

# Mostrare il non-visto Le figure della scienza

MANFREDO MASSIRONI

A

Nel grande insieme di tutto il materiale iconografico prodotto dall'uomo si può isolare un sottoinsieme contenente le raffigurazioni di cose, di oggetti, di eventi, che non è possibile, non è ancora stato possibile, non sarà mai possibile, vedere direttamente. Può essere interessante cercare di capire perché, e come, vengono prodotte immagini di questo genere non solo per studiarne la struttura, ma anche per alimentare ipotesi sui processi cognitivi sottostanti alla loro produzione.

Si capisce subito che la maggior parte delle immagini senza un referente visivo riguardano l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande. Quelle porzioni di mondo delle quali riusciamo a raccogliere solo informazioni parziali o indirette, informazioni, cioè, date da strumenti che misurano o rilevano la presenza di qualche cosa di cui riusciamo a verificare l'esistenza, ma di cui non possiamo riconoscere la forma.

B

Sono state prodotte anche immagini raffiguranti non dei fatti naturali, ma dei concetti astratti come «Giustizia», «Libertà» ecc... Un qualsiasi dizionario iconografico ne mostra un grande numero i cui esempi provengono dalle più diverse culture. Ma che cosa unifica concettualmente due prodotti così diversi come la rappresentazione di una reazione chimica e la simbolizzazione della giustizia? Ciò che li unifica è la nostra convinzione circa la necessità della loro esistenza; la prima in quanto interpretazione logica e coerente di dati naturali, l'altra in quanto componente necessaria alla esistenza di relazioni sociali.

Il primo grado dell'esperienza di realtà, di esistenza delle cose ci è dato dall'esperienza sensoriale e percettiva. L'espressione «io credo solo a ciò che vedo» e l'attendibilità di cui gode il «testimone ocu-

lare» ci dicono che siamo intrinsecamente disposti ad attribuire uno statuto di realtà a tutto quello che riusciamo a verificare con i nostri organi di senso in generale, e con la vista in particolare.

Il fatto che probabilmente tutte le culture abbiano prodotto personificazioni simboliche di idee astratte e di principi morali è derivato dalla necessità di dare un corpo, un aspetto fisico percepibile a tali idee in modo che, vestite di quelle parvenze, potessero entrare a far parte delle cose del mondo. Un corpo fisico è sempre un veicolo dell'esistente, anche se non è l'unico. È sintomatico a questo pro-

☛:☛:( 140 ):☛:☛

LXVIII.

Faber Ferrarius.



Der Schmied.

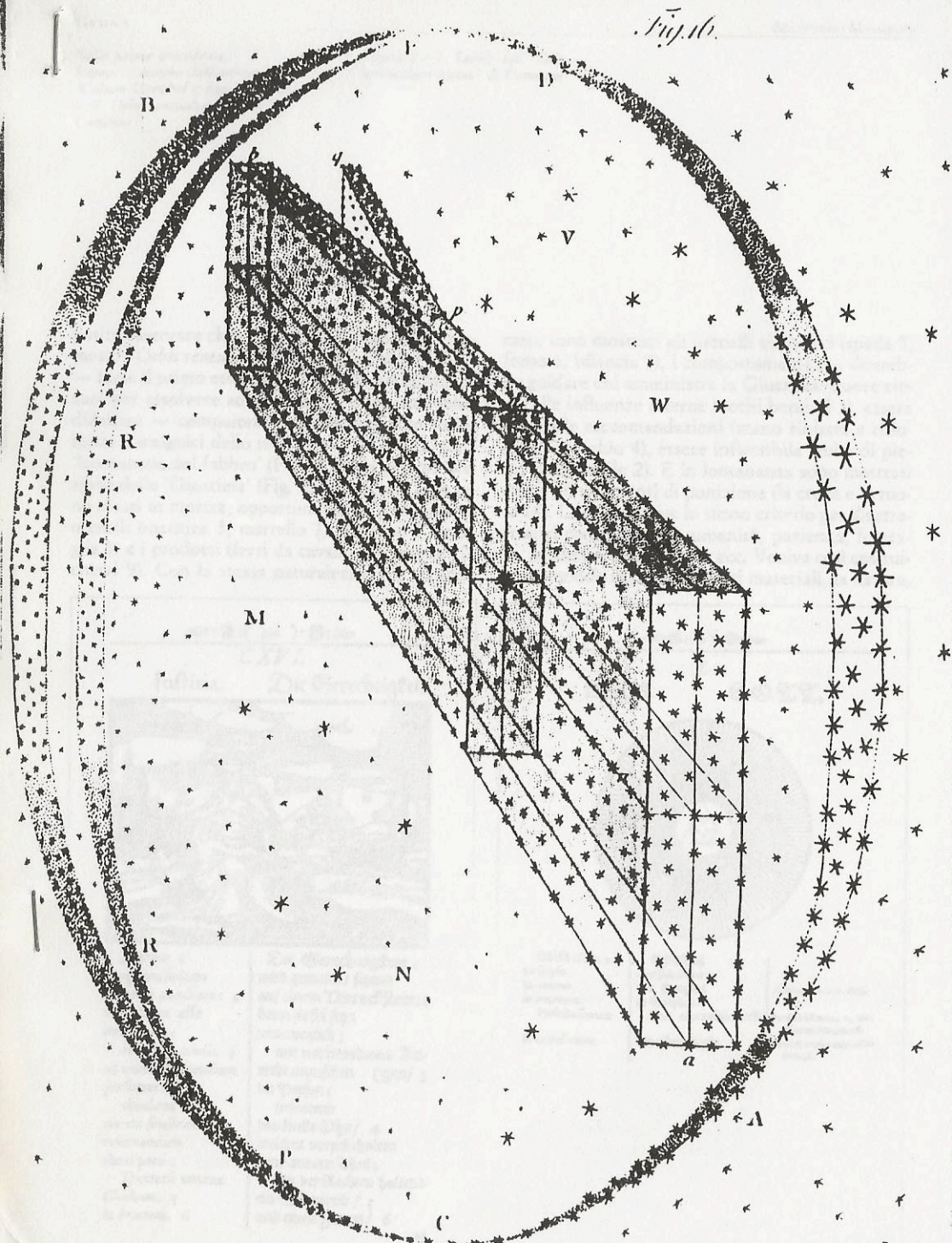
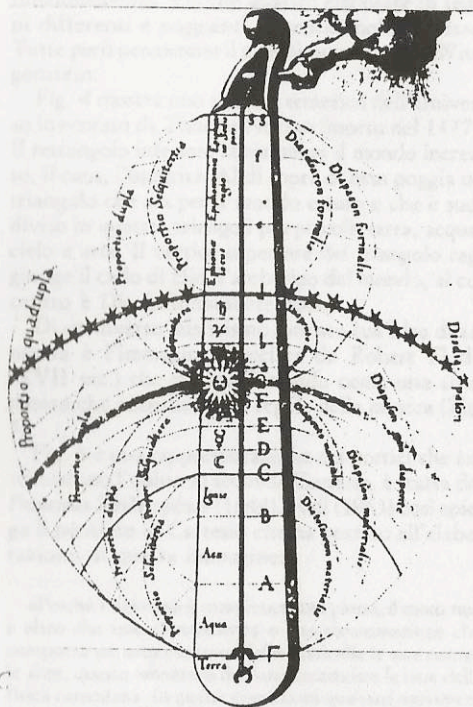




Figura 5. Immagine di Robert Fludd.

Figura 6. Immagine dai "Principia Philosophiae" di Cartesio.



ampio, è semplicemente trascurato. Un primo inquadramento del problema era stato tentato alcuni anni fa (Massironi 1982) in quell'occasione avevo proposto il neologismo «ipotetigrafia» per definire «la raffigurazione di un segmento di realtà indagato indirettamente». Il discorso che segue parte da quelle considerazioni e cercherà di svilupparle mediante esempi grafici, ma soprattutto seguendo il pensiero di alcuni studiosi che, da angolature diverse, hanno osservato e ragionato sulle raffigurazioni che qui ci interessano.

D

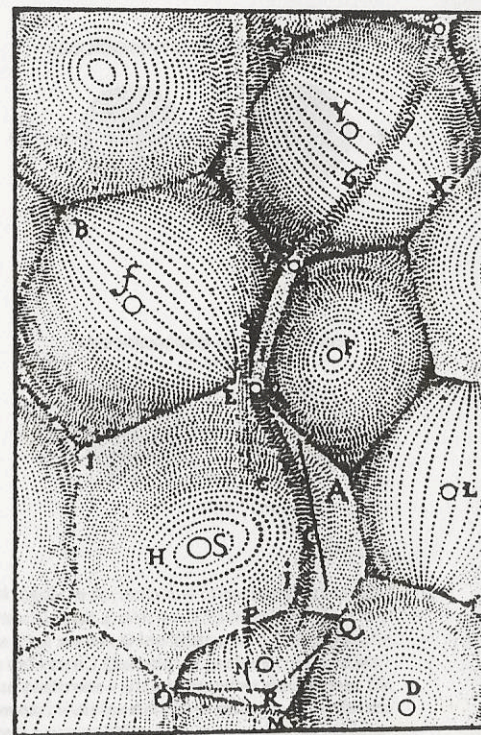
Nel *Tractatus logico philosophicus* (Wittgenstein 1921) c'è una sezione dedicata alla «raffigurazione» ovvero alla «immagine», le due parole vengono usate alternativamente a seconda dei traduttori. Anche se ciò di cui sembra parlare l'autore è una «rappresentazione mentale» della realtà, le sue considerazioni risultano adatte anche a spiegarci il costituirsi di icone che sono la trascrizione grafica di quelle rappresentazioni. Riporto di seguito alcune parti di questa sezione, che esplicitano, in maniera serrata, i passaggi logici inerenti al processo di costruzione delle immagini.

- 2.1 (Noi ci facciamo delle raffigurazioni dei fatti.
- 2.11 La raffigurazione pone nello spazio logico la situazione, l'esistere e non esistere dei fatti atomici.
- 2.12 La raffigurazione è un modello della realtà.
- 2.13 Agli oggetti corrispondono nella raffigurazione gli elementi di questa.
- 2.14 La raffigurazione consiste nel fatto che i suoi elementi sono uniti fra di loro in un modo determinato.
- 2.15 Il fatto che gli elementi della raffigurazione siano uniti fra di loro in un modo determinato fa vedere che le cose sono unite fra loro nello stesso modo. Questa connessione degli elementi della raffigurazione si dice la sua struttura e la possi-

bilità di questa si dice la sua forma di raffigurazione.

- 2.151 La forma della raffigurazione è la possibilità che le cose siano unite fra di loro nello stesso modo che gli elementi della raffigurazione.
- 2.1511 La raffigurazione è in tal modo legata con la realtà; la raggiunge.
- 2.16 Per poter essere raffigurazione, un fatto deve aver qualcosa di comune con ciò che è raffigurato.
- 2.17 Ciò che la raffigurazione deve avere in comune con la realtà, per poterla raffigurare — esattamente o falsamente — secondo la propria maniera è la forma di raffigurazione.
- 2.18 Ciò che ogni raffigurazione di qualsiasi forma, deve avere in comune con la realtà, per poterla raffigurare — esattamente o falsamente — è la forma logica, cioè la forma della realtà.
- 2.19 La raffigurazione logica può raffigurare il mondo.
- 2.2 La raffigurazione ha in comune con E raffigurato la forma logica di raffigurazione.
- 2.201 La raffigurazione raffigura la realtà rappresentando una possibilità dell'esistenza e non esistenza di fatti atomici.
- 2.202 La raffigurazione rappresenta una situazione possibile nello spazio logico.
- 2.22 La raffigurazione rappresenta quello che rappresenta per mezzo della forma di raffigurazione, indipendentemente dalla propria verità o falsità. Una raffigurazione vera a priori non esiste (Tr. it. pp. 171-175).

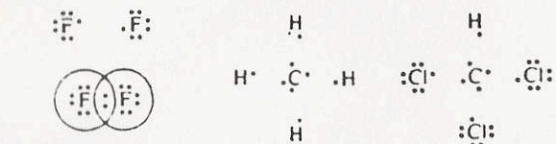
A questo punto si potrebbero, e sarebbe un utile esercizio, leggere alcune immagini seguendo il percorso indicato da Wittgenstein, per vedere come esse, pur diverse fra loro, vi si adattino e lo rassicurino. Non è possibile svolgere un tale esercizio in questa sede; pensò però, che il lettore possa farlo anche da solo. A tale scopo gli propongo quattro immagini sullo stesso tema: l'Universo. Si tratta di una realtà di cui riusciamo ad avere solo informazioni parziali e di cui riusciamo a scorgere solo parti infinitesime, ciò nonostante in ogni epoca ci si è fatti un'idea complessiva della sua forma e del suo



Molto è stato detto sulla produzione di simboli e di allegorie, molto poco, invece, si è parlato della produzione di immagini elaborate dagli scienziati e dai ricercatori al fine di spiegarsi e di spiegare sequenze di fatti di cui sono testimoni indiretti; indiretti in quanto le informazioni a cui hanno accesso sono solo degli indizi mediati da strumenti, esiti di ipotesi teoriche, risultati di processi avvenuti.

Un argomento di questo genere anche se poco studiato, non è per questo poco complesso o poco

Figura 8. Illustrazione da "The Open University. Pensare per modelli", 1979.



A) FLUORO MOLECOLARE F<sub>2</sub>

8

funzionamento. Eccone quattro elaborate in tempi differenti e poggianti su teorie molto diverse. Tutte però percorrono il cammino pensato da Wittgenstein.

Fig. 4 mostra uno schema ermetico dell'Universo inventato da Thòmas Norton (morto nel 1477). Il rettangolo inferiore rappresenta il mondo increato, il caos, l'oscurità. Al di sopra di esso poggia un triangolo che sta per il mondo creato e che è suddiviso in quattro triangoli più piccoli: terra, acqua, cielo e aria. Il vertice superiore del triangolo raggiunge il cielo di Dio, l'archetipo del mondo, al cui centro è Dio infinitamente buono.

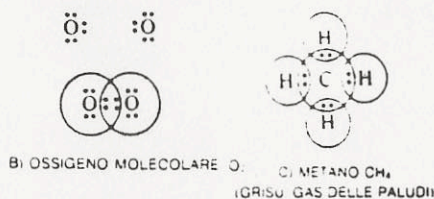
Di un diverso misticismo fondato sull'idea di armonia è l'immagine tracciata da Robert Fludd (XVII sec.) che mostra il mondo come uno strumento che obbedisce alle regole della musica (Fig. 5).

Fig. 6 è una rappresentazione dei vortici che costituiscono l'universo secondo Cartesio, è tratta da Principia Philosophiae (1644). Hall (1963) così spiega il pensiero di Cartesio che ha portato all'elaborazione di questa immagine:

«Poiché l'universo è completamente pieno, il moto non è altro che uno spostamento o una risistemazione che comporta un urto costante delle particelle le une contro le altre; questo fenomeno dell'urto costituisce la base della fisica cartesiana. In queste condizioni qualsiasi movimento tende a creare un turbine o un vortice. Il sistema solare è in effetti un tale vortice etereo con il sole al centro e i pianeti che, immersi nell'etere, gli turbinano intorno; ... L'intero universo è costituito da tali vortici — ciascuno dei quali contenente nel suo centro una stella — simili, nella loro struttura a bolle di sapone. Le comete sono corpi celesti che viaggiano senza fine alla periferia di tali vortici, passando da uno all'altro» (Tr. it. p. 103).

Fig. 6 le lettere D, S, F, L ecc. sono dei soli, mentre i numeri indicano la traiettoria di una cometa.

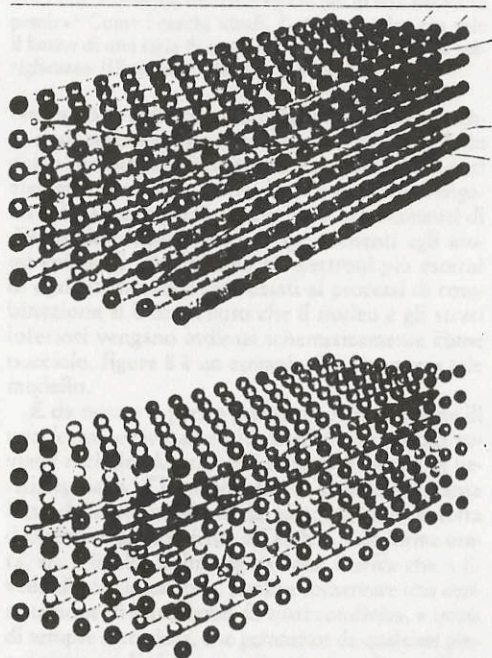
Figura 9. Immagine da "Le Scienze" numero 252, (gennaio 1989).



B) OSSIGENO MOLECOLARE O<sub>2</sub>

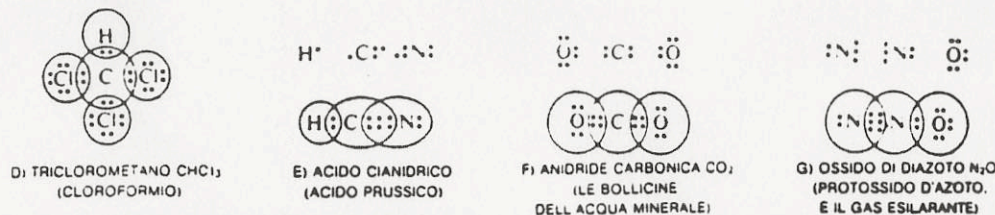
C) METANO CH<sub>4</sub>  
(GRISO, GAS DELLE PALUDI)

Nel 1784 l'astronomo inglese William Herschel pubblica un disegno che mostra la forma dell'Universo (Fig. 7). È il risultato di 20 anni di osservazione durante i quali Herschel ha contato e confrontato fra loro le stelle del cielo riuscendo a classificarne circa 30 milioni. La lettera 'S' indica la posizione della Terra nella Via Lattea. Dalla Terra le stelle appaiono proiettate in una cintura luminosa (A, C, B, D).



File e piani di atomi in un cristallo incanalano le particelle incidenti. Nell'incanalamento nodale (in alto) le particelle che incidono a un angolo vicino a un nodo del cristallo sono guidate da urti casuali con le file di atomi e quindi si muovono solo tra le file. Nell'incanalamento planare (in basso) le particelle interagiscono con strati di atomi; esse sono libere di muoversi in un piano, ma non di passare da un piano a un altro. L'illustrazione mostra l'incanalamento di particelle di carica positiva, che vengono respinte dai nuclei del cristallo. Le particelle di carica negativa vengono incanalate in prossimità dei nuclei.

Figura 10. Immagine da "Le Scienze" numero 257, (gennaio 1990).



D) TRICLOROMETANO CHCl<sub>3</sub>  
(CLOROFORMIO)

E) ACIDO CIANIDRICO  
(ACIDO PRUSSICO)

F) ANIDRIDE CARBONICA CO<sub>2</sub>  
(LE BOLLICINE DELL'ACQUA MINERALE)

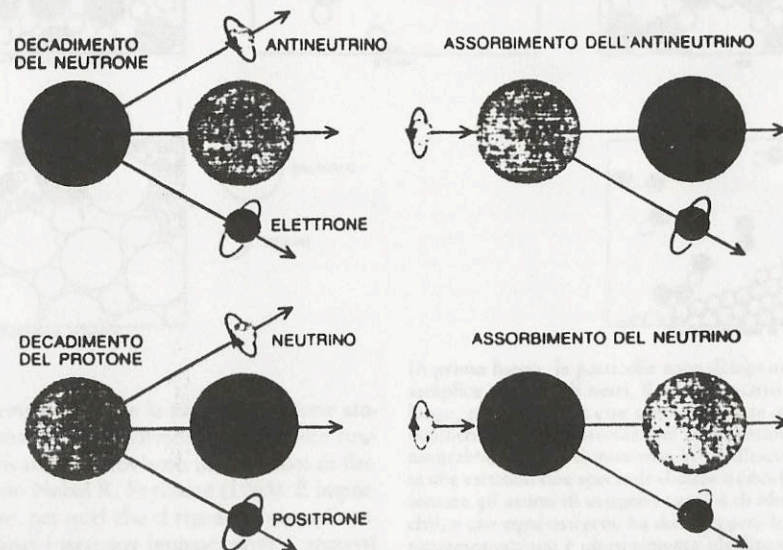
G) OSSIDO DI DIAZOTO N<sub>2</sub>O  
(PROTOSSIDO D'AZOTO, E IL GAS ESILARANTE)

È una storia piena di fascino e di suspense quella che ha portato all'accettazione della raffigurazione dell'atomo come un sistema in miniatura. Hanson (1958) la racconta in maniera articolata ed avvincente ed io non posso far altro che riassumere alcuni passaggi del suo discorso e riportarne integralmente altri.

Alcuni dei grandi fisici dell'inizio del secolo ammonivano che non bisognava raffigurarsi visivamente le particelle elementari. Fermi metteva in guardia dal pericolo di confusione che la ricerca di

un elettrone raffigurabile avrebbe potuto provocare. Il problema sottostante a questo rifiuto era tutt'altro che superficiale in quanto coinvolgeva il significato stesso di «spiegazione scientifica». Se infatti attribuiamo agli atomi di cui è costituita una materia le stesse proprietà ottiche e/o chimiche che quella materia presenta a livello macroscopico, non abbiamo prodotto nessuna spiegazione teorica circa le proprietà e le caratteristiche di quella materia.

«Si potrebbe spiegare perché una nube si muova attraverso un riferimento ai moti delle molecole che la co-



I neutrini sono emessi e assorbiti solo in certi modi, in accordo con i risultati sperimentali e con il modello standard. Quando un neutrone (in alto a sinistra) all'interno del nucleo si trasforma in un protone, emette un elettrone e un antineutrino destrorso. (Una particella destrorsa ruota in senso orario, se osservata dal retro.) Quando un protone (in basso a sinistra) si trasforma in un neutrone, emette un positrone e un antineutrino sinistrorso. Un protone (in alto a destra) può assorbire solo un antineutrino destrorso (mentre si trasforma in un neutrone). Un neutrone (in basso a destra) può assorbire solo un neutrino sinistrorso.

stituiscono (il cui moto di gruppo è il moto delle nubi). È anche possibile spiegare il colore rosso del sangue dicendo che il sangue è composto di globuli rossi. È vero. Ma non si può spiegare perché ogni cosa rossa è rossa dicendo che tutte le cose rosse contengono globuli rossi; né si potrebbe spiegare perché ogni cosa in moto si muove dicendo che ogni cosa che si muove contiene molecole che si muovono. In generale, benché ogni membro di una classe di eventi possa essere spiegato da altri membri, la totalità della classe non può essere spiegata da qualche membro della classe. La totalità del movimento non può essere spiegata da qualche cosa che si muove. La totalità delle cose rosse non può essere spiegata da qualcosa che è rosso. Tutte le proprietà raffigurabili degli oggetti non possono essere spiegate con riferimento a qualcosa che possiede in sé quelle proprietà. (Hanson 1958, tr. it. pp. 143-144).

Si capisce allora perché «l'impossibilità di visualizzare la materia ultima è un carattere essenziale della spiegazione atomica». Su questo problema di natura epistemologica se ne innesta, però un altro di natura comunicativa: come possono essere trattati, pensati, descritti e come sarà possibile intendersi parlando di oggetti non visualizzabili? Come potremo interagire cognitivamente con loro? Il fatto fondamentale è che attribuire una forma, seppur approssimativa, a degli oggetti teoricamente astratti è un modo per renderli maggiormente manipolabili dalla mente. Tale maggiore manipolazione consentirà ulteriori approfondimenti, considerazioni, e quindi uno sviluppo della conoscenza. Le cose sono andate in questo modo anche per l'atomo:

«Man mano che la teoria (atomica) acquistò favore in chimica e in fisica, però, gli scienziati vennero a considerare gli atomi come cose familiari. Quando si espressero in modo rigoroso, rinunciarono all'atomo rappresentabile visivamente: ma perché esprimersi in modo tanto rigoroso? Il geometra non si rifiutò mai l'uso di linee disegnate: le linee dovrebbero essere unidimensionali, ma con linee unidimensionali non si possono eseguire dimostrazioni e costruzioni. Analogamente i fisici poterono

meditare sugli atomi solo visualizzandoli. E perché no? Questo espediente fu utile nel conseguire spiegazioni. Così i diagrammi quasi invisibili della geometria si insinuano nel pensiero fisico sugli atomi. Rutherford stava pensando lungo queste linee nel 1911 quando accettò l'idea di Nagoaka «di un atomo 'saturniano'... consistente in una massa attrattiva centrale circondata da anelli di elettroni orbitanti». Gli atomi avrebbero dovuto essere tanto poco rappresentabili quanto gli oggetti della geometria, ma nessun fisico decise di condannare il suo pensiero alla paralisi. In effetti gli atomi divennero modelli di comportamento geometrico e dinamico; e ciò offrì la possibilità di darne delle rappresentazioni visive. Perché i colori e le linee dovrebbero essere più di una necessità pratica? Come i cerchi ideali, l'atomo classico era solo il limite di una serie di rappresentazioni di crescente sottigliezza» (Hanson 1958, pp. 145-146).

Nell'ambito della chimica è risultato operativamente e concettualmente utile elaborare un modello in cui le combinazioni chimiche fra gli atomi dei vari elementi che fanno parte di un composto, vengono spiegati con perdite, acquisti o cambiamenti di disposizioni degli elettroni appartenenti agli atomi coinvolti. Poiché solo gli elettroni più esterni di ogni atomo sono interessati ai processi di combinazione si è convenuto che il nucleo e gli strati inferiori vengano indicati schematicamente come nocciolo, figura 8 è un esempio di come opera tale modello.

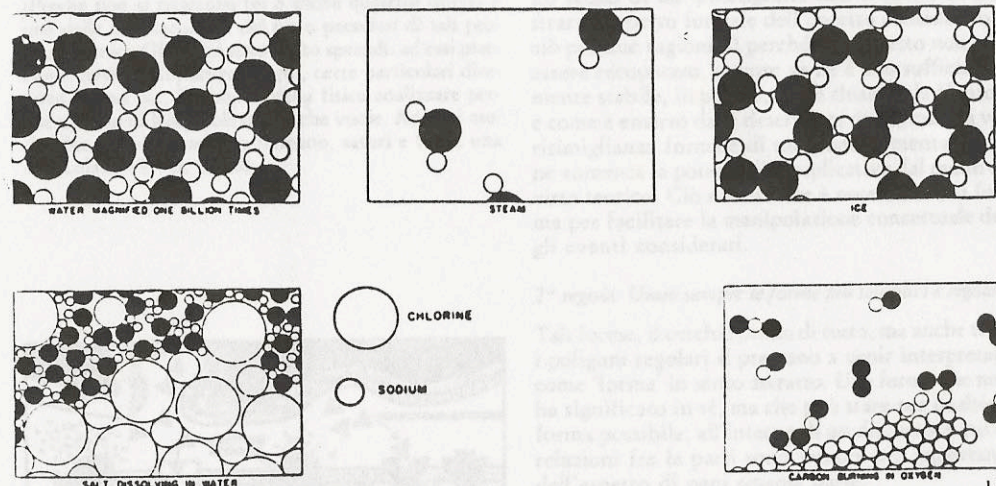
È da notare a questo punto che l'attribuzione di una forma visiva ad entità fisiche non visibili avviene escludendo qualsiasi criterio o ipotesi di verisimiglianza. Ciò si ottiene, in genere, mediante l'uso della più impersonale, simmetrica e perfetta delle forme geometriche: il Cerchio. Tale forma usata, sia a livello di immaginazione teorica che a livello di comunicazione, sembra conservare una connotazione di astrattezza da tutti condivisa, e quindi sempre sottaciuta, che garantisce da qualsiasi presunzione realistica e perciò salvaguarda, anche a livello illustrativo, la possibilità di qualsiasi astrazione teorica.

Fig. 12. Immagine da una lezione del premio Nobel R. Feynman.

zione teorica. Non è un caso che essa venga usata sia quando si parla di materia inorganica, come un metallo vedi fig. 9, nello studio per la determinazione della massa del neutrino (Fig. 10), o quando si cerca di spiegare il funzionamento del sistema immunitario di una cellula vivente (Fig. 11).

sizione coinvolgente e chiara, verso la conclusione del nostro discorso: l'elenco di alcune delle regole principali che sono alla base delle «ipotigrafie».

Fig. 12a «è una rappresentazione dell'acqua ingrandita un miliardo di volte, ma idealizzata in parecchi modi.



Un bell'esempio di come la rappresentazione atomica della materia possa diventare un efficace strumento esplicativo lo troviamo nelle lezioni di fisica del premio Nobel R. Feynman (1963). È importante notare, per quel che ci riguarda, come Feynman sottolinei i passaggi immaginativi, i processi di semplificazione e schematizzazione che, mettendo fra parentesi alcuni aspetti del dato reale, aumentano la potenzialità illustrativa delle raffigurazioni utilizzate. Riportiamo per intero alcuni passi di Feynman perché ci guidano, mediante un'espo-

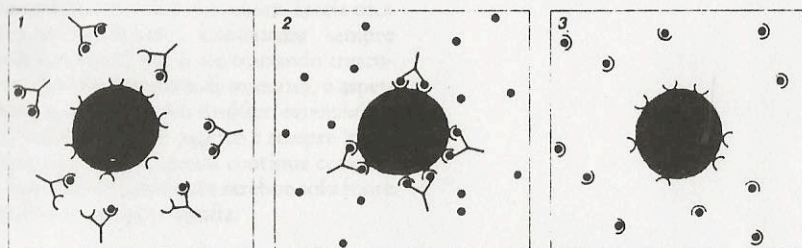
In primo luogo, le particelle sono disegnate in maniera semplice, con bordi netti, il che è inesatto. In secondo luogo, per semplicità esse sono abbozzate quasi schematicamente in una sistemazione bidimensionale, mentre naturalmente esse si muovono in tre dimensioni. Note che esistono due specie di «bolle» o cerchi per rappresentare gli atomi di ossigeno (neri) e di idrogeno (bianchi), e che ogni ossigeno ha due idrogeni legati a sé. La rappresentazione è ulteriormente idealizzata in quanto le vere particelle in natura si agitano e rimbalzano continuamente girandosi e torcendosi l'una intorno all'altra... Un'altra cosa che non può essere illustrata in un disegno è il fatto che le particelle sono «appiccicate insieme» che esse si attraggono l'un l'altra, e questa è tirata da quella ecc.» (Tr. it. pp. 3-4).

Figura 11. Immagine da "Le Scienze" numero 261 (maggio 1990)

Nella fig. 12b «abbiamo una rappresentazione del vapore. Questa rappresentazione del vapore è sbagliata per un certo verso: a pressione atmosferica normale in un'intera stanza possono esservi solo poche molecole e certo non ve ne sarebbero tre in questa figura. La maggior parte dei riquadri di queste dimensioni non ne conterebbe nessuna...» (Tr. it. p. 4).

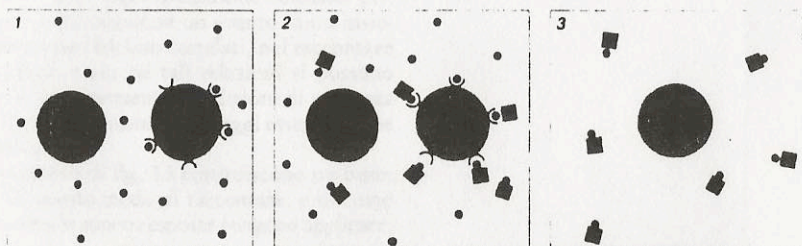
«Ciò che accadrà a temperatura molto bassa è indicato nella fig. 12c: le molecole si bloccheranno in una nuova struttura che è quella del ghiaccio. Questo particolare diagramma schematico del ghiaccio è sbagliato perché è soltanto bidimensionale, ma dal punto di vista qualitativo è giusto. Il fatto interessante è che il materiale ha un posto definito per ogni atomo». (Tr. it. p. 6).

«Nella fig. 12d vediamo, da un punto di vista atomico, un solido che si dissolve nell'acqua... vediamo un ione di cloro che si libera e altri atomi fluttuanti nell'acqua sotto forma di ioni. Questa rappresentazione è stata fatta con una certa cura. Notate, per esempio, che gli estremi di idrogeno delle molecole d'acqua si trovano più facilmente vicino allo ione di cloro, mentre allo ione di sodio è più probabile trovare l'estremo di ossigeno, perché il sodio è positivo e l'estremo di ossigeno dell'acqua è negativo ed essi si attraggono elettricamente. Da questa figura, possiamo dire se il sale si sciolge nell'acqua o stia cristallizzando dall'acqua? Naturalmente non possiamo dirlo perché, mentre alcuni atomi stanno lasciando il cristallo altri lo raggiungono» (Tr. it. p. 9).



RECEPTORI DELLA IL 2  
 • IL 2  
 • ANTICORPI CONTRO LA IL 2  
 • ANTICORPI CONTRO IL RECEPTORE DELLA IL 2

La soppressione selettiva della risposta immunitaria è auspicabile in pazienti sottoposti a trapianto d'organo o affetti da malattie autoimmunitarie. Si potrebbe interferire con il legame tra l'IL 2 e i suoi recettori sui linfociti T iniettando nell'organismo anticorpi contro l'IL 2 (1). Anticorpi contro il recettore della IL 2 dovrebbero avere lo stesso effetto perché le molecole di IL 2 non riuscirebbero a trovare recettori vacanti (2). Un'alternativa è l'iniezione di recettori solubili per l'IL 2, i quali competerebbero con i recettori cellulari (3).



IL 2  
 • ANTIGENO  
 • ANTICORPI CON UNA TOSSINA

Per sopprimere selettivamente il sistema immunitario si può anche eliminare un clone specifico di linfociti T, somministrando all'organismo IL 2 coniugata con una tossina batterica. Solo i linfociti T attivati da un antigene producono l'IL 2 e i suoi recettori (1). Pertanto, il prodotto di coniugazione tra l'IL 2 e la tossina si legherebbe solo con i linfociti T attivi, uccidendoli (2). I linfociti T inattivi non sarebbero minacciati dalle molecole coniugate (3).

Figura 13. Immagine da "Le Scienze" numero 258 (febbraio 1990).

«In tutti i processi fin qui descritti, gli atomi e gli ioni non hanno cambiato compagno, ma naturalmente vi sono circostanze in cui gli atomi variano le combinazioni, formando nuove molecole. Ciò è illustrato nella figura 12e. Un processo in cui avviene la risistemazione dei compagni atomici è ciò che chiamiamo reazione chimica. ... questa figura si suppone rappresenti del carbonio che brucia nell'ossigeno. Nel caso dell'ossigeno due atomi di ossigeno si attaccano l'uno all'altro molto strettamente. (Perché non si attaccano tre o anche quattro? questa è una delle caratteristiche del tutto peculiari di tali processi atomici. Gli atomi sono molto speciali: ad essi piacciono certi particolari compagni, certe particolari direzioni, e così via. È compito della fisica analizzare perché ognuno di loro vuole quello che vuole. Ad ogni modo, due atomi di ossigeno formano, saturi e felici, una molecola.)» (Tr. it. p. 10).

G

Possiamo tirare le somme di quanto detto fin'ora elencando alcune «regole» che sovrintendono la costruzione di quelle immagini che mostrano segmenti di realtà non visti e non visibili direttamente.

1<sup>a</sup> regola: prescindere dalla verisimiglianza

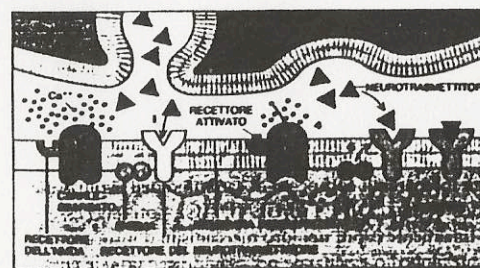
Lo scopo di un'ipotetigrafia non è quello di mostrare l'aspetto formale dell'oggetto considerato e ciò per due ragioni, i) perché tale aspetto non può essere recuperato, se pure ve ne è uno sufficientemente stabile, ii) perché, come chiarito da Hanson e come è emerso dalle descrizioni di Feynman, la verisimiglianza formale di un modello mentale non ne aumenta la potenzialità esplicativa dal punto di vista teorico. Ciò nonostante è necessaria una forma per facilitare la manipolazione concettuale degli eventi considerati.

2<sup>a</sup> regola: Usare sempre le forme più semplici e regolari

Tali forme, il cerchio prima di tutto, ma anche tutti i poligoni regolari si prestano a venir interpretate come 'forma' in senso astratto. Una forma che non ha significato in sé, ma che può stare per qualsiasi forma possibile, all'interno di un discorso in cui le relazioni fra le parti sono sempre più importanti dell'aspetto di ogni singola parte.

3<sup>a</sup> regola: assolutizzare e normalizzare

Nelle ipotetigrafie i casi particolari non si danno, ciò che viene mostrato è un caso emblematico che sta per tutti i casi possibili dello stesso tipo. Viene messa tra parentesi ogni possibile contingenza. Nonostante in natura le condizioni ideali siano molto rare, quello dell'ipotetigrafia è un mondo in cui i fenomeni si danno solo nelle loro condizioni ideali. Questa regola si attua attraverso tre precisi accorgimenti grafici:



Il meccanismo con il quale i recettori dell'NMDA potrebbero dare nell'ippocampo un potenziamento a lungo termine, cioè un cambiamento persistente nell'efficienza delle connessioni sinaptiche, è stato in parte chiarito. Quando la stimolazione proveniente da una cellula presinaptica viene ben configurata e finita nel tempo (1), depolarizza la membrana cellulare (2) quel tanto che basta per attivare i recettori dell'NMDA, facendo in modo che aprano i loro canali permeabili agli ioni calcio (3). Quando questi ioni fluiscono all'interno della cellula (4), attivano vari enzimi (5), tra cui quelli, presumibilmente, che contribuiscono a riorganizzare le proteine di membrana in un modo che migliora l'efficienza della sinapsi (6). Nel cervello in via di sviluppo, l'attivazione sistematica di un neurone da parte di un altro può rafforzare le sinapsi con meccanismo analogo a quello qui descritto.

i) Usare la bidimensionalità. Si tenterà sempre di presentare, anche i fenomeni spaziali più complessi, su di un piano bidimensionale, a meno che esigenze esplicative particolari non richiedano di far ricorso ad altre dimensioni.

ii) Geometrizzare. Utilizzare sempre, quando possibile le forme (figure geometriche semplici), le relazioni (segmenti rettilinei, angoli ortogonali, segno preciso) che la geometria si è data per i suoi scopi. Non a caso il vettore, forse la più emblematica figura che mostra un aspetto non visibile del mondo, ha avuto una grandissima fortuna, sia per le sue potenzialità euristiche, che per la facilità con cui può essere mentalmente manipolato. Non vi è infatti disciplina scientifica che non ne faccia uso.

iii) Decontestualizzare. Enfaticizzare sempre l'oggetto o l'evento di cui si sta trattando trascurando tutte quelle componenti di contorno, o aspetti compresenti che, però non risultino essenziali al discorso. Nella realtà ogni oggetto è sempre in relazione con altri oggetti, questa continua presenza di cose che si dà in natura sarebbe solo fonte di confusione in un'ipotetigrafia.

#### 4<sup>a</sup> regola: trasformare un evento in un racconto

Lo scopo di un'ipotetigrafia è sempre quello di spiegare un fenomeno. Ogni spiegazione consiste nel mostrare che esistono delle relazioni causali fra oggetti o eventi che altrimenti apparirebbero indipendenti ed estranei. Ogni spiegazione consiste, prima di tutto nello smontare un evento in un insieme di sottoeventi fra loro correlati, nel raccontare come, quando e perché tali relazioni si possono instaurare e, nel mostrare le condizioni di partenza e quelle di arrivo insieme ai passaggi essenziali che le connettono.

I sei momenti di fig. 13 costituiscono un buon esempio di questo modo di raccontare, e di come le quattro regole appena esposte vengono applicate.

FEYNMAN R.P., LEIGHTON R.B., SANDS M. (1963). *The Feynman lectures on Physics*. Addison-Wesley Publ. Company. (Tr. it. *La fisica di Feynman*. Milano: 1988).

GOMBRICH E.H. (1972). *Icones Symbolicae*. In E.H. GOMBRICH *Symbolic Images. Studies in the art of the Renaissance*. London: Phaidon Press. (Tr. it. *Immagini simboliche*. Torino: Einaudi 1978).

HALL A.R. (1963). *From Galileo to Newton 1630-1720*. London: Collins. (Tr. it. *Da Galileo a Newton 1630-1720*. Milano: Feltrinelli 1980).

HANSON N.R. (1958). *Patterns of Discovery*. Cambridge: Cambridge University Press. (Tr. it., *I modelli della scoperta scientifica*. Milano: Feltrinelli 1978).

MASSIRONI M. (1972). *Vedere con il disegno*. Padova: F.co Muzio Ed..

WITTGENSTEIN L. (1921). *Tractatus logico-philosophicus*. (Tr. it. Milano: Bocca 1954).