, et

sur la projection centrale pour la seconde. Pour la coupe des pierres, Desargues développe sa méthode sur un exemple unique: une porte voûtée en montée biaise construite dans un mur à talus. Mais la complexité du vocabulaire, la briéveté des explications, l'absence de démonstration en rendent la compréhension difficile d'autant que l'emploi à divers moments de rabattements et d'autres opérations relevant de la géométrie descriptive n'est pas clairement explicité. Cependant par rapport aux traités de dessin architectural du XVI[e] siècle, le progrès est considérable, car cette fois le tracé ne résulte pas de simples règles empiriques, mais d'une étude géométrique du problème posé. Quant à l'essai de gnomonique, il est si bref que son principe fondamental n'est pas clairement mis en lumière et que les règles de construction des divers types de cadrans n'apparaissent pas réellement justifiés. Bien que Bosse ait publié en 1643 deux ouvrages développant et commentant ces méthodes, celles-ci ne connurent pas une grande diffusion et rencontrèrent même une violente hostilité de la part de certains praticiens, à tel point que Desargues en fut profondément touché.

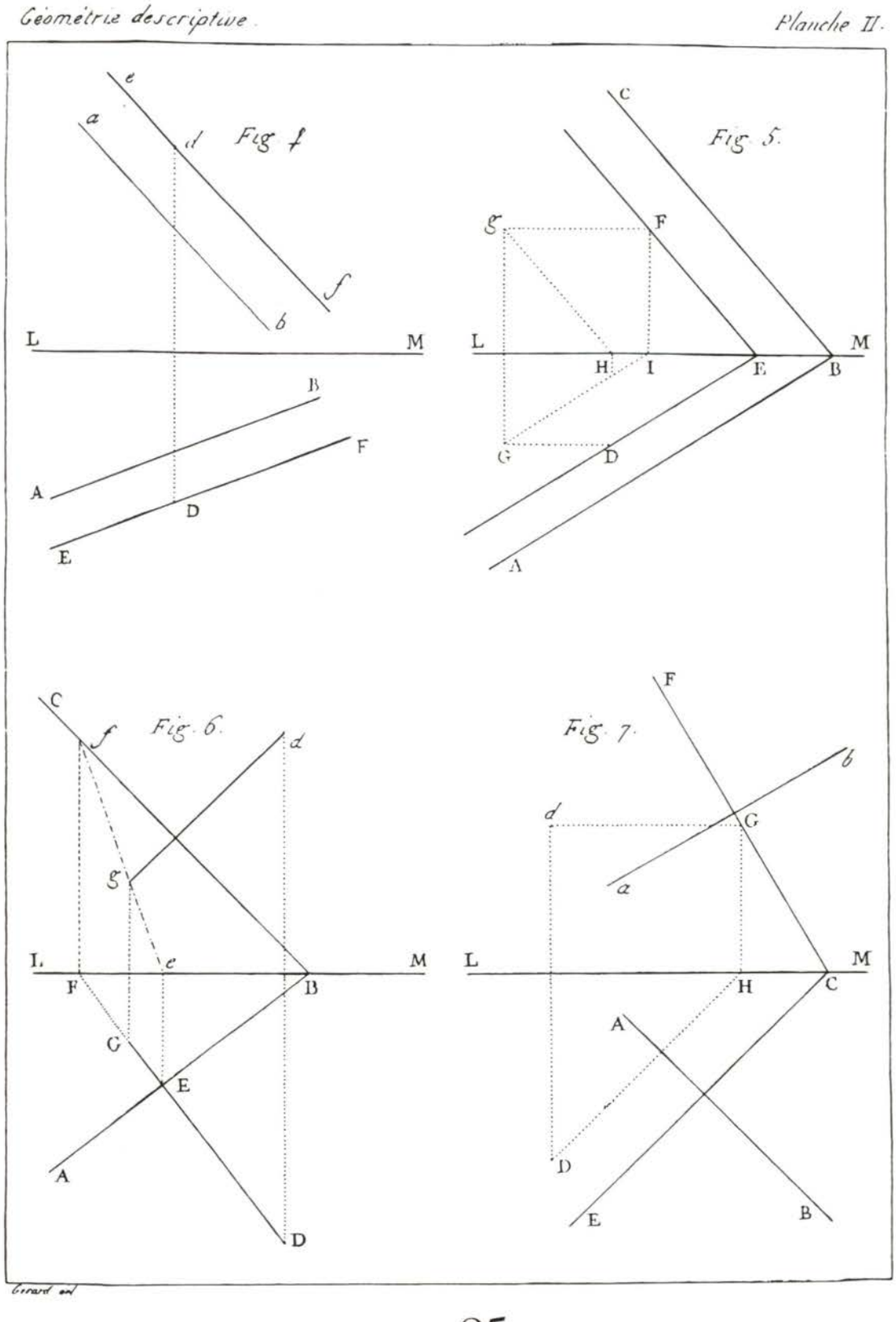
Ainsi peut-on dire qu'en 1640 les bases mathématiques de la perspective, de la coupe des pierres et de la gnomonique se trouvent effectivement posées par Girard Desargues, bien que la présentation parfois ambigüe et peu claire qu'il en donne n'en facilite pas la compréhension et que son désir avoué de dicter aux praticiens les "manieres universelles" de leurs arts, loin d'entraîner leur approbation, ait, au contraire, déclenché de violentes réactions de refus de la plupart d'entre eux. Quant à la géométrie projective et à la théorie des projections, leurs principes sont également posés, mais il reste à les préciser et à en tirer toutes les conséquences. Malheureusement le style difficile de l'essai de Desargues décourage beaucoup de lecteurs et sa perte, conjuguée avec celle du grand traité préparé par Pascal et avec le succès remporté par la géométrie cartésienne, expliquent l'échec provisoire de cette branche nouvelle de la mathématique.

De Desargues à Monge

Après la mort de Desargues (1661), sa méthode de perspective qui venait d'être rejetée par l'Académie de peinture et de sculpture, subit encore quelques violentes attaques, telle celle de G. Huret qui, en 1670, dans son *Optique de portraiture et de peinture* .... l'accusa d'inexactitude et de plagiat, étendant même sa critique à l'ensemble de son oeuvre, et à celle de son disciple Pascal. Ce désaveu n'était cependant pas général puisque le traité de perspective publié par Bosse (2 t., 1648-1653) fut l'objet d'une traduction hollandaise qui connut deux éditions (1664, 1680). Pendant le tiers du XVII[e] siècle et le début du XVIII[e], de nombreux traités de perspective de caractère purement pratique continuèrent à être publiés, cette discipline apparaissant à beaucoup d'artistes comme une simple technique dont l'emploi ne se justifiait que pour des représentations de structure complexe. Cette opposition croissante entre peintres et perspectivistes est cependant atténuée par l'apparition de l'école italienne perspectiviste de Piranèse et par un certain engouement pour l'architecture perspectiviste, les perspectives stratégiques et les décors de théâtre. Discipline devenue majeure depuis le début du XVII[e] siècle, la perspective ne pouvait connaître que des progrès dans la présentation, l'énoncé et la démonstration des propriétés et des méthodes pratiques; plusieurs mathématiciens du XVIII[e] siècle participèrent à ce travail de mise au point en publiant d'excellents manuels, tels ceux de H. Ditton (1712), W.J. s'Gravesande (1713), B. Taylor (1716, 1719, 1749 (avec compléments de J. Colson; nombr. trad.) et J.H. Lambert (1756, 1759 et 1774). Toujours profondément original, ce dernier auteur réussit à dominer l'ensemble des fondements géométriques de la perspective et des techniques graphiques voisines et apparaît ainsi comme le précurseur le plus immédiat de Monge et de son école.

Dans le domaine du dessin architectural et de la coupe des pierres, si l'ouvrage déjà cité de M. Jousse (1642) n'apporte que peu d'innovations par rapport aux auteurs qu'il critique, par contre l'important traité de l'*Architecture des voûtes ou l'art des traicts et coupe des pierres*, publié en 1643 par le jésuite F. Derand marque un progrès sensible. Tout en reconnaissant les mérites de l'essai de Desargues de 1640, Derand s'efforce, non sans un certain succès, de dresser un tableau d'ensemble des méthodes permettant de résoudre correctement les principaux problèmes du dessin architectural et du trait de la coupe des pierres; s'il n'ambitionne pas d'en donner des démonstrations rigoureuses, du moins, tente-t-il de les présenter clairement en utilisant, avec une certaine adresse, rabattements, projections orthogonales et développements. Aussi peut-on comprendre qu'il ait été réédité en 1743 et 1755. Entre temps, en 1674, le P. Milliet-Dechalles avait consacré à la coupe des pierres un chapitre de son célèbre cours de mathématiques. Bien qu'inspiré de Jousse et de Derand et destiné aux praticiens, le *Traité de la coupe des pierres*, publié en 1728 par l'architecte J.B. de La Rue, apporte une certaine simplification dans les méthodes et se trouve complété par des planches bien gravées et souvent précises qui, en 1795, servirent de modèle à certaines épures destinées à illustrer le cours de géométrie descriptive de Monge à l'Ecole Polytechnique. Cet ouvrage fut d'ailleurs réédité en 1764 et même en 1858. Mais un progrès beaucoup plus net apparaît avec le *Traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture* (3 t., 1737-1739) de l'architecte J.F. Frézier qui se propose «de donner la théorie des sections des corps, autant qu'elle est nécessaire à la démonstration de l'usage qu'on en peut faire en architecture pour la construction des voûtes et la coupe des pierres et des bois, ce que personne n'avait encore fait». Il s'agit donc du premier essai,

clairement affirmé, de mathématisation de ces techniques graphiques et, à cette fin, l'auteur s'appuie sur des études préalables de géométrie et de mécanique, ainsi que sur l'exemple de Desargues. Il souhaite développer la méthode de ce dernier beaucoup plus exactement que ne l'avait fait Bosse «qui, dit-il, ne pouvait expliquer ce qu'il n'entendait pas lui-même. Servi par de solides connaissances théoriques et techniques, Frézier réussit non seulement à clarifier et à rendre rigoureuses la plupart des méthodes de tracé utilisées en architecture et en coupe des pierres. Elaguant tout le fatras de la routine, il étudie les sections planes et les intersections des solides les plus courants, examine les différents modes de représentation plane des figures de l'espace en privilégiant la projection orthogonale, mais en ne recourant qu'exceptionnellement à la méthode des deux projections qui sera celle de la géométrie descriptive. Utilisant habilement rabattements, plans auxiliaires et développements, il entreprend dans certains cas la construction du point courant d'une courbe. Mais, bien qu'elles aient mieux mises en valeur dans une version en 2 volumes publiés en 1760, les innovations les plus importantes apportées par l'ouvrage de Frézier se trouvaient plus ou moins dissi-



Problèmes élémentaires de constructions de plan et de droite, (G. Monge, Géométrie descriptive, *1799).*

mulées au milieu d'un nombre considérable de procédés particuliers. Pour passer de là à la géométrie descriptive, considérée comme technique graphique unique, un nouvel et vaste effort de simplification et de synthèse restait à réaliser.

Dernière des techniques graphiques étudiée par Desargues, la gnomonique suscita la publication de très nombreux traités. Malheureusement ceux-ci insistent plus sur le détail, la variété et la complexité des tracés à réaliser sur la surface de base de cadrans que sur le principe de cette discipline: l'étude des projections des trajectoires quotidiennes (et circulaires) du soleil aux différents jours de l'année et sur ses divers aspects théoriques: perspective, théorie des coniques, trigonométrie sphérique, méthode des projections. Aussi cette technique ne contribua-t-elle guère à l'effort de mathématisation de l'ensemble des techniques graphiques et ce n'est d'ailleurs qu'après la création de la nouvelle géométrie qu'en 1802 son problème de base sera posé et résolu de la façon la plus naturelle par F.L. Legrançois.

Après la publication, en 1639, de son *Brouillon project* sur l'étude projective des coniques, Desargues résolut encore plusieurs problèmes importants: détermination des sections circulaires d'un cône admettant pour base une conique, problèmes de construction d'un trièdre et, en 1648, démonstration de la projectivité du rapport anharmonique et du célèbre théorème sur les triangles homologiques.Quant à son unique disciple direct, Pascal ne publie qu'un *Essay pour les coniques* en 1640, esquisse de ses recherches futures sur la géométrie projective et annonce de l'important traité qu'il rédigea et dont les quelques fragments connus font regretter la perte. Cependant l'inspiration projective se retrouve dans deux traités sur les coniques publiés l'un en 1673 par Ph. de La Hire et l'autre en 1704 par Le Poivre, ainsi que dans quelques fragments de Leibniz et dans certaines études de Newton, Maclauria et Braikenridge. Elle se retrouve également quelque peu dans le traité de perspective de B.Taylor et surtout dans ceux de J.H. Lambert. Mais isolés de leur fil conducteur et de leur conception d'ensemble, ces divers résultats et ces diverses recherches perdaient une grande partie de leur intérêt et de leur importance. Pour reprendre l'essor annoncé par le *Brouillon project* de Desargues, mais rapidement interrompu, la géométrie devait, par un nouveau contact avec les problèmes concrets et les techniques graphiques, prendre pleinement conscience de l'importance et de l'unité des méthodes de projection cylindrique et centrale.

C'est un géomètre doué d'un sens exceptionnel de l'espace et d'une intuition tout à fait remarquable, formé par son métier à la pratique de nombreuses techniques graphiques, Gaspard Monge, qui réalisa cet effort de compréhension et de persuasion d'où découlèrent à la fois le renouveau des études géométriques, la systématisation sur des bases rigoureuses de l'ensemble des procédés graphiques et l'essor parallèle de la perspective géométrique et de la géométrie descriptive.

Gaspard Monge (1746-1818)

Entré au début de 1765 dans la classe des appareilleurs de l'Ecole royale du génie de Mézières, Gaspard Monge s'y fit rapidement remarquer en résolvant de façon rapide et élégante un problème concret de défilement qui lui avait été proposé. C'est à cette occasion, semble-t-il, qu'il conçut les principes de ce qui deviendra plus tard la géométrie descriptive. Nommé répétiteur de mathématiques (1766), puis professeur de mathématiques (1769), il sera bientôt le principal professeur scientifique de cette école où il formera plusieurs disciples de valeur. Les premières recherches mathématiques qu'il aborda dès 1769 concernent la géométrie infinitésimale à laquelle il apporte d'importantes contributions, constituant la théorie des surfaces et des courbes en un corps de doctrine que ses travaux personnels et ceux de ses élèves enrichiront rapidement en liaison avec la théorie des équations aux dérivés partielles. A l'occasion de certaines de ces recherches, il contribua également à la rénovation du contenu et des méthodes de la géométrie cartésienne et à la constitution de la géométrie analytique moderne en corps de doctrine autonome. Dans son enseignement, il mit progressivement au point les principes de la future géométrie descriptive, mais nous n'avons que peu de jalons pour suivre les étapes de cette systématisation. Cependant quelques planches de fortifications datées de 1772, un passage d'un mémoire de géométrie infinitésimale de 1775 et le manuscrit d'un cours sur la théorie des ombres permettent de penser que vers 1775, les principes, les méthodes voire le langage de la nouvelle doctrine sont déjà clairement élaborés dans l'esprit de Monge. Mais ce n'est qu'à la fin de 1794, lors de la mise au point des programmes de la future Ecole polytechnique, et, au début de 1795, dans les leçons que Monge donne tant aux élèves de cette école qu'à ceux de l'Ecole normale de l'an III qu'il révéla publiquement l'esprit, le vocabulaire, le contenu et les méthodes de la discipline nouvelle qu'il avait fondée depuis plus de vingt ans; discipline qui apparaît à la fois comme une branche nouvelle des mathématiques, et comme la base rigoureuse de la plupart des techniques graphiques. Ses leçons à l'Ecole normale de l'an III furent sténographiées puis imprimées et dispersées dans les divers volumes des *Séances de l'Ecole normale* (1795), avant d'être réunies en 1799 dans sa célèbre *Géométrie descriptive*. Monge, après avoir énuméré les sources de la méthode des projections, ébauche primitive de la géométrie descriptive, y écrit que:

«C'est au moyen des méthodes qu'elle fournit que l'on construit les cartes géographiques et topographiques, les plans de batimens et de machines, les dessins d'architecture, les cadrans solaires, les décorations de théâtre, etc.», et que de plus, «les appareilleurs, les charpentiers, les constructeurs de vaisseaux, les menuisiers, les serruriers, etc., trouvent les dimensions de toutes les parties individuelles de l'objet principal qu'ils veulent exécuter,

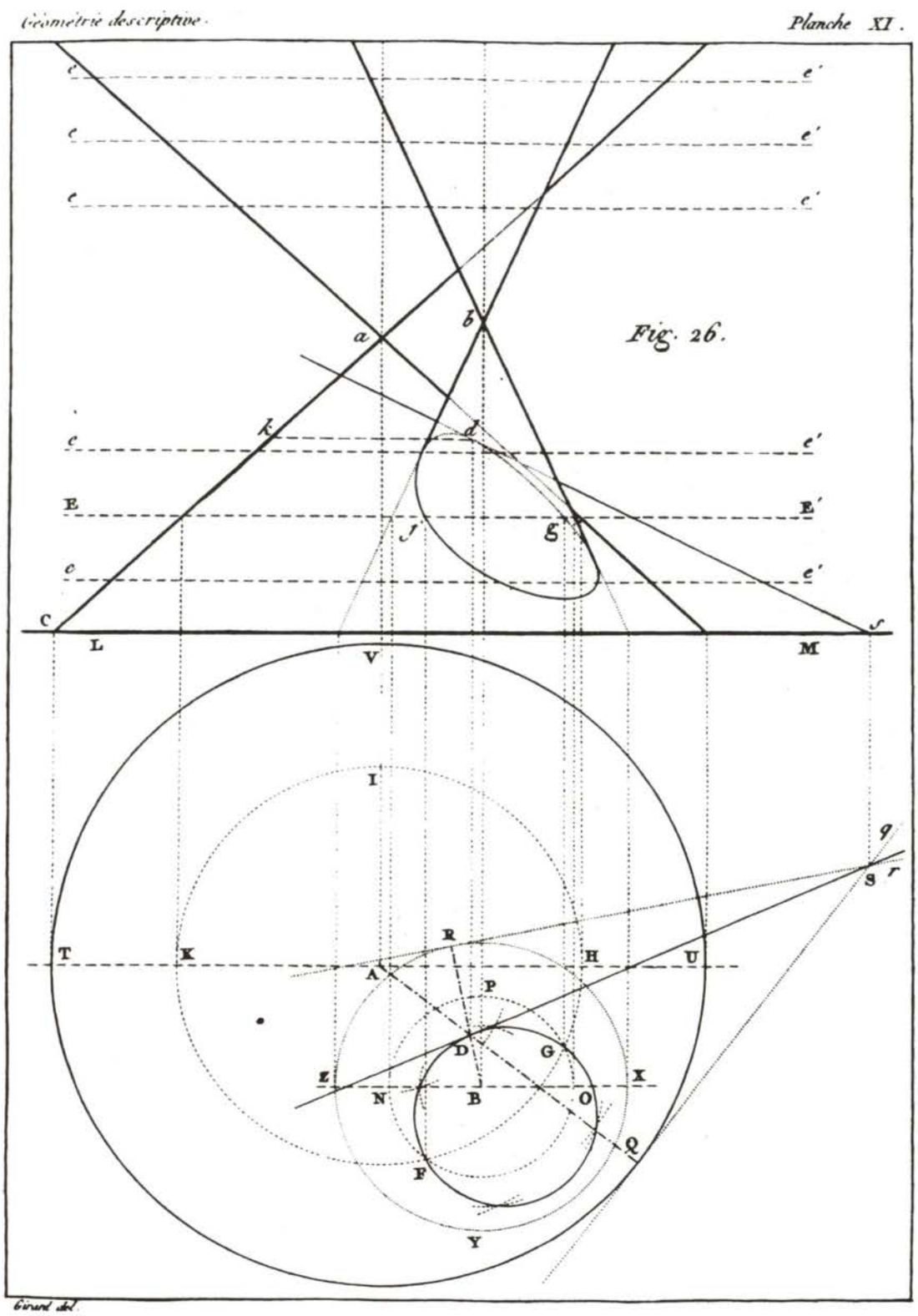
lorsque ces dimensions sans être données immédiatement, résultent nécessairement de la définition complète de cet objet».

Il serait toutefois injustifié d'assimiler les techniques imparfaites, utilisées par les praticiens de divers ordres jusqu'à la fin du XVIII[e] siècle, aux méthodes géométriques lumineuses et universelles qui découlent de l'emploi de la géométrie descriptive qu'il définit comme:

l'art de représenter sur une feuille de dessin qui n'a que deux dimensions, les corps de l'espace qui en ont trois et qui sont susceptibles d'une définition rigoureuse.

Réunion des textes d'une douzaine de leçons orales, qui étaient complétées par des exercices pratiques, la *Géométrie descriptive*, ouvrage toujours classique, décrit et démontre géométriquement la plupart des procédés aujourd'hui utilisés, en indiquant chaque fois des applications directes, soit à l'étude de problèmes mathématiques, soit à diverses branches du dessin technique. A l'occasion de l'étude des intersections de surfaces, il insiste sur une idée fondamentale, celle d'associer constamment les méthodes de l'analyse à celles de la géométrie descriptive.

Il faut, écrit-il, que l'élève «se mette en état



Epure de l'intersection de deux surfaces conique par la méthode des plans auxiliaires horizonataux (G. Monge, Géométrie descriptives, 1799).

d'une part de pouvoir écrire en analyse tous les mouvements qu'il peut concevoir dans l'espace, et de l'autre de se représenter perpétuellement dans l'espace le spectacle mouvant dont chacune des opérations analytiques est l'écriture».

Parmi les principales applications qu'il étudie, citons le problème topographique du relèvement, le dessin des différentes parties d'une voûte, la théorie des ombres et la perspective, notant à cet égard l'identité de nature entre les projections centrale et cylindrique.

Si les 24 leçons parallèles qui'il donna en 1794-1795 à l'Ecole polytechnique ne furent pas publiées, leur plan illustre parfaitement la place privilégiée que Monge accorde à la géométrie descriptive comme support rationnel de l'ensemble des techniques graphiques. Les 4 premières leçons étant consacrées aux principes de la géométrie descriptive et à son application à l'étude des surfaces courbes, les 20 autres se répartissent entre 6 types d'applications, correspondant aux aspects essentiels des techniques graphiques: coupe des pierres, coupe des bois, ombres, perspective, topographie, théorie des machines.

Ainsi le vaste programme de mathématisation des techniques graphiques, déjà partiellement résolu pour la perspective dès le début du XVII^{e} siècle, se trouve-t-il cette fois étendu à toutes les autres techniques graphiques dont nous avons suivi l'évolution. Et la voie est désormais ouverte aux différentes variantes du dessin technique et de la perspective qui seront enseignées et diffusées au XIX^{e} siècle. Quant aux propriétés fondamentales de la géométrie projective, elles n'apparaissent que par de brèves allusions dans l'oeuvre de Monge qui a privilégié l'alliance constante entre les méthodes analytiques et géométriques. Ces propriétés seront cependant mises en lumière dans son enseignement oral, ce qui explique que ce sont des auteurs issus de l'Ecole polytechnique comme Poncelet et Chasles, ou en liaison directe avec elles, comme Brianchon, qui, vers 1820, feront renaître la géométrie projective, près de deux siècles après Desargues.

René Taton

Direttore de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Histoire des Sciences (Équipe A du GR 46 du Centre Nationale de la Recherche Scientifique Française-C.N.R.S.), Centre de Recherche Alexandre Koyré, Paris.

Pubblicazioni

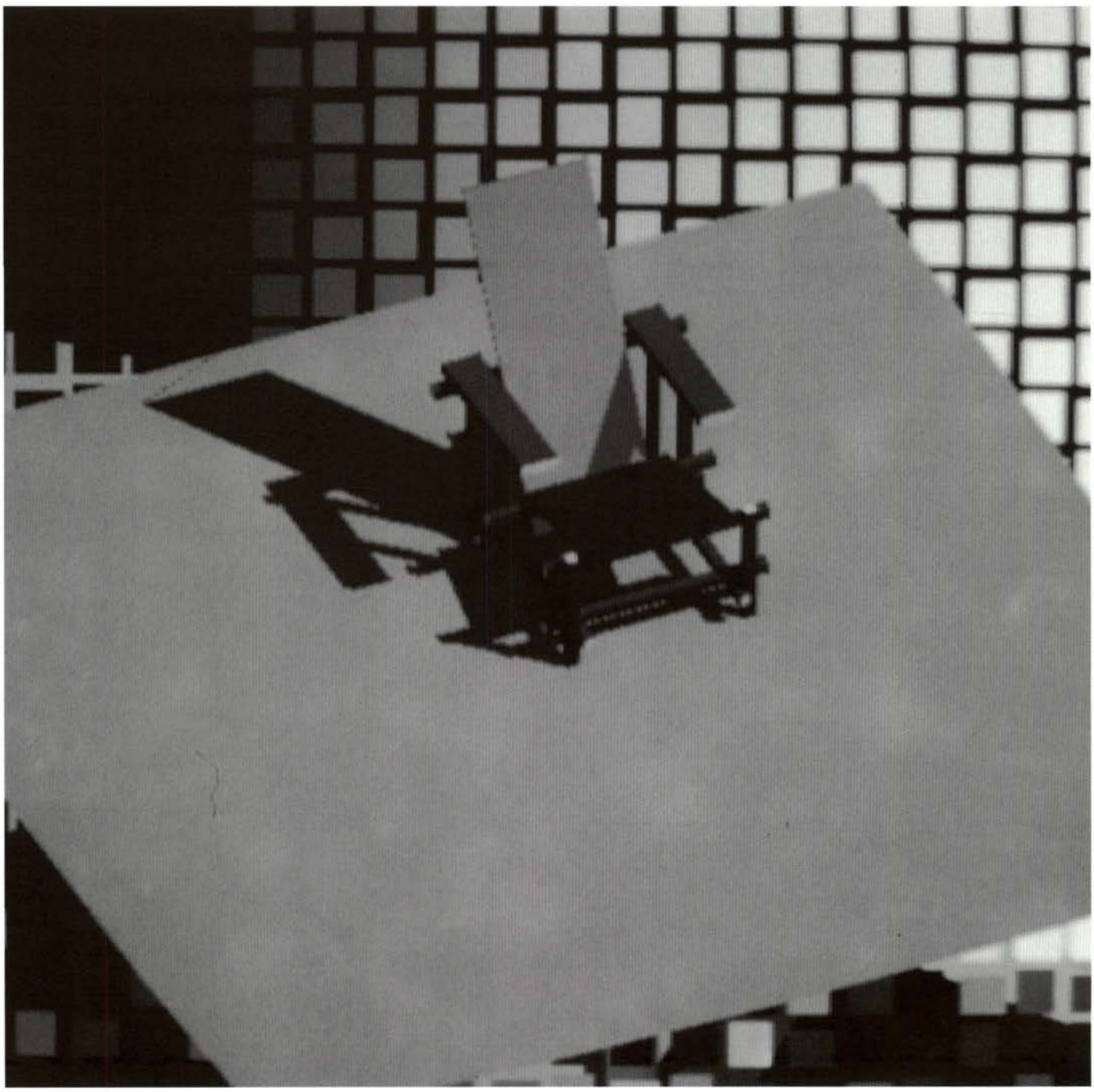
"L'oeuvre scientifique de Gaspard Monge", Presses Universitaires de France, 1951.
"L'oeuvre mathématique de G. Desargues", Presses Universitaires de France, 1951.
"Histoire du calcul", (coll. "Que sais-je?", n.198), Presses Universitaires de France, 5^{e} éd. 1969.
"Le calcul mental", (coll. "Que sais-je?", n.605), Presses Universitaires de France, 5^{e} éd. 1970.
"Le calcul mécanique", (coll. "Que sais-je?", n.367), Presses Universitaires de France, 2^{e} éd. (en collaboration avec J.P. Flad), 1963.
"Causalité et accidents de la découverte scientifique", Paris, Masson & C.ie, 1955.
"Histoire générale des Sciences", publiée sous la direction de R. Taton:
t.I., "La science antique et médiévale", Presses Universitaires de France, 2^{e} éd. 1966;
t.II, "La science moderne", (1450-1800), 2^{e} éd. 1966;
t.III, "La science contemporaine": 1, Le XIX^{e} siècle, 1961;
t.III, "La science contemporaine": 2, Le XX^{e} siècle, 1964.

Esquisse Bibliographique

F. AMODEO, "Origine e sviluppo della geometria proiettiva", Napoli, 1939.
L. BRION-GUERRY, "Jean Pelerin Viator. Sa place dans l'histoire de la perspective", Paris, 1962.
A. CHASTEL, "Le grand atelier d'Italie, 1460-1500", Paris, 1965.
M. DOCCI et D. MAESTRI, "Il rilevamento architettonico. Storia, metodi e disegno", Roma-Bari, 1984.
G. LORIA, "Storia della geometria descrittiva...", Milano, 1922.
F. PANOFSKY, "Die Perspektive als Symbolische Form", Warburg, 1934.
R. SINISGALLI, éd., "I sei libri della perspectiva di Guidobaldo dei Marchesi del Monte dal latino tradotti interpretati e commentati...", Roma, 1984.
M. STECK, "Dürer's Gestaltlehre der Mathematik und der bildenden Künste", Halle-Tübingen, 1948.
R. TATON, "L'oeuvre scientifique de Monge", Paris, 1951.
R. TATON, "L'oeuvre mathématique de Girard Desargues", Paris, 1951; 2^{e} éd., 1981.

Computergraphica e rappresentazione in architettura

di Alessandro Polistina



Un nuovo linguaggio per il discorso architettonico: l'informatica

Per secoli il progetto per eccellenza, anzi l'unico progetto possibile per la comunità locale è stato il progetto di architettura. Lo sviluppo della tecnologia ha seguito un processo che parte dalla scoperta e giunge alla sua industrializzazione ed ottimizzazione. In pratica le tecnologie cui siamo abituati si stabilizzano.

Per l'informatica ciò non sembra possibile. L'informatica è per sua natura instabile in quanto abbraccia una dimensione tecnica non definita e al tempo stesso è un linguaggio che pervade le altre forme di cultura. Ogni volta che l'informatica sposa un altro linguaggio nasce una nuova "mutazione tecnologica".

Questa sua natura instabile non è destinata a modificarsi a breve o medio periodo. In ciò sta la sua forza ma anche il suo aspetto anomalo.

In un certo senso ricorda il personaggio di Zelig nel film di Woody Allen. Zelig ha un fortissimo bisogno di essere accettato e per far ciò assume le sembianze del proprio interlocutore. Messo vicino ad un obeso diventa obeso, messo vicino ad una persona magra diventa magro.

Così fa l'informatica: messa in un ufficio vuol diventare una segretaria, introdotta nella scuola diventa insegnante, nella industria manager, nella burocrazia diventa burocrate, nel tempo libero un gioco e così via (vedi ad esempio il fenomeno dei "personal architect").

Il fattore principale di instabilità di questa tecnologia (l'informatica) è che tende a "pervadere" tutte le attività umane e quindi non si può sperare che "maturi" e si stabilizzi con i tempi e le condizioni che siamo abituati a riscontrare nelle catene tecnologiche di tipo tradizionale, legate alla elaborazione di qualche forma di materia prima. Dobbiamo quindi attrezzarci per convivere con l'innovazione tecnologica "permanente", anche se in questo momento essa si caratterizza come una vera e propria invasione tecnologica volta all'allargamento del mercato e al mantenimento del differenziale di crescita tra il settore informatica e gli altri settori.

A prima vista si ha l'impressione che ogni disciplina venga reinventata, ma se esaminiamo il software disponibile, è facile scoprire che in realtà sono le regole della progettazione meccanica che tendono a imporsi. Ciò non dipende da una qualche rivoluzione culturale, ma dal fatto che questo settore (il meccanico) ha assorbito e quindi fino ad ora finanziato lo sviluppo del Cad.

Questa informatica così spettacolare e disponibile al travestimento mostra un atteggiamento illuminista per le conoscenze acquisite storicamente o gestite con altre tecnologie e metodiche. Quali sono quindi le linee di fondo con cui gli architetti affrontano l'informatizzazione del discorso architettonico? Mi sembra che fino ad ora siano scese in campo due tendenze opposte.

La prima tendenza può essere schematicamente definita come quella dei "funzionalisti", che ritrovano negli attuali linguaggi di programmazione (assai elementari) una considerevole affinità con la propria logica di scomposizione, e analisi del flusso informativo, che lega forma e funzione. La presenza di interfacce grafiche in questo caso permette di spostare sulla macchina il peso del gran numero di operazioni ripetitive implicate, e di migliorare la comunicabilità e comprensione del metodo stesso, rendendolo riproducibile sotto forma di software a costi molto bassi.

Una seconda tendenza, che riafferma il valore storico e culturale della rappresentazione in architettura e urbanistica, riconosce che l'avvento dei sistemi grafici, basati su calcolatore, (o meglio sulla interazione architetto-computer) da' al linguaggio grafico quel valore e quella affidabilità che il disegno tradizionale sembrava avere perso, almeno come strumento di verifica delle ipotesi progettuali.

In ogni caso, per l'architetto, uno degli incontri più interessanti dell'informatica è stato quello con la grafica e l'immagine, avvenuto agli inizi degli anni '60 e delle cui possibilità tratteremo in questa relazione che ha lo scopo di fornire alcuni elementi conoscitivi ed introdurre una discussione sullo stato dell'arte e sugli sviluppi futuri.

In primo luogo si traccerà un breve profilo storico della computergraphica, sviluppando successivamente il tema della simulazione visiva nei sistemi di Cad architettonico. Verranno inoltre illustrate le nuove tecniche di rendering e un nuovo metodo di prospettiva a focale variabile. Alle conclusioni è stato lasciato il compito di evidenziare i problemi aperti su cui sollecitare il dibattito.

Dalle macchine per disegnare al CAD: 30 anni di sviluppo tecnologico in computergraphica (1955-1985)

La gestualità del disegnatore è il primo elemento cui si sono ispirati i progettisti di periferiche ed interfacce grafiche. Imitare la mano che disegna, la mano che cancella, che comanda e indica, è la sfida che viene raccolta. Da questa sfida nasce la tecnologia del disegno artificiale e del Cad.

Quando nel '55, durante lo sviluppo del progetto SAGE volto a convertire in forma grafica i segnali radar si inventò la penna luminosa, non ci si rese conto della importanza della scoperta. Due anni dopo fu costruita la prima macchina per disegnare pilotata da un calcolatore: il plotter a rullo. A questo faranno seguito una varietà di strumenti analoghi: plotter piani, plotter giganti e plotter da

Pagina precedente: Omaggio a Rietveld Computergraphica: arch. A. Polistina, R. Verona.

tavolo, con una, due, otto penne. Plotter che muovono le dita o che hanno una tenaglia capace di cercare ed impugnare la penna. Plotter che graffiano con punta d'acciaio una pellicola rivestita di vernice rossa. Plotter elettrostatici, a getto, fotoplotter, plotter a laser per disegnare le banconote, o per tagliare i jeans... Tuttavia il plotter è uno strumento della gestualità differita, e definitiva.

Solo nel 1959-60 presso il M.I.T. viene costruito il primo sistema grafico TX1 in grado di modificare ed animare la immagine in tempo reale su di un monitor: nasce il primo terminale grafico a rinfresco.

Il calcolatore controlla i movimenti di un fascio di elettroni che colpendo i fosfori dello schermo provoca l'emissione di luce. Tuttavia questa luminescenza è di breve durata ed il movimento del pennello elettronico deve essere ripetuto continuamente per mantenere il segno visibile altrimenti si verifica un fastidioso sfarfallio (chiamato flikering). I sei anni che vanno dal 63 al 69 sono certamente tra i più affascinanti e fecondi. Sono gli anni della ricerca e anche dell'utopia che precederanno quelli della fase industriale della Computergraphica (gli anni dal 69 al 75) e della fase commerciale (dal 75 ad oggi).

Tre sono i protagonisti: nel 1964 Sutherland, studente del MIT, presenta una tesi di laurea in cui sviluppa un sistema grafico interattivo basato su una struttura dati appropriata alla gestione di immagini dinamiche. Nel 1967 l'arch. Negroponte sviluppa in una tesi di Master un sistema grafico per l'analisi dicorsiva del contesto urbano e darà l'avvio a uno dei più creativi gruppi di Computergraphica: Architeture Machine. Quello stesso anno Steve Coons presenta i metodi matematici fondamentali per costruire e rappresentare superfici curve.

Se Sutherland e Negroponte sono importanti per il successivo sviluppo dell'hardware e del software, Coons ha aperto la strada allo sviluppo delle tecniche grafiche nell'industria automobilistica ed aereonautica. Con la sigla Dac-1 (Design Augmented by Computer) l'IBM installa alla General Motors un primo terminale grafico per verificare le possibilità di interazione uomo-macchina. La stessa sigla riscritta da sinistra a destra diventerà presto famosa come CAD: la progettazione aiutata dal Computer.

In Europa è merito di Bezier, un matematico francese che lavora alla Renault, aver trovato una geniale formulazione matematica che consente al disegnatore, senza trasformarsi in "matematico" di disegnare con il calcolatore curve bellissime. La Renault è in effetti la prima casa automobilistica europea che adotta le nuove tecnologie del disegno interattivo. Le forme "attillate" delle sue macchine sono un merito oltre che degli stilisti anche delle invenzioni di Bezier.

Le tecniche di interazione basate essenzialmente sulla penna ottica, assai imprecisa, si arricchiscono nel 64 di un nuovo strumento; la tavoletta o digimetro (digitizer) inventata alla Rand e che si è affermata come strumento principale di interazione grafica. La tavoletta può essere costruita in diverse dimensioni, da quella di un foglio di carta da lettera fino a quelle di un tavolo da disegno e permette di rilevare in coordinate numeriche 2D la posizione della penna impugnata da chi disegna sulla tavoletta stessa.

È utile ricordare che il calcolatore digitale non può elaborare direttamente l'informazione grafica; quest'ultima deve essere prima tradotta in numeri. Ecco quindi la nascita di tutta una serie di dispositivi che permettono di convertire segnali analogici legati al posizionamento di un oggetto in coordinate cartesiane bidimensionali e recentemente capaci anche di un rilievo tridimensionale.

Alla fine degli anni 60 nasce una generazione di terminali grafici che apre alla grafica una dimensione industriale e un mercato mondiale, si tratta dei terminali detti "a memoria" o storage che sono una naturale evoluzione della tecnologia degli oscilloscopi. Il cinescopio utilizzato da questi terminali era già stato inventato da Robert H. Anderson nel 50. Il termine "a memoria" sta ad indicare che l'informazione grafica non è volatile sullo schermo, ma vi permane anche senza una memoria esterna: diventa possibile disegnare e fissare il disegno sullo schermo, ma non è possibile cancellarlo a meno di cambiare pagina. Questo limite e l'assenza di colori fanno sì che questi terminali siano stati superati a favore dei terminali raster che hanno un monitor di tipo televisivo e conservano l'informazione grafica in una memoria di immagine chiamata frame-buffer.

L'innovazione dei dispositivi grafici, soprattutto dei terminali grafici non si arresta. Emergono a livello sperimentale nuove tecnologie: I terminali al plasma che sono costituiti da una griglia di minuscole lampadine al neon, che si possono accendere e spegnere singolarmente. Il sogno dei progettisti di display è il terminale ad alta definizione piatto e trasportabile.

Tuttavia lo sviluppo industriale del CAD è legato alla evoluzione dei calcolatori e verso la fine degli anni 60 registriamo una grossa novità: nasce il minicalcolatore che renderà possibile lo sviluppo di sistemi grafici turn-key (chiavi in mano), che saranno i veri protagonisti degli anni 70 e daranno origine alla attuale generazione di workstation grafiche basate su calcolatori a 32 bit.

Tutti i tipi di progettazione vengono investiti dai sistemi Cad. Si parla di CAD logico (applicato alla progettazione di circuiti integrati), di CAD meccanico, impiantistico, edile, ecc. La progettualità dell'ingegnere e dell'architetto vengono potenziate dal software interattivo. Il software è il vero protagonista dello sviluppo della informatica grafica. In questa concezione l'hardware diventa una condizione necessaria al software e non viceversa.

Tuttavia questo processo che porta a integrare le funzioni di base nell'hardware ripropone una questione fondamentale: chi deve fare il software applicativo? quali sono le condizioni per il suo sviluppo in un settore come quello dell'archi-

tettura così "mal definito" per l'analisi informatica tradizionale? Si può elaborare una nuova teoria della progettazione e della rappresentazione architettonica sulla base delle nuove metodologie informatiche?

Progettazione architettonica assistita da calcolatore

Oggi si ha la tendenza ad indicare col termine CAAD (Computer Aided Architectural Design) qualsiasi applicazione del calcolatore nel lavoro di progetto. A esempio si parla di CAAD anche a proposito di un computo metrico o di una elaborazione di testi o di elaborazione di un disegno, purchè eseguito col calcolatore.

Nulla è a mio avviso più sbagliato della equazione: "informatica nella progettazione edilizia = CAAD" oppure: "sistema grafico interattivo = CAAD". Queste semplificazioni non ci aiutano a comprendere nè la macchina nè la progettualità e in definitiva addossano alla sola informatica le responsabilità del risultato.

La mancanza di software per il CAD architettonico non può essere superato senza che gli architetti direttamente vi si impegnino. Se la ricerca, la sperimentazione e la didattica per gli architetti tarderà ancora a svilupparsi, l'intero processo di rinnovamento dell'edilizia accumulerà ulteriori ritardi.

Fino ad ora gli investimenti in software sono stati determinati dal peso, anche economico delle singole fasi e delle singole discipline nella progettazione edilizia (è la struttura delle parcelle che definisce la possibilità di investimento). Altrettanto evidente è che l'interesse dell'architetto per il calcolatore, dopo un primo incontro culturale alla fine degli anni 60, rinasce proprio oggi sia con l'avvento di "macchine grafiche" e di potenti Personal Computer, che parallelamente, con l'espandersi dei contenuti informativi nel processo di progettazione. Tuttavia il mondo professionale e quello accademico sono disorientati anche dalla rapida obsolescenza delle tecnologie in questione e delle conoscenze ad esse legate.

La riflessione deve quindi ripartire dall'analisi del metodo e del significato della progettazione. Il processo di progettazione è infatti integrato, evolutivo e mal si adatta ad essere definito in rapporto a specifici oggetti progettuali, ma più in generale deve essere visto come un processo idiosincratico, riferito alla peculiarità di un contesto.

Un sistema di progettazione architettonica e urbanistica assistito da calcolatore non è qualcosa dai contorni ben definiti, mi sembra utile tuttavia tentare di elencare gli elementi principali che devono essere contenuti in qualche forma e con qualsiasi livello di raffinatezza in un sistema CAAD integrato:

1 – un modello del contesto: cioè uno o più modelli di comportamento e di ruoli per l'uomo e la macchina nel processo di progettazione.

2 – Uno o più linguaggi o interfacce appropriati alla gestione della interazione.

3 – Un modello fisico dell'opera da progettare a diversi livelli di dettaglio.

4 – Un modello dell'opera nelle sue fasi concettuali per livelli di approfondimento successivi.

5 – Un sistema di relazioni che garantisca l'integrità semantica del progetto a diversi livelli di approfondimento.

6 – Uno strumento generale di interrogazione dello stato del progetto e della base di dati.

7 – Uno o più modelli per la valutazione prestazionale del progetto rispetto a fattori ambientali, dimensionali, tecnologico costruttivi e di costo.

8 – Un sistema grafico interattivo, per la produzione dei disegni di progetto.

Questi elementi non sono additivi, ma sono tra loro integrati ed interrelati. In diversi contesti questi componenti e il loro livello di prestazione cambia, dato che hanno una diversa rilevanza.

L'unico aspetto che penso possa essere assunto come criterio generale di valutazione è che la macchina deve essere lo specchio delle decisioni, delle intenzioni e dei giudizi di valore dell'operatore. Si deve quindi poter controllare a piacimento il valore dei vincoli e si deve poter trasgredire ai vincoli posti.

La ricerca dei sistemi integrati e capaci di capire tutte le fasi del processo di progettazione è stata una costante nelle esperienze sviluppate in Inghilterra e negli USA a partire dai primi anni 70, con risultati modesti. Inoltre questi approcci non hanno in generale coinvolto la pratica reale degli architetti essendo basati prevalentemente sulla automazione del calcolo tecnico-ingegneristico.

La simulazione visiva

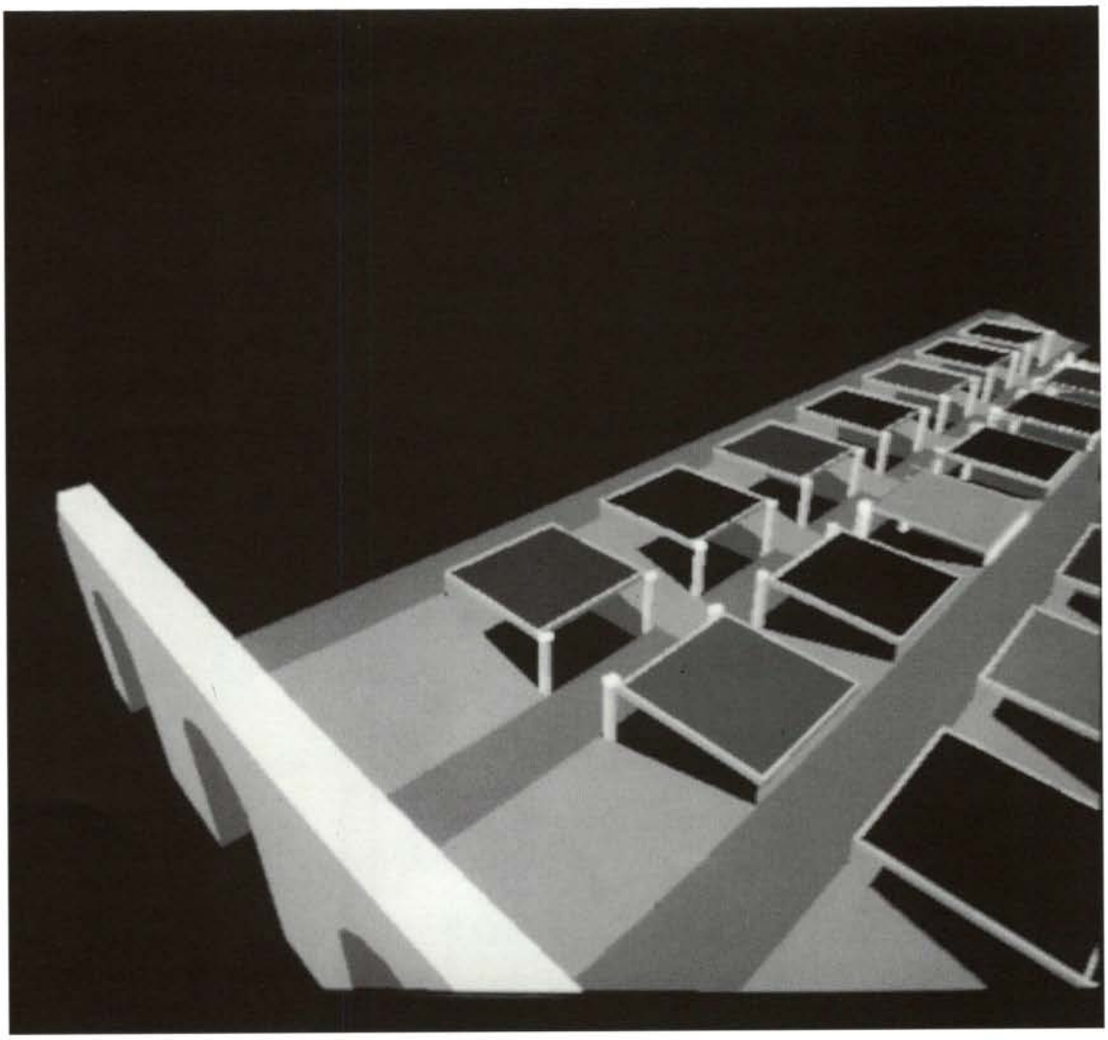
In questi ultimi anni la computergraphica ha risvegliato l'interesse dei progettisti per la simulazione visiva come strumento appropriato ad affrontare i problemi della rappresentazione e del disegno.

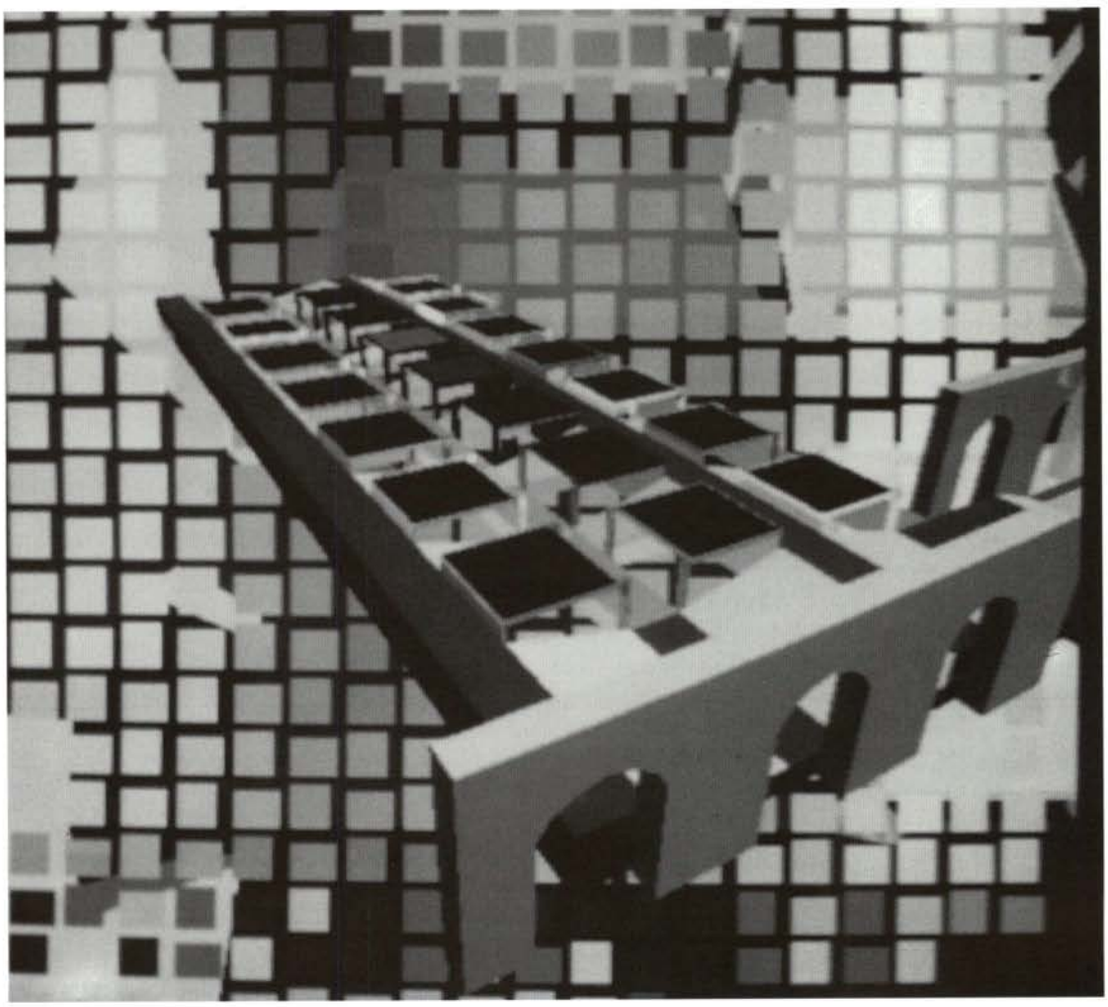
Il disegno nella progettazione ha due funzioni principali:

– viene usato come linguaggio nella produzione di forme e nella definizione di ipotesi progettuali

– inoltre viene usato come strumento per la verifica di idee, come strumento di rappresentazione scientifica (in quanto basato su regole geometriche e convenzioni grafiche) delle proprietà formali degli oggetti progettati.

In sostanza il disegno non è una semplice traduzione grafica di volumi o entità geometriche, ma diventa uno strumento indispensabile per la dichiarazione delle "intenzioni progettuali" e per l'esplorazione del contesto in cui esse maturano.





Simulazione visiva della scenografia della mostra "Le affinità elettive" (Triennale di Milano, 1985)
Progetto: arch. Carlo Guenzi.

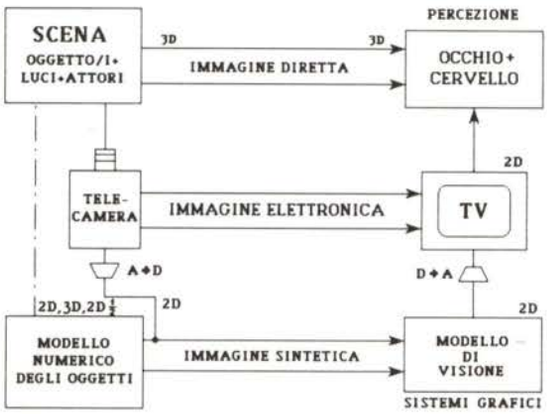
Infine il disegno è utilizzato come memoria storica dell'architettura e come tale viene utilizzato anche dal progettista per sintetizzare i propri riferimenti culturali.

Non è ovviamente necessario che un sistema grafico debba contemplare tutte le possibilità del disegno e quindi seguire tutte le fasi della progettazione. Le funzioni che deve avere sono di tre tipi:

– funzioni di generazione della forma, cioè di modellazione e di linguaggio

– funzioni di dettaglio specificazione e modifica delle simbologie, cioè di approfondimento

– funzioni di rappresentazione e di simulazione visiva.



Inoltre è evidente che, nella costruzione di immagini al calcolatore scelte stilistiche e struttura del software sono inscindibili. Ed è per questo che scrivere software per la grafica è anche un modo nuovo di esprimersi. Purtroppo l'attuale arretratezza dei linguaggi di programmazione non rende agevole questa operazione.

Per definire meglio cosa intendiamo per simulazione visiva dobbiamo illustrare il circuito informativo e metodologico che porta a sostituire l'immagine diretta 3D con quella bidimensionale sia essa televisiva o generata da calcolatore.

Immagine diretta

L'*immagine diretta* si fonda sulla interpretazione che diamo della percezione di una scena. Nella scena assumono un particolare valore gli oggetti, le luci, i colori e i movimenti.

La visione e il visibile sono correlati dall'occhio e dal cervello. La scena è comunque una realtà nello spazio tridimensionale e come in un teatro ogni spettatore ha il proprio esclusivo punto di vista. L'immagine diretta presuppone la presenza dell'osservatore nello spazio visibile. Lo spazio viene esplorato muovendo con il corpo il punto di vista e richiamando la propria memoria visiva e culturale. Gli occhi sono in continuo movimento e si soffermano maggiormente su elementi significativi.

La progettazione dell'architettura è complessa proprio perchè coinvolge tutti gli elementi del rapporto tra visione e visibile che determinano il riconoscimento e la soddisfazione dello spazio.

Immagine elettronica

Circuito informativo in sostituzione dell'immagine diretta (3D) con quella bidimensionale televisiva e calcolata.

L'*immagine elettronica* è quella che ci appare su uno schermo televisivo. In questo caso l'occhio è sostituito dalla telecamera e dal circuito televisivo che riprende e trasmette via etere. L'immagine sul monitor è in ogni caso una immagine bidimensionale e come tale viene restituita all'osservatore. La scena può anche non essere reale ma ricostruita per frammenti in studio mentre è la ripresa e il montaggio che forniscono allo spettatore una chiave di lettura unitaria.

Per poter essere letta ed elaborata da un calcolatore l'immagine televisiva deve essere convertita in forma numerica con l'uso di un convertitore a/d che traduce l'intensità del segnale luminoso in una scala di numeri interi.

Questa operazione deve essere ripetuta per ogni punto dell'immagine o *Pel* (picture element) e l'informazione numerica ricavata può essere registrata in una tabella che ci servirà come memoria dell'immagine per successive elaborazioni al computer.

Per poter essere di nuovo visibile l'immagine numerica dovrà ancora una volta passare attraverso un convertitore d/a che traduca l'informazione digitale in segnale analogico per il monitor televisivo. La memoria di immagine è quindi una mappa dei colori possibili per ogni punto dello schermo. Nessuna altra informazione è presente esplicitamente. I confini degli oggetti, ad esempio, possono essere dedotti solo con complessi programmi di riconoscimento dei pattern che compaiono nell'immagine bidimensionale.

Immagine sintetica

Un terzo modo di ottenere un'immagine consiste nella costruzione di un modello numerico di un progetto (il plastico virtuale) e nella sua rappresentazione (l'*Immagine Sintetica*).

La geometria utilizzata per l'elaborazione del modello può essere bidimensionale o tridimensionale. Si può anche utilizzare una codifica 2D e mezzo: in tal caso si suppone che la forma tridimensionale sia ottenuta dal movimento nello spazio di una sezione 2D. Quasi tutti i profilati sono descrivibili in questo modo. I programmi che servono per costruire il modello numerico si chiamano modellatori. Una volta costruito il modello in cui sono completamente descritte le caratteristiche geometriche e di forma del progetto è possibile vedere la scena da un qualsiasi punto di vista utilizzando dei modelli di visualizzazione.

Brunelleschi ci ha insegnato le regole della prospettiva centrale. Per poter applicare queste regole bisogna prima trasformare le coordinate del progetto nel sistema di coordinate dell'osservatore. Quindi si definisce la piramide visiva e l'ampiezza del quadro così come è stata descritta dall'Alberti.

In computergraphica queste costruzioni sono essenzialmente numeriche ed hanno rag-

giunto un livello di semplicità ed efficienza impensabili. Per calcolare la prospettiva di un punto non occorrono più di 12 addizioni, 3 divisioni e 19 moltiplicazioni.

L'immagine sintetica così ottenuta può essere anche mischiata a immagini riprese da telecamera prima di apparire sulla superficie bidimensionale del monitor. Il punto di vista può essere liberamente modificato. Anche la scena può essere modificata, cambiando i dati del modello numerico.

Si può definire la computergraphica come l'insieme delle tecnologie e dei metodi di sintesi delle immagini basati su un modello di rappresentazione di modelli di oggetti. Come si può notare il campo è decisamente multidisciplinare ed in un certo senso è anche mal definito; non ha confini precisi. Infatti anche ipotizzando di adottare un unico metodo di rappresentazione standard è difficile pensare che tutti i tipi di oggetti siano riconducibili ad un unico schema compositivo.

La prospettiva nella computergraphica: un problema aperto

Anche nella computergraphica, qualunque sia il tipo di tecniche utilizzate per modellare la scena, il risultato finale è una immagine bidimensionale. Esiste quindi un problema di comunicazione, e non tanto perchè nel processo di sintesi si passa dal modello 3D al modello 2D, ma perchè l'intelligenza visiva dell'osservatore non vive direttamente l'esperienza dello spazio.

La dimensione mancante è quindi la profondità. La rappresentazione della profondità e l'elaborazione di un linguaggio in grado di esprimerla sono quindi gli scopi principali di un sistema di sintesi di immagini.

Quali sono dunque gli strumenti espressivi della sintesi di immagini? Quelli tradizionali delle arti visive. Si tenta di conservare la ricchezza della percezione attraverso un sapiente gioco di sostituzione delle proprietà formali. Sono importanti tutte quelle proprietà della forma che a livello bidimensionale si scambiano con la profondità: la dimensione degli oggetti e la loro posizione rispetto all'orizzonte, l'illuminazione e le ombre, gli indicatori di priorità, le trasparenze, il colore e il dettaglio.

Gran parte dei metodi della computergraphica sono riconducibili alla definizione della prospettiva di Leonardo da Vinci: «La prospettiva, la quale si estende nella pittura, si divide in tre parti principali, delle quali la prima è quella che tratta della diminuzione che hanno le quantità dei corpi in diverse distanze; la seconda parte è quella che tratta della diminuzione dei colori di tali corpi; la terza è quella che diminuisce la notizia della figura e dei termini che hanno essi corpi in varie distanze».

Leonardo aveva elaborato una teoria della pittura che gli permetteva di concepire la prospettiva come perdita e sostituzione di informazione e la visione come l'insieme dei meccanismi atti a compensare questa perdita.

La costruzione rinascimentale della prospettiva centrale del Brunelleschi e la piramide visiva dell'Alberti sono accettate universalmente come base delle metodologie della computergraphica.

Al tema della prospettiva centrale, in verità, gli autori più noti della Computergraphica, dedicano pochissimo spazio. Giusto lo spazio per spiegare come si calcola il rapporto di scala tra due triangoli simili. È sorprendente che un recente numero della più importante rivista di Computer Graphics "IEEE Computer Graphics and Applications" dedicato all'arte e alla animazione non tocchi l'argomento se non marginalmente.

Non sembra che le nuove conoscenze sui meccanismi della visione e la ricchezza della cultura figurativa abbiano inciso sufficientemente sulle attuali macchine grafiche per sintetizzare immagini. Solo pochi autori analizzano il problema della visione nel contesto dei metodi della Computergraphica.

In questa ricerca ci siamo ispirati agli "errori prospettici" delle pitture medioevali e degli affreschi pompeiani e alla cognizione dello spazio architettonico che nella sua varietà di forme e scale percettive ha imposto l'uso di tecniche di rappresentazione differenziate e adatte sia alla documentazione del modello che alla sua figurazione.

Il nostro contributo originale, non è però nella critica alla prospettiva centrale, per cui abbiamo preso in prestito argomenti di altri autori, ma sta nella invenzione di un nuovo metodo di costruzione prospettica che accoglie una parte di queste critiche; nasce da una riflessione su di esse e dallo sviluppo di precedenti ricerche sulla simulazione visiva. Inoltre riteniamo che lo sviluppo delle immagini sintetizzate al calcolatore riproponga il ruolo centrale che le tecniche di rappresentazione hanno avuto nel suggerire e stimolare nuove possibilità di modellazione (concezione di modelli).

Le critiche alla prospettiva che abbiamo preso in esame riguardano unicamente la ricostruzione degli indizi di profondità tramite gradienti di superficie e variazioni di scala. Infatti in tutte le tecniche di rappresentazione bidimensionale di un modello tridimensionale si cerca di sfruttare al massimo quelle proprietà formali (colore, ombre) e figurative che si scambiano a livello percettivo con la profondità (che è la dimensione mancante).

D'altra parte l'esigenza e l'utilità di costruzione del modello numerico è intimamente legata alle possibilità offerte dalle nuove tecniche di rappresentazione.

In quanto segue ci riferiamo unicamente alla proiezione prospettica centrale essendo noto il procedimento che consente di trasformare le

coordinate dello spazio fisico nelle coordinate del punto di vista. Possiamo dire che la prospettiva è una rappresentazione a scala variabile. E la scala varia in funzione della profondità del punto da rappresentare, dalla posizione del punto di vista e dal piano di proiezione.

In termini algebrici:

$P1 = P0 . s$

dove s = fattore di scala
P0 = punto nelle coordinate dell'osservatore
P1 = punto nelle coordinate dell'immagine visiva

Nella prospettiva tradizionale si assume il fattore di scala come l'inverso della coordinata omogenea:

$s = F / (Pz + F) = 1 / w$

dove la coordinata omogenea vale:

$w = Pz / F + 1$

se raddoppiamo la distanza dal punto di vista l'altezza apparente del punto sull'orizzonte si dimezza. Alcuni autori si riferiscono a questo modello come alla legge della costanza dell'angolo. Ciò provoca delle rappresentazioni non sempre soddisfacenti.

Gli errori di questo modello vengono visti come "deformazioni" o "aberrazioni". In quanto segue ci occuperemo solo di tre critiche fondamentali che riguardano:

1 le aberrazioni marginali
2 l'unicità del punto di fuga
3 la legge della costanza della grandezza.

Per i primi due punti si rimanda alle tesi del Panofsky, ma a nostro avviso la critica più importante alla prospettiva artificiale ci viene dalla "legge della costanza della grandezza".

Lo spazio visivo è sempre una trasformazione distorta dello spazio fisico e non coincide con quello della rappresentazione. Queste distorsioni non seguono però le medesime regole nello spazio vicino, in quello medio e in quello lontano.

Infatti se osserviamo le nostre due mani, una ad una distanza doppia dell'altra, notiamo che sono uguali. Ciò accade anche per due sedie o due persone in una stanza viste ad una distanza doppia l'una dall'altra. Eppure nell'immagine retinica le due figure hanno grandezze una doppia dell'altra. Sembrerebbe quindi che la nostra intelligenza visiva tenga costante la grandezza, cioè la scala degli oggetti vicini. In pratica è come se avessimo il bisogno di diminuire la differenza tra spazio fisico e spazio visivo. Se superiamo una certa soglia si può invece applicare la legge prospettica o della costanza dell'angolo (due punti visti sotto lo stesso angolo hanno la stessa immagine).

Queste osservazioni sono state provate sperimentalmente da A.H. Holway e da E.C. Bonny dal cui lavoro è tratto il grafico che mette in relazione le grandezze percepite con le distanze dall'osservatore.

Essi hanno misurato la grandezza percepita fino a 36 metri. L'osservatore veniva posto alla distanza di 3 metri da un disco a diametro variabile. Un secondo disco veniva posto a distanza successiva ingrandendo il diametro in modo che rimanesse costante l'angolo sotteso dal punto di vista dell'osservatore. L'osservatore è in grado di aggiustare il primo disco fino a far collimare i due diametri.

Si può notare che fino a 10-15 metri sembra valere il modello della costanza della grandezza mentre successivamente le curve tengono alla immagine prospettica ottenuta con proiezione. Una ulteriore osservazione è quella che riguarda lo spazio lontano. Nelle fotografie del paesaggio i profili delle montagne sullo sfondo ci appaiono sempre più bassi e piccoli di ciò che si vede direttamente. La legge della costanza della grandezza ritorna quindi ad essere valida oltre una certa distanza.

La nuova prospettiva a focale variabile

Due sono le strade per produrre immagini che rispondono al grafico sperimentale illustrato.

La prima, tipica della scenografia, consiste nel deformare il modello prima della proiezione prospettica. La deformazione del modello è in questo caso una funzione della profondità.

Tuttavia questa soluzione non ci sembra soddisfacente se non come espediente progettuale e può portare a spiacevoli collisioni sulla scena.

La soluzione che si è proposta parte invece dall'ipotesi che l'intelligenza visiva operi una trasformazione sull'immagine retinica "equivalente" al cambiamento di focale in funzione della profondità. In questo schema la focale non è più fissa. È come se decidessimo di usare un teleobiettivo per le cose vicine, un normale per la distanza media e quindi di nuovo un grand'angolo per le cose lontane.

Per mantenere fissa l'inquadratura, variare la focale equivale allo spostamento del punto di vista: otterremo così una serie di punti di vista virtuali in funzione delle classi di profondità.

La costruzione prospettica diventa quindi:

$P1 = P/w . s$

dove $w = 1 + Pz / F(Pz)$

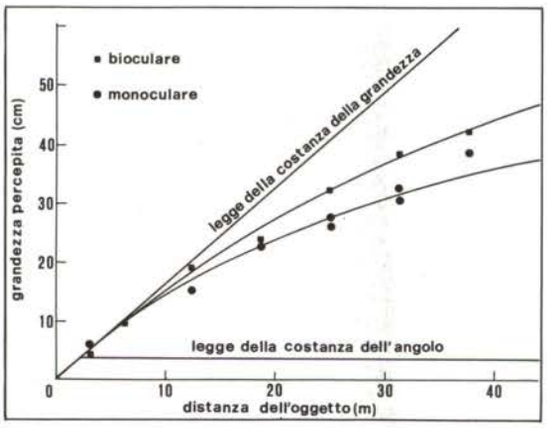


Grafico di A.H. Holway e di E.C. Bonny che mette in relazione le grandezze percepite con le distanze dell'osservatore.

Progetto di ristrutturazione del cortile dell'Ospedale di Gorgonzola. Progetto e computergraphica: arch. A. Polistina, R. Verona.

La lunghezza focale non è una costante, ma una funzione della profondità che può essere derivata o dalla osservazione empirica o come vedremo da esigenze figurative.

Il modello di focale variabile esteso al clipping tridimensionale della piramide visiva comporta:

1 – La definizione delle lunghezze focali appropriate per il piano più vicino e quello più lontano.

2 – La scelta di un modello di interpolazione tra questi due valori.

Se la focale varia continuamente in funzione della profondità, una linea retta nello spazio del progetto non si trasforma più in una linea retta nello spazio dell'immagine. Avremo invece un insieme di linee curve, convesse o concave a seconda che si proceda da una focale piccola verso una lunga o viceversa.

La curvatura dell'immagine visiva è stata riconosciuta, come scrive Panofsky, dagli antichi ottici: «le linee rette vengono viste come curve e le linee curve come rette; le colonne, appunto per non essere viste come curve, devono avere un'entasi (che nell'epoca classica era piuttosto debole); l'epistilio e lo stilobate, appunto per non avere l'impressione di una flessione, devono essere costruiti curvi».

Questo approccio pone evidentemente dei problemi di implementazione e di efficienza. Alcuni metodi semplificati possono essere utili: ad es. è possibile intersecare le primitive grafiche con una griglia di piani di profondità fissata a piacere. Ciò che diventa impegnativo dal punto di vista del tempo di calcolo, in questo metodo, non è la determinazione della focale in funzione della profondità, che può essere agevolmente precalcolata e memorizzata in una tabella, ma è la generazione delle primitive grafiche curve. I primi risultati della sperimentazione vengono presentati in due disegni.

Nella figura in alto viene simulata la percezione di un reticolo con focale decrescente in cui le linee di fuga non convergono su un unico punto, ma su un asse verticale. Sui bordi della scacchiera (pur essendo qui rappresentati da una spezzata) assumono una caratteristica curvatura. Inoltre la scansione delle linee di profondità suggerisce uno spazio che si alza sul fondo, quasi si ribaltasse in avanti. Solo se aumentiamo leggermente la dimensione delle mattonelle centrali otteniamo una immagine con profilo a linea retta.

Nella figura successiva, la prospettiva è stata calcolata accentuando i gradienti di profondità e usando un modello a focale crescente.

La curvatura dello spazio e dei bordi cambia direzione. Si nota una accelerazione della scala della figura. Le dimensioni cambiano rapidamente. L'impressione che ne deriva è quella del movimento, di velocità.

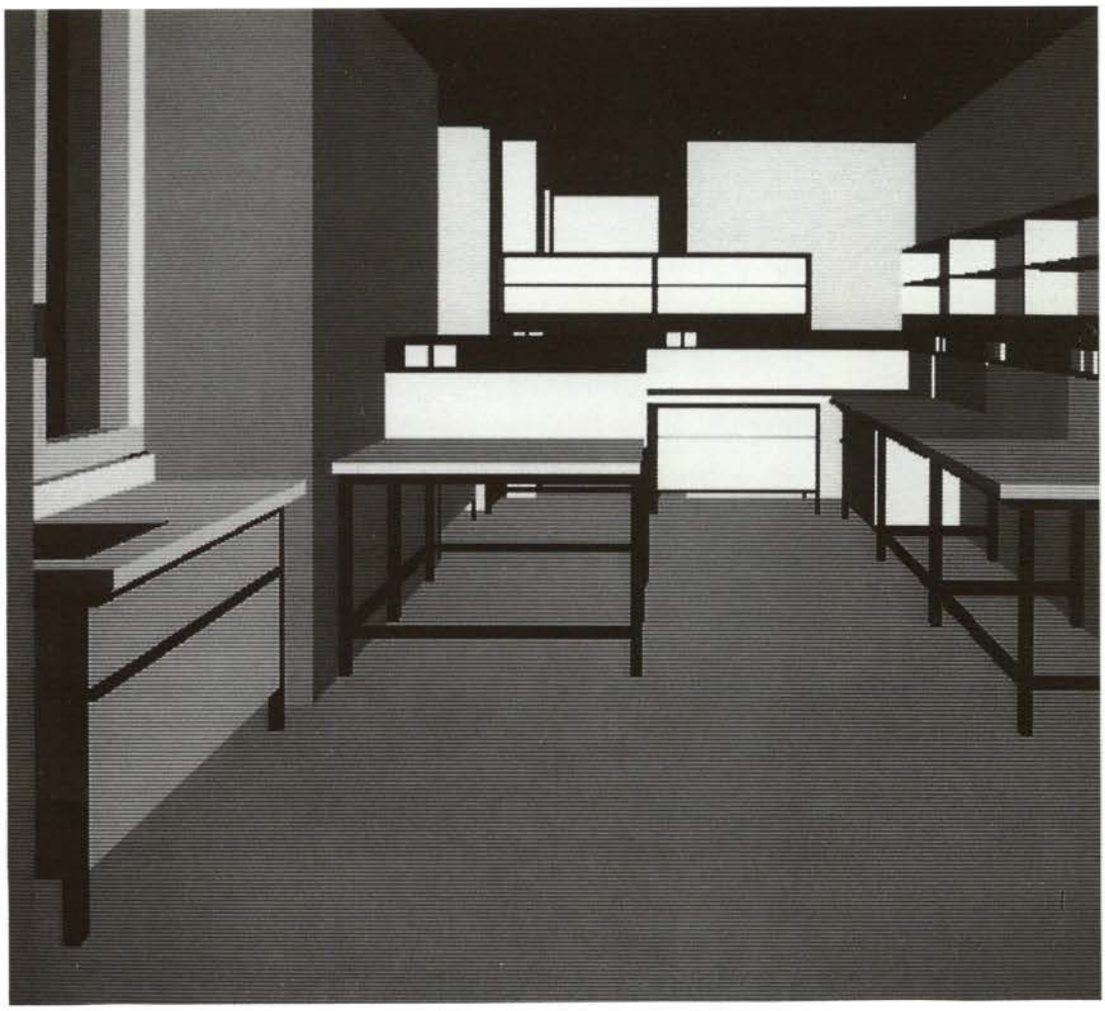
Se leggiamo l'immagine della seconda figura come sequenza di posizioni di una fila di mattonelle che scorrono in avanti avvertiamo una accelerazione nel movimento. Infatti la variazione del cambiamento di scala è un indizio di velocità. Se osserviamo la prima figura con lo stesso criterio notiamo invece una impressione di "frenata". Questa impressione è poi accentuata nell'inquadratura, che ferma l'immagine su un bordo della griglia e non la taglia come nell'esempio precedente.

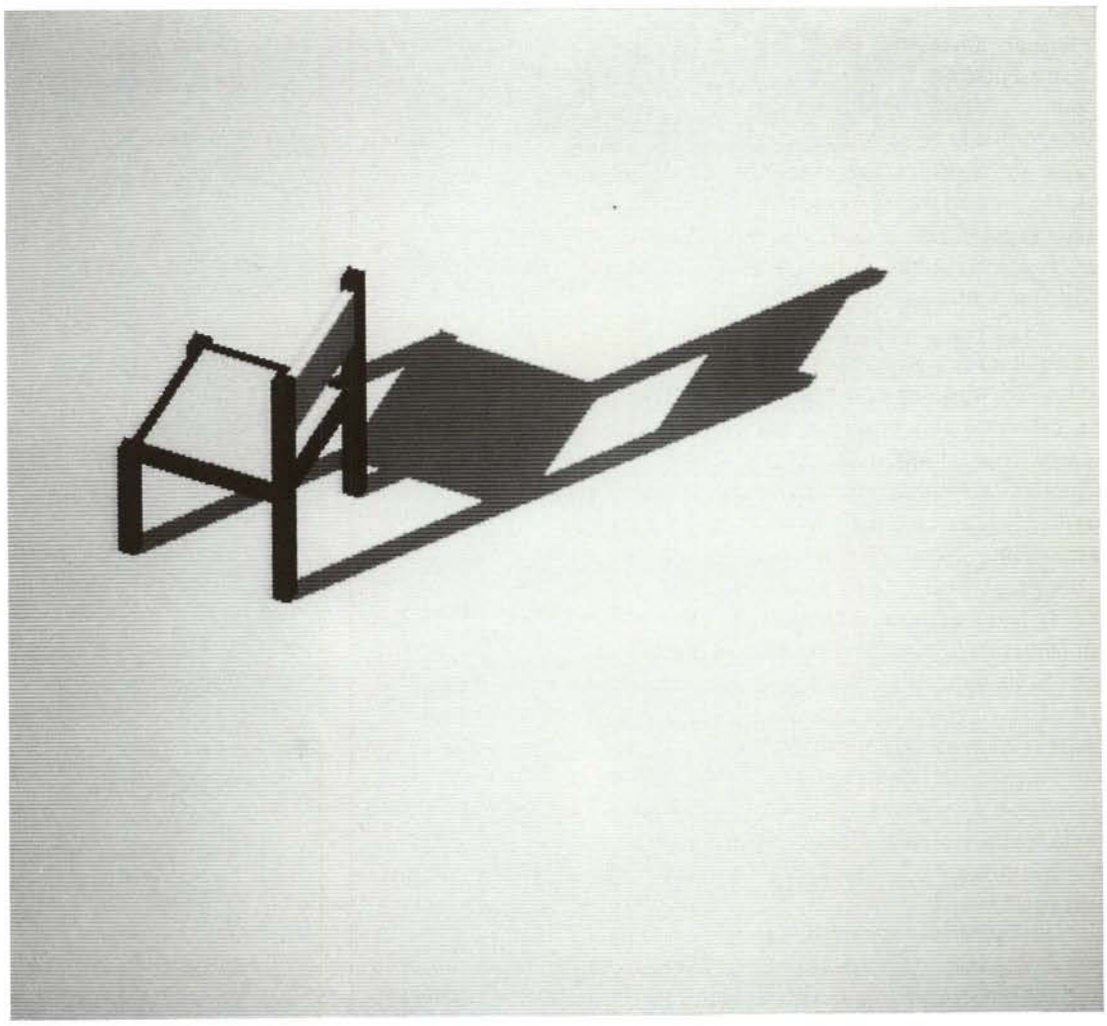
Da queste brevi note emerge anche l'importanza di questa tecnica per lo studio della percezione e della rappresentazione del movimento che costituisce il nostro attuale settore di indagine. Questa nuova prospettiva a focale variabile consente un approccio meno meccanicistico sia ai problemi della simulazione visiva che della raffigurazione. Infatti con questa nuova tecnica è possibile gestire e risolvere le tre grandi contraddizioni della prospettiva classica:

1. le abberrazioni marginali si annullano con l'uso di una focale iniziale molto ampia

2. la visione delle linee rette può risolversi in linee curve e viceversa

3. la costanza delle dimensioni si applica nello spazio vicino e in quello lontano.





Interno del Laboratorio di analisi. Progetto del servizio di Medicina Nucleare, Ospedale di Gorgonzola. Progetto e computergraphica: arch. A. Polistina, R. Verona.

L'algoritmo di costruzione delle ombre.

Conclusioni

Il progetto di architettura (interni, edifici, paesaggi) copre tutta la varietà della scala delle distanze e delle inquadrature possibili e può diventare l'oggetto privilegiato di queste nuove tecniche di rappresentazione.

Anche il superamento della prospettiva centrale può essere un passo necessario perchè la computergraphica esca dall'attuale fase di "produzione e riproduzione di immagini" per diventare uno strumento di progettazione creativa.

Conclusioni non se ne possono trarre; ma alcuni giudizi come questi di Rudolf Arnheim ci sembrano di una attualità sorprendente (anche se xilografia e computergraphica non sono paragonabili):

«La scoperta della prospettiva centrale significò un passo pericoloso nel pensiero occidentale, e segnò una preferenza di orientamento scientifico per la riproduzione meccanica e la costruzione geometrica in luogo della figurazione creativa.

Come William Ivins ha osservato, non è un semplice caso che la prospettiva sia stata scoperta solo pochi anni dopo che le prime xilografie erano state stampate in Europa. Le incisioni su legno costituiscono per la mentalità europea un principio quasi completamente nuovo di riproduzione meccanica. Se nonostante questa tentazione l'arte figurativa si pone ancora oggi come una creazione dello spirito umano, ciò torna a onore dell'artista occidentale e del suo pubblico. Persino nell'età della fotografia fu l'immaginazione a richiedere i servizi della macchina e non la macchina a cacciare l'immaginazione.

Ciò nonostante, a partire dal Rinascimento la tentazione della fedeltà meccanica ha sempre attirato l'arte europea, soprattutto la produzione di livello mediocre per il consumo di massa: con gli inizi della rivoluzione industriale, l'antico principio della "illusione" come ideale artistico diventò una calamità per il gusto popolare...».

Con le possibilità offerte dalla simulazione visiva le verifiche visive si moltiplicano e si espandono dal campo "estetico" a quello tecnico costruttivo: è possibile verificare la coerenza degli assemblaggi. Inoltre si potenzia la comunicabilità del progetto che attraverso l'animazione apre la porta ad una nuova forma di partecipazione basata sul "plastico virtuale".

Il progetto diventa spettacolo!

È sicuramente un modo di lavorare più diverte: ma sarà più utile? diminuirà veramente la distanza che separa il progettista, e il suo linguaggio, dalla realizzazione?.....?

Alessandro Polistina

Laureato in architettura al Politecnico di Milano nel 1971, ha insegnato nella Facoltà di Architettura di Algeri (1972-1974) e nella Facoltà di Architettura di Milano, (1974-1984) dove ha diretto dal 1982 al 1984 il Corso di Perfezionamento in Computer Graphics nella progettazione Architettonica e Urbanistica e nella Comunicazione visiva.

Inoltre ha tenuto seminari di aggiornamento presso l'INRIA di Parigi, la RAI, la scuola Reiss Romoli dell'Aquila, la FAST, Tecnopolis di Bari.

È presidente onorario della Associazione Italiana di Computer Graphics di cui è stato fondatore e Presidente dal 1980 al 1984.

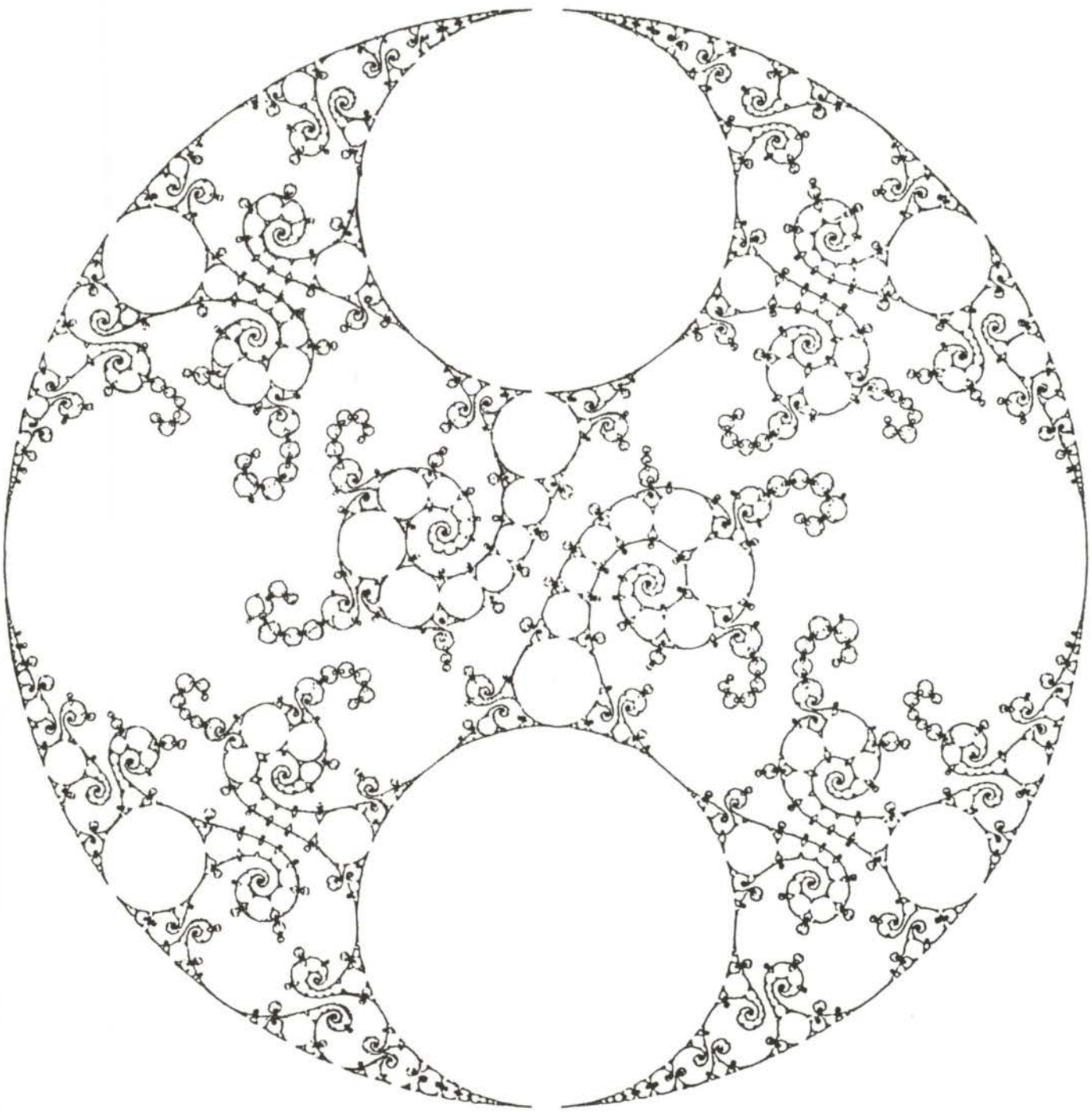
È stato invitato come relatore a numerosi Convegni internazionali, Micad '84 (Parigi), Computim '84 (Strasburgo), Forum des Nouvelles Images '85 (Montecarlo), Graphics Interfaces '85 (Montreal), Cad Cam '85 (Bruxelles), e dalle Facoltà di Architettura di Marsiglia, Losanna e Montreal.

È autore di varie pubblicazioni e articoli sui sistemi di computergraphica e di numerose immagini di sintesi presentate in diverse mostre: "l'Immagine elettronica", Bologna '84, "Dedalo e il computer", Camerino '84, "L'image en architecture", Musee del l'Histoire de Marseille '84.

Attualmente opera come ricercatore e produttore indipendente di software grafico 3D e di sistemi grafici speciali per l'architettura e l'urbanistica.

Complessità della rappresentazione e rappresentazione della complessità

di Mario Rasetti



La scienza contemporanea, cresciuta nei solchi dell'eredità cartesiana, ne ha utilizzati a lungo e a fondo i presupposti mettendo via via in discussione il ruolo e i criteri stessi della conoscenza. Così oggi si vanno focalizzando una nuova idea di scienza, intesa non più solo come puro strumento di previsione, e un concetto di tempo non più quale luogo in cui prende corpo la necessità, atemporale, delle leggi. Scienza è ormai invece un itinerario dinamico in cui alle domande sugli oggetti della ricerca scientifica si sono legittimamente sovrapposte altre domande sui problemi, sugli oggetti, sulla rappresentabilità della scienza e della conoscenza stesse.

E' questa problematicità ciò che i filosofi definiscono come la sfida della complessità: la scienza (o meglio la scienza della natura) pare oggi caratterizzata da una crisi profonda della spiegazione semplice, e sta accadendo che quelli che parevano essere i residui non scientifici dell'umanesimo – l'incertezza, il disordine, l'indeterminismo, la pluralità, la complessità – sono entrati a far parte ormai delle questioni di fondo della conoscenza scientifica.

Caos e disordine sono presenti nell'universo, alle sue stesse origini, e svolgono un ruolo essenziale nella sua evoluzione. Su questo punto la fisica e le scienze naturali concordano: ciò che rimane aperto come problema di fondo è l'incertezza che i concetti stessi di disordine e caos proiettano sui nostri criteri di rappresentazione delle leggi naturali.

In altre parole, lo stesso caos non è sicuro di essere caso, ma presenta intrinseci elementi di determinismo. E così ciò che rimane di fatto è la incertezza sulla natura dell'incertezza generata dal caso.

Un'altra faccia dello stesso dilemma è l'apparire, nella teoria che produce le leggi, di singolarità e di localizzazioni spazio-temporali che contraddicono l'astrazione globale-universalistica che caratterizzava la attitudine cartesiana. La intrinseca non-linearità della natura, questa relazione implicita o ancora non ben compresa fra ordine, disordine e organizzazione che giocando il loro ruolo complementare ma non autonomo portano ad una universale coerenza dell'universo fisico, è diventata essa stessa oggetto di scienza. Il locale nello spazio e nel tempo deve essere rappresentato nella sua complessità strutturale, e non può essere assorbito ricorrendo ad una regolarità mediata globale che esiste sì, ma non è sufficiente.

La complicazione anche algoritmica che si accompagna a questa necessità è forse il fatto nuovo più caratterizzante delle scienze naturali oggi. E l'aspetto più sorprendente di tutto ciò è la ricchezza che si richiede proprio alla rappresentazione della legge naturale: essa, come un ologramma, in cui le proprietà globali dell'immagine dipendono dal fatto che ogni punto possiede praticamente tutta l'informazione che l'insieme dell'immagine rappresenta, o come un organismo vivente di cui la intera struttura è immagazzinata come informazione nella chimica molecolare di ogni sua singola cella, deve avere una struttura capace di spiegare e riprodurre se stessa. La discussione a questo punto si potrebbe fare filosofica: la complessità forse non è nella natura delle cose, ma nel codice di rappresentazione che la scienza ha scelto di utilizzare per queste cose, e l'errore sta forse nel tentare di costruire una teoria scientifica di sistemi complessi che li esaurisca anzichè esprimerli in leggi in cui la complessità stessa diventi intelleggibile e mediata.

Io desidero invece qui fare riferimento ad alcuni aspetti caratteristici di questo vasto schema di rappresentazione, discutendone le implicazioni e le limitazioni proprio dal punto di vista della costruzione delle immagini. Il primo è quello della auto-similarità: nella descrizione di quello che possiamo chiamare caos deterministico, cioè di fenomeni che – pur controllati da leggi semplici e microscopicamente deterministiche – presentano caratteristiche strutturali globali a tutti gli effetti stocastiche e su scala macroscopica casuali, giocano un ruolo determinante strutture geometriche per cui ciascun pezzo è geometricamente simile al totale. Tali strutture si possono pensare generate da una cascata infinita di riduzioni di scala di un'unica forma iniziale, e sono spesso caratterizzate matematicamente, dal fatto di essere costituite da curve (o superfici o ipersuperfici) non-rettificabili, tali cioè da non avere una tangente definita in alcun loro punto. In effetti è sufficiente che il processo iterativo generatore venga ripetuto un numero finito di volte perchè la figura risultante sia già così intricata da eludere completamente qualsiasi intuizione – che è sempre implicitamente fondata sul concetto di differenzialità – sulla sua forma finale.

Un modo matematico semplice di definire questa complessità è di dare il numero di dimensioni di tali entità geometriche: risulta infatti che per esse questo numero è non-intero. Per comprendere il concetto è sufficiente ricordare che una definizione rigorosa di numero di dimensioni di un ente geometrico che sia una parte continua di uno spazio è basata sull'idea di ricoprirlo con (iper)-sfere infinitesime. La misura dell'oggetto è quindi data dal numero di tali sferette che sono necessarie per ricoprirlo, moltiplicato per il "volume" di ciascuna di tali sferette. Quest'ultimo si scrive nella forma

$$V(r) = \frac{[\Gamma(\frac{1}{2})]^d}{\Gamma(1+\frac{d}{2})} r^d$$

dove $\Gamma(x)$

denota la consueta funzione gamma, d è il numero di dimensioni topologiche dello spazio ambiente, cioè il numero intero di tagli continui necessari per dividere tale spazio in una successione di parti sconnesse fino a ridursi ad un punto (convenzionalmente, l'entità di numero di dimensioni zero); ad esempio si dice che un oggetto (porzione di

spazio) ha dimensione tre se per dividerlo occorrono superfici (dimensione 2) per dividere le quali occorrono curve (dimensione 1), le cui intersezioni sono punti. Ora per le nostre strutture auto-simili (frattali è il nome che le caratterizza) accade che esiste un valore D tale che la loro misura è nulla per $d > D$, e diventa infinita per $d < D$. Il numero D può essere frazionario o addirittura irrazionale (si pensi alla ricchezza di possibilità che ne deriva!) e denota il numero di dimensioni caratteristico – detto di Hausdorff-Besicovitch – delle strutture auto-simili.

Nella rappresentazione grafica di queste ultime deve venire suggerito il processo iterativo infinito che le genera, ma non può sostanzialmente mai essere raggiunta quella che è la vera forma che le caratterizza se non per una ideale estrapolazione mentale.

Il secondo aspetto interessante è che algoritmicamente questa complessità da una parte non corrisponde – come si potrebbe aspettare – ad una inusitata complicazione delle equazioni, ma è anzi caratteristica già delle situazioni più semplici che si possono immaginare, dall'altra non investe una parte marginale delle strutture della matematica, ma ne coinvolge in modo essenziale molti degli aspetti fondamentali. Per rendere la discussione più concreta, vorrei fare riferimento ad un esempio semplice, che se da un lato è accessibile – come difficoltà matematica – anche da un pubblico non di specialisti, dall'altro riveste una importanza basilare dal punto di vista matematico, in quanto tocca questioni fondamentali di algebra (di fatto niente di meno che il teorema fondamentale dell'algebra), di topologia, di geometria, che stanno alle frontiere della ricerca più avanzata e inoltre presenta inaspettate doti di universalità nel descrivere in modo essenzialmente unificato una vasta classe di fenomeni fisici.

Il problema è semplice: si vogliono trovare gli zeri di una funzione, diciamo f(z), di una sola variabile complessa z. Per renderlo più facile scegliamo f(z) nella forma di un polinomio di grado g:

$$f(z)=\sum_{i=0}^{g} a_i z^i ,$$

dove a_i, $i=1,\ldots,$ g sono coefficienti in generale complessi. Poichè si vogliono deteminare gli $\tilde{z}$ per cui $f(\tilde{z})=0$, non si perde generalità facendo l'ipotesi che $a_g=1$. L'algoritmo è una semplice generalizzazione del metodo di Newton: per un arbitrario

$$z_0 \in \mathbb{C}$$

si definisce – iterativamente –

$$z_n = T_h(z_{n-1}) \quad , \quad n = 1, 2, \ldots$$

dove

$$T_h(z) = z - h\,\frac{f(z)}{f'(z)}$$

h, $0 < h < 1$ è un parametro a priori arbitrario. Diciamo che z_0 approssima z se, scelto h=1, la sequenza di z_n è ben definita per ogni n, e converge verso $\tilde{z}$ allorchè $n \to \infty$

Naturalmente ci sono scelte di z_0 che non risultano ben definite, altre sì: l'insieme di queste ultime costituiscono quello che si chiama il bacino di attrazione di $\tilde{z}$. D'altra parte la conoscenza del bacino di attrazione e quindi delle scelte convenienti del valore iniziale di z_0, dipende dalla conoscenza della soluzione del problema e questo comporta che l'uso pratico dell'algoritmo non sia sempre conveniente. La complessità dell'algoritmo è una misura del suo costo (per esempio in numero di operazioni elementari che esso richiede allorchè viene implementato sul computer), e si dice che un problema è trattabile se il costo della sua soluzione non cresce esponenzialmente con la sua dimensione. Nel caso che stiamo considerando il parametro che in modo naturale descrive la dimensione del problema è il grado g del polinomio f(z). Quindi ci si domanda: se scegliamo z_0 senza avere alcuna informazione a priori su dove si possa trovare $\tilde{z}$ (ad esempio $z_0=0$), quale è la probabilità μ di fallire nella ricerca di $\tilde{z}$, se ci imponiamo che il costo del calcolo cresca al più polinomialmente con la dimensione g?

La risposta a questa domanda ha radici lontane: da un lato si mette in discussione uno dei punti fondamentali della dimostrazione del teorema fondamentale dell'algebra che risale alla prima prova che ne sia stata data (da C.F. Gauss, nella sua dissertazione di dottorato ad Helmstädt, nel 1799) e che consiste nel trovare gli zeri di una funzione seguendo una curva algebrica; dall'altro apre una prospettiva geometrica inaspettata sulla teoria dei sistemi dinamici. Infatti il metodo di Newton per risolvere $f(z)=0$ non è altro che un'approssimazione di Eulero della equazione differenziale ordinaria

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{2}\,\mathrm{grad}\,|f|^2$$

ciò che si può facilmente verificare osservando che

$$\frac{1}{2}\,\mathrm{grad}\,|f|^2 = f\bar{f}'$$

($\bar{f}$ indica il complesso coniugato di f). Ne segue che:

$$-\frac{1}{2}\,\mathrm{grad}\,|f|^2 = \varrho(z)\left(-\frac{f(z)}{f'(z)}\right)$$

dove il fattore di scala $\varrho(z) = |f'(z)|^2$

che varia passo per passo, ha l'effetto di eliminare le singolarità nei punti critici, dove $f'(z)=0$.

Dal punto di vista della rappresentazione grafica i risultati si visualizzano in strutture di inaspettata bellezza e complessità strutturale.

Il bacino di stabilità di un punto $\tilde{z}$

$$S(\tilde{z})=\{z \in \mathbb{C} \mid T_h^n(z) \to \tilde{z}\ ,\ n \to \infty\}$$

(il contorno di

$$S,J=\partial S$$

viene spesso indicato come insieme di Julia della funzione $f(z)$ per la radice $\tilde{z}$) può essere colorato con la semplice regola ricorrente seguente: per un fissato $0<\varepsilon<<1$

$$L_0(\tilde{z})=\{z \in \mathbb{C} \mid |z-\tilde{z}|<\varepsilon\}$$

$$L_K(\tilde{z})=\{z \in \mathbb{C} \setminus L_0(\tilde{z}) \mid T_h(z) \in L_{K-1}(\tilde{z})\};$$

$K=1,2,....$

k diversi corrispondono a colori diversi.

Le figure mostrano alcuni esempi significativi delle situazioni discusse:

fig. 1 - la cosiddetta curva di Koch triadica, la cui dimensione di Hausdorff-Besicovich è $D=\ln 4/\ln 3 \sim 1.2618$; struttura auto simile che definisce una linea di separazione fra due regioni piane la quale ha un numero di dimensioni maggiori di 1, e si qualifica quindi come frattale;

fig.2 - alcuni esempi di soluzioni iterative del metodo di Newton globale analizzato sopra, corrispondenti a $g=2$;

fig.3 - ancora una soluzione iterativa, ma del caso dell'equazione differenziale, con $g=3$;

fig. di pag. 101 - un esempio interessante – dovuto a Mumford e Thurston in cui $f(z)$ non è polinominale ($g=\infty$) una T_h è dato da una trasformazione di Möbius:

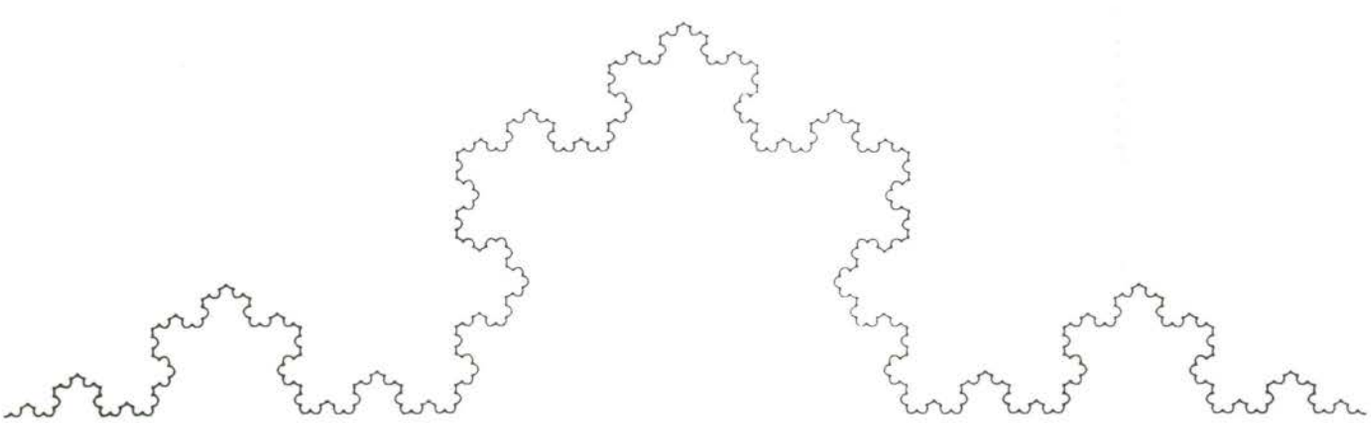
$$\tilde{z}_n=(az_{n-1}+b)/(cz_{n-1}+d)\ ;$$

$$ad-bc=1$$

Nel caso rappresentato in figura, $a=5$, $b=4$, $c=d=1$; la dimensione D di Hausdorff è ~ 1.541: la curva – se l'iterazione fosse continuata fino a $n \gg 1$, ricoprirebbe l'intero semipiano complesso (qui rappresentato come disco di Poincaré).

A questo punto ci si può riproporre la domanda iniziale: se la struttura algoritmica è così semplice, e se il teorema ci garantisce che esistono un polinomio $S(g,1/\mu)$ e una $h=h(g,\mu)$ tali che – con probabilità $(1-\mu)$; e per $z_o=o-z_n=T^n(z_o)$ è ben definito per ogni $n>o$ e z_s è uno zero approssimativo di $f(z)$, per $s=S(g,1/\mu)$, la sfida della complessità è irrilevante? La risposta ovviamente è negativa: ciò che abbiamo verificato è che è forse possibile una codificazione semplice dei fenomeni complessi. Ma la vera sfida è in quello che i fisici chiamano il problema inverso: dall'insieme dei dati di una rappresentazione della complessità di quelle mostrate nelle figure, occorre saper ricostruire la legge, cioè l'algoritmo descrittivo del sistema dinamico che tale struttura genera, perchè su questo soltanto può essere fondata la teoria. Questo ribadisce il principio formulato da Morin, che reintegra direttamente il concettualizzatore nella concezione della legge fisica: «qualunque sia la teoria, e di qualunque cosa essa tratti, essa deve rendere conto di ciò che rende possibile la produzione della teoria stessa». E se «non è in grado di rendere conto di ciò, deve pur sapere che il problema rimane posto».

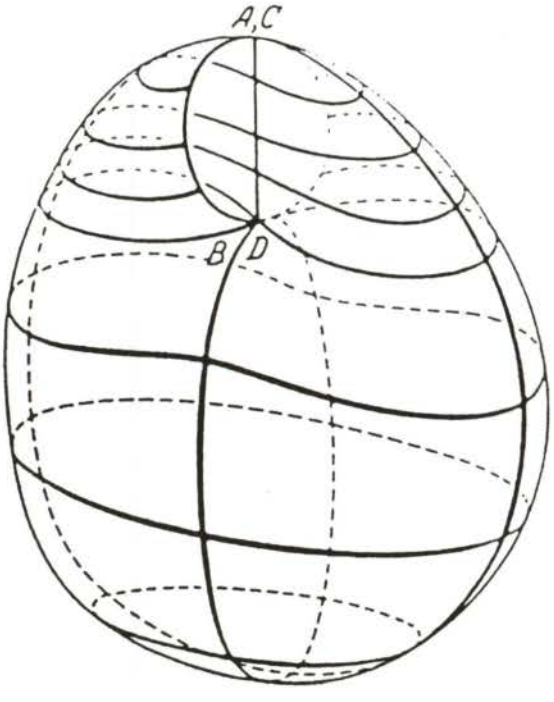
Ancora sul piano della rappresentazione un'altra grande sfida turba i fisici e i matematici. Le più recenti teorie della struttura ultima della materia – che si riflettono nella nostra concezione sia della nascita sia dell'evoluzione del cosmo, oltre che sulla dinamica e cinematica dell'infinitamente piccolo delle particelle elementari – tendono a concentrarsi su di un modello spazio-tempo che, ben al di là ormai delle tre dimensioni di Galileo e di Cartesio, viene ben descritto da varietà che

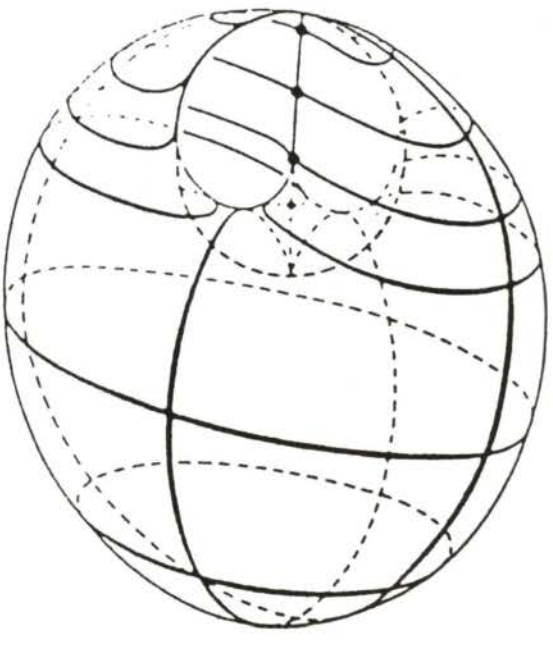


hanno numero di dimensioni tipologiche 4,10 o 26. Si tratta di numeri interi che non comportano le difficoltà della visualizzazione delle dimensioni frattali discusse in precedenza, ma ancora la complessità che ne risulta è molto grande. I nostri metodi grafici ci consentono al più di rappresentare oggetti di una, due o tre dimensioni (questi ultimi con tecniche particolari, quali la prospettiva, l'assonometria, le proiezioni ortogonali). Qualsiasi struttura in numero di dimensioni superiori non può quindi venire descritta graficamente che mediante sezioni uno-, bi- o tri-dimensionali. Limitando la discussione al caso di uno spazio in quattro dimensioni o ad un esempio classico e concreto ci si renderà forse conto di quanto oltre ancora la grafica del computer ci deve portare perchè la nostra fisiologica incapacità di raffigurarci un mondo che non sia tridimensionale venga integrata al punto di poter visualizzare la fisica che si svolge in spazi così complessamente strutturati.

L'esempio è un classico della geometria differenziale: la superficie di Veronese. Essa ha proprietà notevoli, sia geometriche sia algebriche e analitiche. La sua realizzazione è basata sulla nozione di piano proiettivo reale (cara ai geometri del secolo scorso). Questo per definizione è una superficie sferica bidimensionale, in cui i punti diametralmente opposti vengono identificati. La costruzione sfortunatamente non può essere realizzata in uno spazio Euclideo tridimensionale, perchè se si comincia con l'identificare un piccolo tratto dell'equatore con il tratto corrispondente sul lato opposto, si scopre immediatamente che occorre effettuare una torsione di π, il che indica che la superficie risultante dovrà contenere al suo interno una striscia di Möbius.

Ora, qualsiasi superficie che includa in sé una striscia di Möbius appartiene alla classe delle superfici non orientabili; ed è un teorema fondamentale della teoria delle superfici che queste ul-





time, se costruite nello spazio E_3, devono necessariamente avere autointersezioni (la Fig.4 mostra schematicamente la costruzione).

Veronese descrisse un modo di immergere il piano proiettivo in uno spazio di numero di dimensioni più elevato in modo tale che non ci siano più punti di autointersezione. Il processo inizia con la proiezione dei punti dell'emisfero inferiore di una sfera unitaria

$$x^2+y^2+z^2=1 \quad ; \quad z<1$$

in un luogo di punti di uno spazio a 6 dimensioni E_6 definito dalla regola

$$\sum \ni (x,y,z,) \rightarrow (x^2, y^2, z^2, \sqrt{2}\,xy, \sqrt{2}\,yz, \sqrt{2}\,zx)$$

È un semplice esercizio di algebra verificare che punti antipodali di Σ corrispondono allo stesso punto di E_6.

Ora si può ridurre il numero di dimensioni osservando che dato che la somma delle prime tre coordinate è 1, l'immagine della superficie sta in un iperpiano. Si può dunque proiettare in un piano ortogonale alla terza coordinata e ottenere l'immersione del piano proiettivo in E_5.

Infine osservando che la terza coordinata in E_6 si può sempre esprimere in funzione delle altre due, e proiettando dunque lungo la diagonale fra le prime due coordinate si ottiene l'immersione in E_4:

$$\sum \ni (x,y,z,) \rightarrow \left[\tfrac{1}{\sqrt{2}}(x^2-y^2), \sqrt{2}\,xy, \sqrt{2}\,yz, \sqrt{2}\,zx\right]$$

Ancora una volta si verifica senza sforzo che punti antipodali sulla sfera corrispondono ad un unico punto della varietà così definita e che questa è differenziabile, cioè possiede in ogni suo punto un solo, ben definito, piano tangente (bidimensionale in E_4), vale a dire non ha auto-intersezioni.

Ma ancora la complessità si manifesta nel problema inverso. Le interessanti intersezioni tridimensionali (una di queste è la bella superficie di Steiner, detta Romana), consentono di risalire alla forma n-dimensionale?

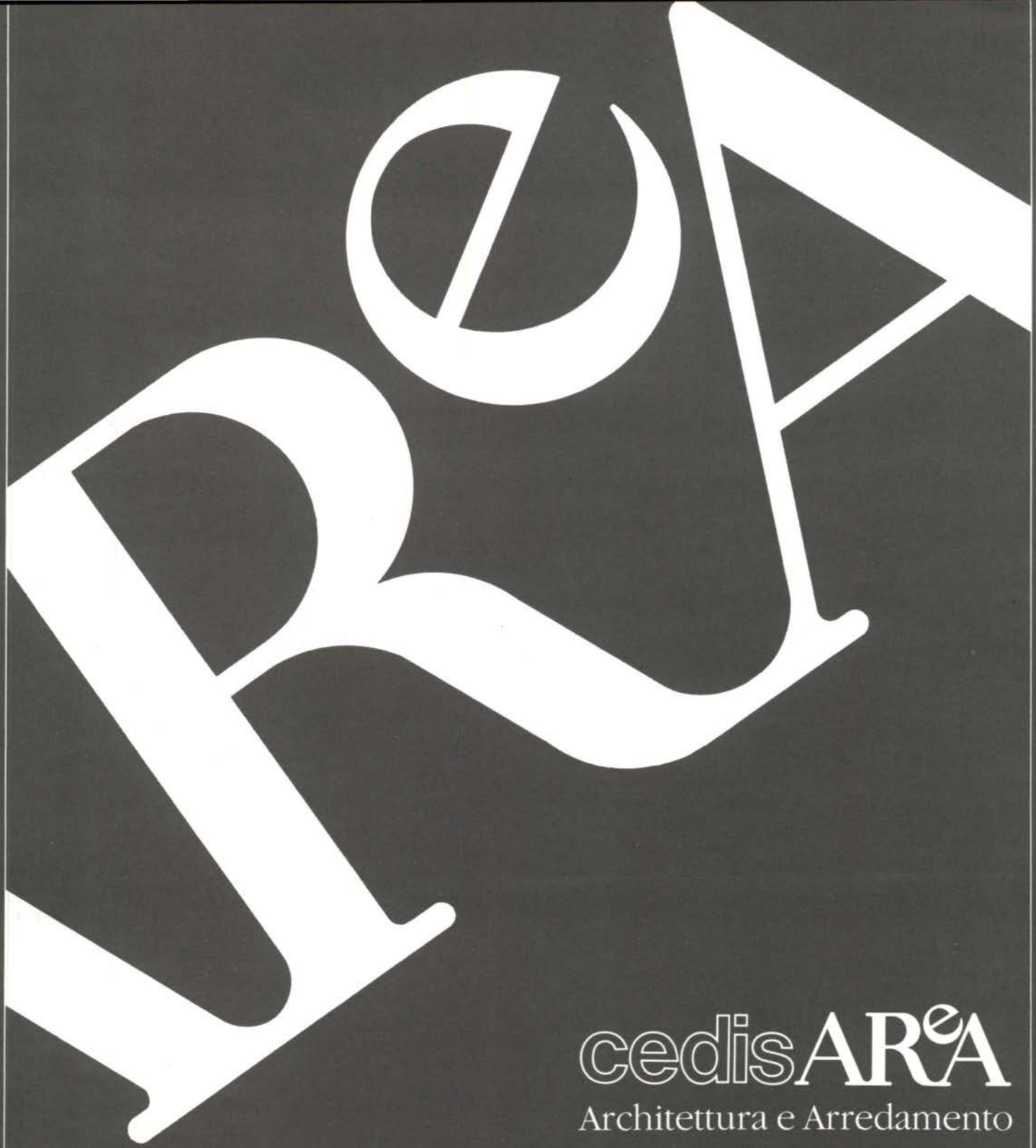
Complessità dunque come strumento della natura e come tramite per la nostra comprensione della natura: un sistema complesso, la nostra mente, cercando di comprendere un altro sistema complesso, la natura, indaga di fatto su se stesso, ed è in ultima analisi se stesso che cerca di rappresentare.

Mario Rasetti

Mario Rasetti è nato a Torino nel 1941. E' professore ordinario di Fisica Teorica nel Politecnico di Torino e membro dell'I.A.S. (Institut for Advanced Study di Princeton, USA). Attualmente si occupa in modo particolare di problemi di meccanica statistica.
Principali pubblicazioni:
"Modern Methods in equilibrium statistical mechanics", World scientific publ.co. Singapore, 1986.
"Caos as göedelian undecidability", Phys. Rev. Lett. 1986.
"Stability of coerent states", J. Phys. A. Math., gen. 18, 1985.
"Random walk on the homogeneous spaces of a group and generalized coherent states", con G. Bertotti, Physica 129a, 125, 1984.

Riferimenti Bibliografici

W.P. THURSTON, "Three Dimensional Manifolds, Kleinian Groups and Hyperbolic Geometry", Bull. Amer. Math. Soc. 6(3), 357 (1982).
S. SMALE, "The Foundamental Theorem of Algebra and Complexity Theory", Bull. Amer. Math. Soc. 4(1), 1 (1981).
H.O. PEITGEN e P.H. RICHTER, "Harmonie in Chaos und Kosmos" e "Morphologie Komplexer Grenzen", in "Bilder aus der Theorye dynamischer Systeme", Universität Bremen, Farschungsschwerpunkt "Dynamische Systeme" Reports.
H.O. PEITGEN, D. SAUPE e F.V. HAESELER, "Cayley Problem and Julia Sets", Math. Intelligencer 6(2), 11 (1984).
B. MANDELBROT, "The Fractal Geometry of Nature", W.H. Freeman and Co., New York, 1983.
A. DOUADY e J.H. HUBBARD, "Itération des Polynomes Quadratiques Complexes", Comptes Rendus (Paris) 2941, 12 (1982).
C. ATIAS e J.L. LE MOIGNE (curatori), "Exchange avec Edgard Morin: Science et Coscience de la Complexité", Editions de la Librairie de l'Université, Aix-en-Provence, 1984.
E. MORIN, "Le Vie della Complessità", in "La Sfida della Complessità", a cura di G. BOCCHI e M. CERUTI, Feltrinelli, Milano, 1985.

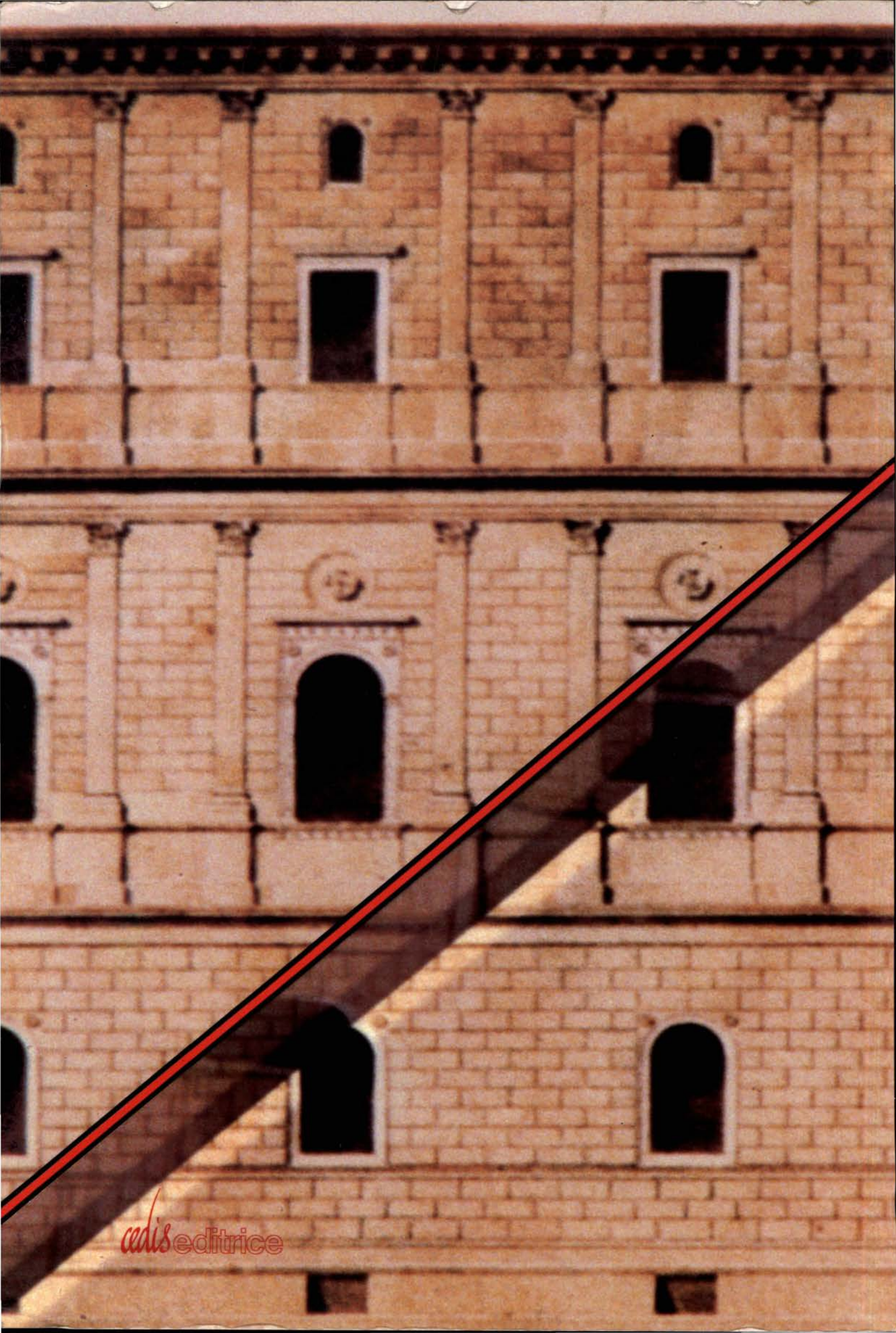


cedisAREA

Architettura e Arredamento

Società di consulenza
per l'organizzazione
dello spazio aziendale

Roma
Corso Francia, 228
Via Denza, 52
Via Macherio, 325
Via Dessié, 2
Telefono: 06/3277954


cedis editrice