

Capitolo quinto

Iconografia dei testi scientifici. Principi d'analisi¹

1. Introduzione

Esamineremo la funzione semiotica delle immagini all'interno della comunicazione scientifica utilizzando come esempio una discussione recentemente pubblicata su «Nature»² a proposito di un'accusa di frode, avanzata circa tredici anni dopo la pubblicazione originale del testo accusato. L'articolo incriminato descrive la cristallizzazione di un acido ribonucleico (RNA) di trasferimento (t-RNA)³ della valina, un estratto del lievito. L'articolo presenta anche l'immagine dello spettro di diffrazione dei raggi X riprodotto in figura 1. In base a questa fotografia gli accusatori identificano il cristallo come anidride carbonica umana. Poiché questo cristallo era già stato ottenuto e studiato all'epoca della pubblicazione, la "scoperta" risulterebbe pura invenzione. L'inganno sarebbe fondato su "una rappresentazione deliberatamente ingannevole", facendo passare la fotografia di una molecola conosciuta per quella di una molecola cristallizzata per la prima volta.

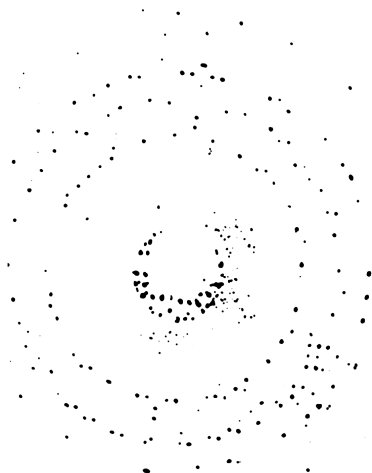
Studiare un caso in cui si sospetta una frode offre il vantaggio che il commento accusatore e la difesa dei sospettati mettono chiaramente in evidenza ciò che normalmente ci si attende da un'illustrazione, elencando punto per punto le condizioni non soddisfatte. Invece il testo di partenza⁴, che somiglia a un qualsiasi

altro testo scientifico, si accontenta di dire: “la figura x illustra...”, e l’analisi del testo non può che accettare questa evidenza. L’articolo di Paradies e Sjöquist si propone in effetti di visualizzare la struttura tridimensionale di una molecola grazie ai metodi di diffrazione dei raggi X, che permettono una valutazione della posizione nello spazio degli atomi componenti. L’obiettivo non è completamente riuscito, poiché il cristallo ottenuto si dissolve durante l’irradiazione dei raggi X. Tuttavia i risultati preliminari ottenuti confermano che la molecola possiede una struttura ordinata, rigida, che renderà possibili i calcoli quando le condizioni di cristallizzazione saranno completamente perfezionate. Se fosse stato citato prima della controversia che ha attirato la mia attenzione, questo articolo si sarebbe ridotto probabilmente a questo messaggio. Un simile dispositivo è chiamato “dispositivo di traduzione” da Callon e altri (Callon 1981, pp. 53-59). Si può considerare per comodità che l’articolo contenga due distinti strati di testo: la descrizione del dispositivo sperimentale che permette di ottenere i risultati, e il quadro generale della problematica della struttura degli RNA di trasferimento.

Finché non c’è una contestazione, l’articolo forma un tutto unico, che chiamerò dispositivo di visualizzazione, insistendo su una caratteristica molto generale: si tratta, con un esperimento diretto, di far vedere ciò che è invisibile. L’intero articolo è un dispositivo di visualizzazione per il pubblico (la comunità scientifica pertinente), mentre le condizioni sperimentali riguardano un dispositivo di visualizzazione più ristretto a uso del ricercatore. È quest’ultimo che fornisce i materiali per le illustrazioni della pubblicazione, ed è di ciò essenzialmente che parleremo. Uno sguardo alla figura 1 mostra però che vi è una grande distanza tra le macchie disposte in corone concentriche sulla foto e

quello che si potrebbe chiamare l'“oggetto”, la molecola di t-RNA che rivedremo artisticamente disegnata alla fine di questo studio (fig. 20).

figura 1



Nella figura 1 appare infatti la traccia della presenza della molecola, catturata da un dispositivo che, fatte le debite proporzioni, è identico agli stampi di argilla che hanno conservato l'impronta dei passi dei dinosauri mentre si dedicavano alle loro attività. Nel caso dei dinosauri, defunti da lungo tempo, è lo scarto tra il tempo in cui vivevano e il nostro che ce li rende “invisibili”. Nel caso dei t-RNA è invece la loro piccola taglia che ne impedisce la vista, insieme alla difficoltà di conservare l'organizzazione spaziale delle molecole, anche se evidenziate al microscopio elettronico. Il cristallo, se esisteva, misurava “0,2 x 0,15 x 0,2 mm” ed era visibile a occhio nudo, ma la disposizione dei suoi atomi restava invisibile. Ma poiché un cristallo rappre-

senta un incolonnamento ordinato di numerosissime molecole, esso si comporta per certi aspetti come un'unica molecola "ingrandita". Non è però la molecola che diventa osservabile, ma le sue tracce, come nel caso dei dinosauri: le deviazioni, fissate dalla fotografia, che il cristallo fa subire alle traiettorie parallele e rettilinee dei fotoni X che lo attraversano. Per di più il fascio è animato da un movimento rotatorio, ma questa precisazione supplementare non aggiunge nulla al mio intento. Il dispositivo non rende visibile l'oggetto, ma il risultato del suo fare, che ho chiamato "traccia" seguendo l'uso di Bruno Latour (1985). Il cristallo ordina la luce che lo attraversa in una nuova disposizione spaziale registrata dalla fotografia.

Il risultato presuppone il fare, e il fare presuppone la competenza, che in questo caso è quella di poter stutturare la luce "a immagine" della sua propria struttura. Quando la catena dei presupposti non è chiamata in causa, la struttura dei punti nell'immagine rende visibile la struttura ordinata dell'RNA di trasferimento della valina.

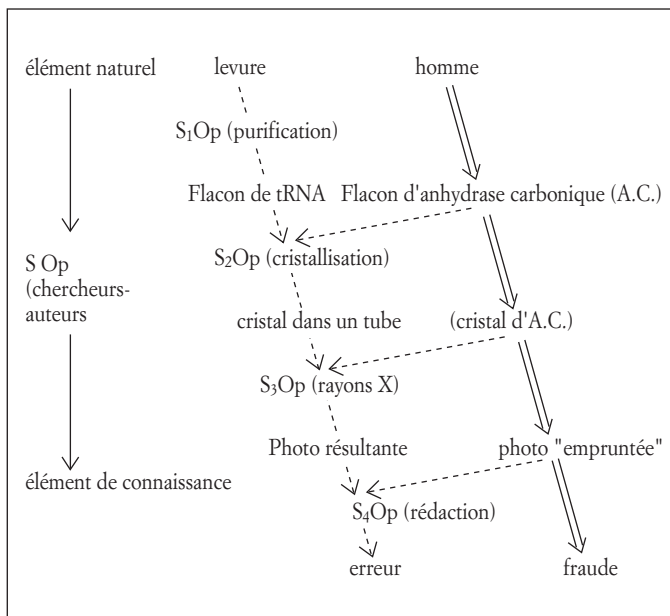
Lo schema del dispositivo di visualizzazione si scrive nel modo seguente:

$$E \rightarrow O \rightarrow S \rightarrow Op \rightarrow P \rightarrow R$$

O (oggetto) è la struttura invisibile trasformata dal soggetto operatore (S op) in struttura visibile P (prodotto). L'Emittente (E) può essere considerato la "natura", oppure il lievito, e il ricevente (R) è il ricercatore, e per suo tramite la comunità scientifica.

Mettere in discussione l'identità del cristallo fotografato distrugge l'unicità del dispositivo, che si scinde nelle sue tre componenti sperimentali: purificazione, cristallizzazione, studio ai raggi X. Anche la scrittura dell'articolo avviene in un tempo differente da quello della sperimentazione. Per rendere conto degli elementi

della controversia, inoltre, lo schema elementare di ogni dispositivo così individuato va completato da biforcazioni che segnano i punti in cui può introdursi un errore dovuto a una sostituzione. Nella tabella presento il fenomeno in forma riassuntiva: ho adottato una rappresentazione verticale e ho semplificato la scrittura degli schemi elementari allineando su una stessa riga l'oggetto e il suo emittente, o il suo ricevente, per evidenziare le biforcazioni. A sinistra, ho riscritto, per confronto, lo schema generale a cui avrebbe dovuto conformarsi l'articolo di Paradies.



Il metodo di purificazione non è contestato dagli oppositori, che si sforzano anzi, per evitare di coinvolgerlo nella frode, di discolorare il co-autore della pubblicazio-

ne, il cui ruolo nel lavoro era la purificazione e che non conosceva la parte cristallografica.

Le condizioni di cristallizzazione, invece, sono oggetto, insieme a un racconto, di un commento nell'editoriale di P. Newmarck. Visitando un laboratorio in cui non si riusciva a ripetere il suo protocollo di cristallizzazione,

Paradies è arrivato senza i suoi cristalli, dicendo che erano stati persi in un incidente sul traghetto dalla Germania alla Svezia e, secondo Clark, non è riuscito a produrre altri durante il mese di soggiorno a Cambridge. Poco dopo, Clark è riuscito a ottenere alcuni cristalli modificando il protocollo di Paradies, e ha pubblicato il risultato su «Nature» [...] firmandolo insieme a Paradies, in modo molto generoso, va detto, dato il ruolo di stimolo che aveva avuto nella ricerca di quel protocollo che aveva poi funzionato.

È evidente che questo racconto punta a instillare il dubbio sull'esistenza della tappa 2, sopprimendone il prodotto, e per implicazione anche la competenza del soggetto operatore corrispondente, fatto questo che interrompe la concatenazione.

Molto generosamente (poiché un errore è meno grave di un inganno) gli accusatori prendono in considerazione l'idea che nel momento della cristallizzazione del suo campione, Paradies abbia potuto sbagliarsi di flacone "per sbadataggine". Poiché aveva certamente a sua disposizione dell'anidrasi carbonica, questa ipotesi ha l'effetto di interrompere la concatenazione in un altro modo, introducendo una biforcazione all'inizio della seconda fase. L'identità del prodotto diventa incerta, "però un simile errore non può essersi creato, in quanto le condizioni riportate per la cristallizzazione del t-RNA sono assai differenti da quelle dell'anidrasi carbonica umana".

Non ipotizzano invece che Paradies abbia potuto confondere due cristalli al momento della misurazione, con una biforcazione che si sarebbe prodotta allora all'inizio della tappa 3. Come nel caso precedente, le differenti condizioni dell'ambiente di cristallizzazione rendono improbabile la cosa. Ho comunque inserito anche questa alternativa nella mia tabella.

Gli accusatori iniziano suggerendo la possibilità che la fotografia pubblicata abbia potuto sostituirsi per errore a quella "buona" nel corso della tappa 4, quella della scrittura dell'articolo. Pensano però che l'autore se ne sarebbe accorto, almeno nella lettura delle bozze, e che, se la sostituzione non fosse stata intenzionale, avrebbe fatto una modifica! Inducono così a pensare che anche la tappa 3 sia inesistente, proprio in quanto non hanno nemmeno valutato la possibilità di un errore a questo livello. Segnalano d'altronde che dopo avere identificato la molecola hanno verificato che la fotografia pubblicata non fosse presente nei loro archivi!

In realtà è sorprendente che la confutazione si soffermi a tergiversare sulla figura anziché annunciare, semplicemente, che i valori dei due parametri (su tre) calcolati da Paradies non sono conformi ai valori trovati in seguito. Si può supporre che questi valori siano stati confermati: Paradies li ripete nella sua risposta. La lezione che si può trarre da questa storia è che la condizione perché una frode riesca (cioè non sia immediatamente sospettata e denunciata) è che la parte inventata resti nei limiti di una certa logica propria al sistema: occorre altrettanto "fiuto" quanto per una scoperta che viene poi confermata e, insomma, l'ideale è frodare "giusto". Ma il nostro scopo non è discutere dell'arte della frode. Ci interessa invece il rilievo accordato al documento fotografico. A distanza di tredici anni, questa immagine gioca un ruolo molto differente: nel primo articolo di Paradies e Sjöquist essa è

presente come un'acquisizione preliminare che evidenzia comunque un certo grado di ordine nel cristallo. Il modello è tuttavia inadatto al calcolo dell'insieme dei parametri che definiscono la struttura della molecola nello spazio, poiché la didascalia specifica che è stato ottenuto da una prospettiva un po' acrobatica, effettuata in condizioni non standard. Paradies segnala, in verità, che il cristallo ottenuto è molto effimero e si decompone durante l'esposizione ai raggi X (un'immagine successiva mostra il cristallo assente!). L'immagine quindi è là solamente per significare al lettore potenziale che l'autore è sulla buona strada per trovare un ambiente adeguato di cristallizzazione. Per gli oppositori successivi, invece, la fotografia è stata sviata dal suo senso iniziale, e infatti effettuano su di essa i calcoli che l'autore dichiarava impossibili, per poter identificare il cristallo che l'ha prodotta. È proprio calcolando i parametri a partire da un esperimento standard, senza tenere in nessun conto le indicazioni di angoli e di distanze fornite dalla didascalia dell'immagine, che la molecola è stata riconosciuta. Quel che ha portato i contestatori a dubitare di queste indicazioni sono alcune qualità di simmetria dell'immagine, che non avrebbero dovuto prodursi nelle condizioni di prospettiva indicate. Paradies, al contrario, nella sua risposta, continua a sostenere che i calcoli eseguiti da chi lo contesta sono privi di fondamento.

Vi è dunque un doppio movimento dalla figura al testo e dal testo alla figura. Mostrando il cristallo di cui nel testo è spiegata la produzione, la figura convalida il protocollo sperimentale. Il testo, spiegando il modo di lettura della figura, gli assegna un significato. Sono proprio queste due relazioni quelle che i contestatori s'impegnano a distruggere, minando la fiducia nella fase intermedia del dispositivo sperimentale, che costituiva l'unica innovazione dell'articolo. È un altro

crystallo, e solamente “per caso” le condizioni di cristallizzazione descritte sono adatte alla classe dei t-RNA. Per contrasto con questo sfortunato caso, dobbiamo concludere che nel duplice movimento dalle illustrazioni al testo e dal testo alle illustrazioni, la fotografia svolge un ruolo di garanzia e assicura la concatenazione delle diverse tappe del dispositivo di visualizzazione, in modo che possa apparire lineare e omogeneo. Essa ha però anche un ruolo di ricordo, per la disgrazia di coloro che sono sospetti di frode o di errore.

2. La lettura dell'immagine

2.1. La comparazione

Si potrebbe concludere da questa storia che il documento fotografico parla “da sé” (e molto tempo dopo bisogna ammetterlo) poiché il sospetto di frode si è basato sulla fotografia. Cosa si può dire, però, della figura 2? È il letto di un fiume, o la prospettiva di un muro decorato con ciottoli? Senza la didascalia, che indica anche la scala (due micrometri per la lunghezza della barra bianca posta in basso a destra), chi potrebbe immaginare che si tratta di microscopici grani di fosfato di calcio situati all'interno dei muscoli di un anellide marino⁵? La figura successiva mostra un altro aspetto della decontestualizzazione delle immagini: che cosa si può vedere nella figura 3? Semplicemente il fatto che l'oggetto esiste? Bisogna invece osservare la simmetria o la sua assenza di perfezione? Bisogna fare attenzione ai piccoli punti bianchi che costellano la superficie? Una freccia, discreta fin quasi all'invisibilità, segnala l'esistenza di una biforcazione, in uno dei raggi della ruota superiore. Si tratta, in effetti, di descrivere come si accresce questa struttura⁶.

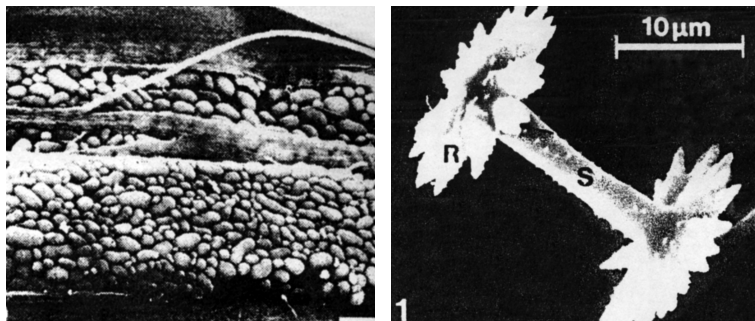


figura 2 e 3

Queste due illustrazioni presentano un aspetto comune per l'analista di immagini: entrambe mostrano "qualcosa" in contrasto con lo sfondo. Tuttavia, nel caso dei "ciottoli", lo "sfondo" (il muscolo) si percepisce appena grazie ad alcune linee orizzontali. Occupa una minima parte della superficie della fotografia e non ha maggiore interesse degli interstizi tra i granelli. Per evidenziare la biforcazione di uno dei raggi della spicola di spugna in figura 3, vengono messi in atto successivamente due sistemi di opposizione. Dapprima, come nel caso precedente, ma in modo più netto, l'opposizione dell'oggetto "spicola" su uno sfondo indifferenziato. Poi l'opposizione tra due oggetti: il raggio biforcuto "contro" tutti gli altri raggi privi di biforcazione. Nell'articolo però solo la seconda opposizione è pertinente. Senza didascalia, non si sa che cosa guardare. Di questa fotografia si può dire che contiene troppe informazioni (la forma della spicola che spicca sullo sfondo, i punti bianchi disseminati sulla superficie, il raggio con la biforcazione), al punto che il lettore impreparato non sa scegliere quella "buona", quella che importa all'autore. Si può però anche dire che contiene una sola banale informazione, che si potrebbe enunciare così: "Ecco a cosa somiglia una spicola di spugna silicea".

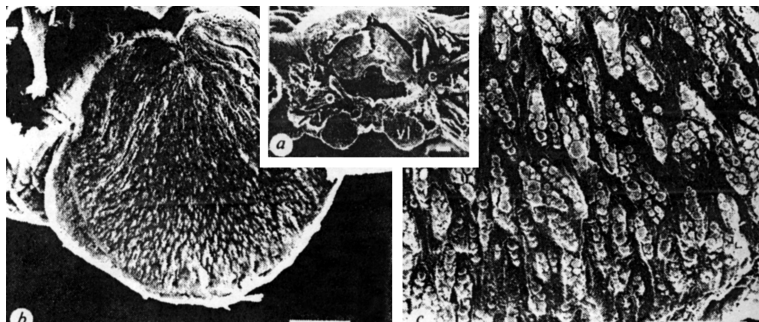


figura 4

Devo però a questo punto confessare che presentando separatamente queste due immagini ho barato: entrambe fanno parte di una serie, all'interno dell'articolo che le presenta. La figura 2 fa parte di un montaggio (fig. 4) che comprende altre tre fotografie, prese con il microscopio elettronico prima di quella che ho selezionato. La prima mostra un taglio trasversale nel corpo di un verme intero, la seconda presenta un particolare muscolo con un ingrandimento maggiore, la terza infine, con un ingrandimento ancora superiore, mostra le fibre muscolari che presentano alcune inclusioni. La quarta, che prima ho presentato isolata, mostra una di queste inclusioni a scala maggiore. L'organizzazione della serie è destinata quindi a simulare una progressiva messa a fuoco dello sguardo verso l'oggetto che l'articolo intende presentare. Inoltre, la foto presentata in figura 2 è seguita da una quinta fotografia, molto differente dalle precedenti: è una registrazione di analisi ai raggi X, che "ci dice" che i granuli sono costituiti da fosfato di calcio. Ritorneremo però su queste illustrazioni.

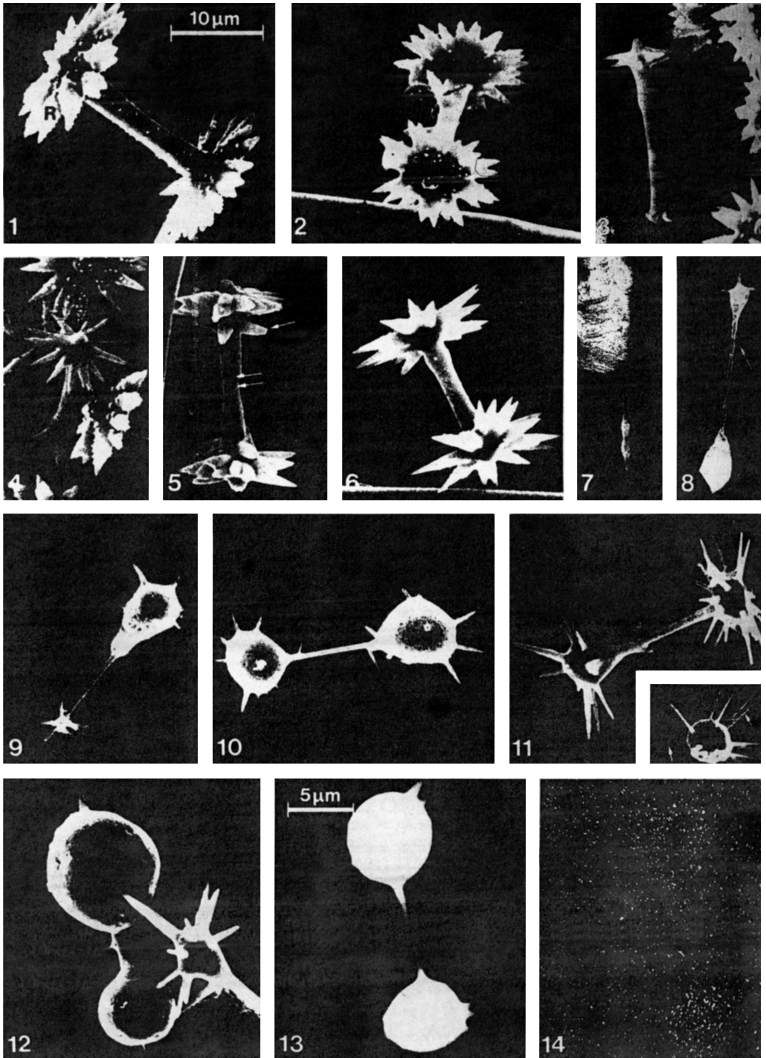


figura 5

La figura 3 è tratta da una tavola (fig. 5) che mostra due serie di spicole, le prime, in alto, che provengono da spugne “allo stato naturale” (da qui ho tratto la figura 3), le altre, in basso, più o meno informi, che provengono, come spiega la didascalia, da spugne mantenute in un ambiente contenente germanio. La serie tende quindi a mettere in evidenza l'effetto di disturbo del germanio sulla crescita delle spicole che sono fatte di depositi di sale di un metalloide affine, il silicio.

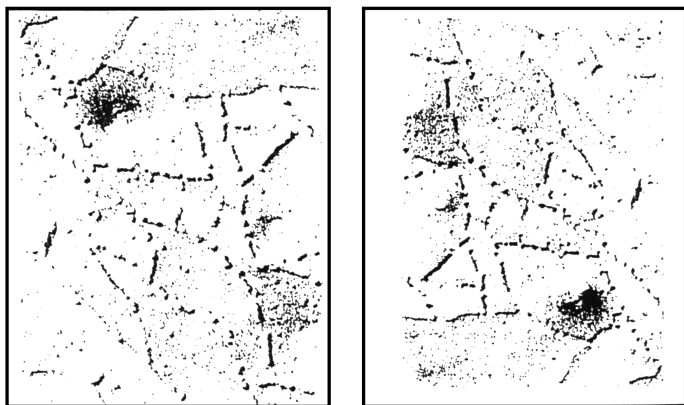
Nei tre casi considerati è possibile notare che la figura isolata riceve un contenuto solamente grazie a un sistema di comparazione esterna. La comparazione “interna”, infatti, dell'oggetto con il suo “sfondo” non era minimamente informativa. Questa comparazione esterna è esplicita nel caso delle figure 2 e 3 comprese, rispettivamente, nella serie delle figure 4 e 5, ma esisteva anche, in forma implicita, nel caso della figura 1. Proprio a partire dal tipo di documenti presentati in questa figura, sono stati calcolati e immagazzinati in una banca dati i parametri che servono a caratterizzare le forme cristalline delle diverse molecole organiche. Ora, è interrogando questa banca dati che è stata scoperta l'identità della molecola rappresentata nella foto incriminata.

2.2. *La forza dell'abitudine*

La lettura delle figure 4 e 5 si fondava sulla presenza di una serie. Solo comparando tra loro le foto possono essere evidenziate le differenze “significative”, quelle che forniscono la chiave di lettura di ogni singola foto. La figura 1, invece, che faceva riferimento a una comparazione implicita, era leggibile solamente per gli esperti della tecnica, mentre i non specialisti erano obbligati ad affidarsi al testo per vedere di cosa si trattava. La comparazione tra immagini presentate, o che si ritengono memorizzate, non è sempre sufficiente perché l'immagine acquisti senso. Occorre spesso

un'ulteriore griglia di lettura, o piuttosto un'abitudine stabilmente consolidata, per poter interpretare una fotografia. Questo punto è evidente nella figura 6, senza tenere conto in partenza del "senso" dell'illustrazione nell'articolo da cui è tratta. Questa figura mostra due fotografie una accanto all'altra: la foto di sinistra mostra in alto a sinistra una sorta di depressione carsica, uno sprofondamento del terreno e una serie di muretti che delimitano alcune superfici irregolari. Nella foto di destra si distingue una rete di fossati, con un picco isolato in basso a destra. La differenza tra queste due fotografie è un'illusione ottica. L'impressione di rilievo è dovuta all'ombra proiettata dagli elementi a luce radente, e una comparazione dettagliata mostra che ho presentato due volte la stessa fotografia, a sinistra nel senso in cui appare nell'articolo, e a destra capovolta. L'inversione del rilievo deriva da un'abitudine sedimentata nel nostro cervello per effetto dei canoni della pittura classica, in cui il rilievo è reso con il "modellato" ottenuto con una fonte di luce virtuale situata fuori dal quadro, in alto a sinistra.

figura 6



Nell'articolo si tratta di evidenziare la struttura di una congiunzione tra due cellule, le cui due membrane sono state fratturate obliquamente rispetto allo spessore con una tecnica chiamata "di criodecapaggio". Le fotografie sono prese al microscopio elettronico e vanno visti "dai sette agli otto allineamenti di particelle, con numerose intersezioni, che racchiudono aree di forma variabile"⁷. Orientando la fotografia gli autori hanno avuto cura di rispettare la posizione "classica" della fonte di luce, in modo che il lettore "vedesse" particole prominenti e non buchi. Per rendere giustizia a questa fotografia, aggiungerò che anch'essa appartiene a una serie che si dispiega contemporaneamente nello spazio, secondo il principio della focalizzazione progressiva, e nel tempo, poiché mostra la complessificazione progressiva della congiunzione, cioè addizioni successive di nuove pieghe, visibili come allineamenti di particelle, sul piano della frattura. Per necessità di dimostrazione ho scelto una delle ultime foto, con il maggiore ingrandimento, dove gli autori non hanno aggiunto né lettere né frecce, in modo da poterla presentare capovolta senza che questo fosse immediatamente evidente.

Anche le regole della rappresentazione con la prospettiva sono un modo per rendere la profondità a cui ci ha abituati la pittura classica. La tecnica fotografica tende a farci accettare questa rappresentazione come "naturale". Tuttavia, a parte qualche immagine esplicativa (cfr. fig. 15 o 20), raramente la prospettiva è utilizzata nelle illustrazioni fotografiche degli articoli scientifici. Si trovano invece alcuni effetti di rilievo prodotti con stereoscopia: lo stesso oggetto è presentato due volte fotografato da un angolo un po' differente; un occhiale speciale "obbliga" a guardare la foto di sinistra con l'occhio sinistro e quella di destra con l'occhio destro, e fa "vedere" il rilievo, mentre la ricostruzione è dovuta alla sovrapposizione delle immagini nel nostro cervello. In fi-

gura 7 se ne trova un esempio, anche se sfortunatamente si tratta di uno schema di molecola, poiché non ho trovato fotografie trattate in questo modo. In mancanza di occhiali adatti, è sufficiente tenere dritto un cartoncino tra le due immagini, posare il naso sul cartone, e concentrarsi un po'.

figura 7



Vorrei segnalare anche un procedimento estremamente seducente ma che, per sua natura costitutiva, non si può riprodurre sulla pagina. Questo procedimento, attuato da A. Rambourg su alcune sezioni spesse osservate con un microscopio elettronico molto potente, permette la visualizzazione del rilievo “vero”, per esempio di una cellula, come se fosse presente! La concezione della lastra fotografica speciale che permette simili effetti è direttamente ispirata alla “fotografia integrale” di Lippman⁸: quando ci si sposta davanti alla fotografia, si vedono apparire, come accade nella realtà, i particolari

nascosti dietro al primo piano. In questo modo alcuni organuli cellulari, che si vedevano sempre in sezione come vescichette, si scoprono “visibilmente” organizzati come un sistema di tubi comunicanti tra loro.

Una fotografia “scientifica”, pubblicabile in un articolo, è tutto il contrario di una foto di un padre di famiglia che mostra il bambino, il gatto, il paesaggio, e magari anche la bicicletta. L'esempio della figura 3 evidenzia che deve contenere meno informazioni possibile, per non creare confusione. La costituzione di serie, come 4 e 5, riduce l'incertezza del senso e la comparazione permette di eliminare tutto ciò che non cambia, per convogliare lo sguardo verso le differenze, l'unico fattore pertinente. Viene così progressivamente focalizzato, nello spazio di lettura della tavola, “ciò che bisogna vedere”. La lettura del significato di una fotografia, senza alcuna relazione con il suo valore estetico, si basa sull'attivazione di sistemi che la semiotica chiama “semi-simbolici”: sistemi che accoppiano una differenza sul piano del significato a una differenza rintracciabile sul piano del significante. Nella figura 1, per esempio, il chiaro e lo scuro (categoria o opposizione propria al significante) sono colori rispettivamente dello sfondo e dell'oggetto. Il chiaro è lo sfondo su cui appaiono le macchie scure che rendono visibile la struttura. In figura 2, la differenza di tonalità al livello del significante è utilizzata in senso contrario: lo sfondo scuro serve a mettere “in luce” i ciottoli bianchi. Nella figura 3 esiste questa stessa opposizione, ma non è dotata di significato: lo scuro indica nello stesso tempo lo sfondo e l'ombra proiettata dall'oggetto. Bisogna invece differenziare le forme, biforcute o meno, dei raggi; al contrario, nella figura 6 l'opposizione chiaro/scuro è messa al servizio di una dimensione spaziale, la profondità, sul piano del significato.

Un'opposizione spaziale sul piano del significante può essere accoppiata con un'altra dimensione spaziale

sul piano del significato. Nei dipinti con la prospettiva classica la categoria del significante /alto/ *vs* /basso/ dello spazio del quadro è collegata alla categoria del significato /lontano/ *vs* /vicino/ all'occhio del pittore o dello spettatore. Alcune opposizioni sono gradualità, come l'alto e il basso: tra il bordo superiore e quello inferiore del quadro, che costituiscono i due poli, si possono venire a disporre tutti i livelli intermedi di distanza, dalla linea di fuga fino all'orizzonte. Per contro, la distanza può essere rappresentata da qualche strato differenziato: primo piano, secondo piano, ecc. In questo caso gli oggetti che hanno nella realtà la stessa taglia sono rappresentati sempre più piccoli.

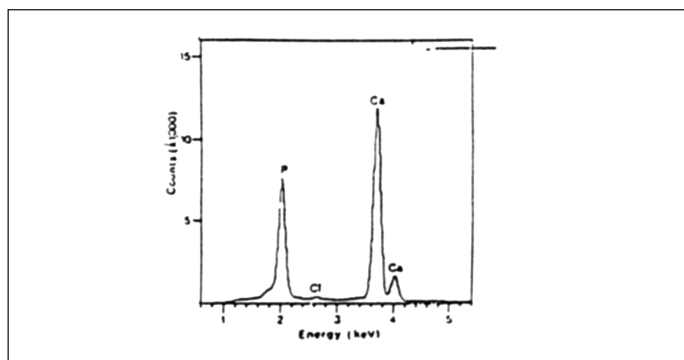
La leggibilità di un documento scientifico dipende dal numero dei sistemi semi-simbolici attivati. Per semplificare, parleremo di "dimensioni" differenti. La figura 3, sebbene sia rettangolare, cioè bidimensionale, utilizza, per mostrare l'informazione pertinente, una sola dimensione spaziale: l'opposizione centrale/periferico. Resterebbe parlante anche se la si ruotasse di 90°. La figura 2, al contrario, senza giungere fino a una definizione differente di alto e basso e di destra e sinistra, come nelle carte geografiche, è destinata a mostrare alcuni granuli disposti "in nastri allungati" nel senso delle fibre. La presentazione orizzontale di questo allungamento è dunque logica. Si potrebbe però ruotarla di 180° senza difficoltà. La figura 6 è del tipo "carta geografica": i suoi "quattro punti cardinali" sono definiti dalla posizione di una cellula di un tipo a "nord-ovest", e di un altro tipo a "sud-est", come si potrebbe vedere sulle fotografie a ingrandimento minore che la precedono. Essa utilizza anche la terza dimensione dello spazio, la profondità, anche se l'effetto di rilievo si deve all'illuminazione. Fornisce inoltre informazioni sotto forme diverse da quelle spaziali: la posizione degli elementi, la loro forma, il loro orientamento, lo stato della superficie (liscia o granulo-

sa). Tra tutte quelle che ho mostrato è quella che utilizza il maggior numero di dimensioni. Si potrebbero aggiungere, senza il bisogno di offrirne esempi, il colore e la trasparenza come altrettante dimensioni che permettono l'uso di tratti distintivi sul piano del significato. Tuttavia, grazie all'abitudine che ne abbiamo acquisito, queste corrispondenze sembrano molto "naturali".

2.3. *Lo spazio arbitrario*

Il caso più frequente nelle illustrazioni scientifiche è però l'utilizzazione di una dimensione spaziale sul piano del significante per manifestare un'opposizione non spazializzata: il caldo e il freddo, per esempio, sono spesso disposti su una scala verticale. Esistono alcuni dispositivi concepiti appositamente per questa funzione: il termometro ne è un buon esempio. Sempre più spesso si trovano illustrazioni ottenute con fotografie di "tracce" prodotte da dispositivi automatici che dispongono i risultati in forma bidimensionale. Da questo punto di vista la figura 8, che costituisce l'ingrandimento dell'ultima parte della figura 4, è davvero esemplare. La didascalia indica che si tratta di uno spettro tipico ottenuto con microanalisi ai raggi X dei granuli trattati con acqua

figura 8



ossigenata. L'ascissa presenta, da sinistra a destra, l'energia crescente del fascio di raggi X. Uno specialista che conosce le energie corrispondenti sarà d'accordo per identificarne i picchi con gli elementi indicati con il loro simbolo chimico. La spazializzazione sinistra-destra corrisponde a una sorta di "pennellatura", come nella televisione: il fascio della televisione introduce il tempo come un percorso dell'immagine. Sebbene non vi sia una "linea", anche qui è il tempo necessario al dispositivo per percorrere la scala delle energie ad essere implicitamente rappresentato in forma di scala orizzontale. Come direbbe uno specialista, l'ordinata è l'"altezza" del segnale corrispondente. Analogamente al termometro, una grandezza, in questo caso l'intensità di un segnale, è resa spazialmente con la dimensione verticale.

Questa fotografia è del tipo "carta geografica", nel senso che l'alto e il basso, la destra e la sinistra sono distinte. Tuttavia lo spazio bidimensionale realizzato non ha nulla di "realista". È completamente arbitrario e dipende dal dispositivo di visualizzazione, che definisce l'ascissa come una scala di energia, e l'ordinata come un'intensità del segnale. In realtà le due scale potrebbero interpretare qualsiasi grandezza. Il "colore", ridotto

figura 9

	Concentration (% of ash)	
	Soluene-treated	H2O2 treated
Ca	34.46	36.38
P	16.42	17.49
PO ₄	50.34	53.64
Mg	1.75	0.275
Sr	0.0569	0.0514
Ca/P atom ratio	1.62	1.61

alla categoria “nero/bianco”, è utilizzato come nel disegno tratteggiato, per segnare i limiti dell'oggetto sullo sfondo. L'interpretazione suggerisce che questi tracciati siano comparabili a delle sezioni: si parla infatti di “picchi” come per un rilievo. Tuttavia, non viene coinvolta alcuna terza dimensione dello spessore: ciò che conta è il confronto delle superfici delimitate dal contorno nero. Basta un colpo d'occhio su questa fotografia per vedere l'abbondanza relativa del calcio e del fosforo, indicate dalle superfici dei picchi. Questa figura non viene però utilizzata nel testo per individuare la natura dei granuli. Rimanda invece a una tabella (fig. 9) per poter affermare che i granuli sono composti fondamentalmente di “idrossi-apatite (calcio/fosforo = 1, 67), probabilmente con una parte di fosfato tricalcico (calcio/fosforo = 1, 5)”. Ora, la lettura della didascalia di questa tabella evidenzia che le cifre che vi appaiono sono ottenute con altri metodi di misurazione: la fotometria al calore per i metalli, e un metodo colorimetrico per il fosfato. La fotografia in parte replica la tabella, ma la tabella non poteva esistere in altra forma che quella di un aggregato di cifre, poiché questo è il solo modo per riunire e presentare congiuntamente i risultati forniti da due dispositivi differenti.

Bisogna ora tentare di spiegare questo fenomeno sorprendente: l'esistenza di dispositivi che producono direttamente oggetti simili ai grafici che il ricercatore potrebbe comodamente tracciare grazie alle cifre che può leggere sui nastri di registrazione, o sulle gradazioni delle sue apparecchiature. Per tentare questa spiegazione, ci volgeremo al discorso pubblicitario dei venditori di questi dispositivi. Mi è sembrata particolarmente rivelatrice una specifica pubblicità, anche se la traduzione non rende a pieno la suggestione dell'originale⁹: è il “dossaggio senza mani”. Si tratta di un'apparecchiatura regolabile, che ha il merito di essere automatica: “Elimina

quel fastidioso lavoro manuale, responsabile anche di errori durante le numerose manipolazioni con le provette richieste dalla ricerca”.

Per analogia, un grafico prodotto automaticamente è prodotto senza le mani e senza gli occhi del ricercatore. Se ritorniamo al piccolo schema del dispositivo iniziale, possiamo vedere che lo scopo è l'eliminazione della maggiore quantità possibile di tappe intermedie tra l'oggetto generato dalla natura e l'oggetto trasmesso nell'articolo, e soprattutto del maggior numero possibile di tappe in cui interviene un soggetto operatore umano. Qui certamente non si tratta di frode: l'esempio di *Paradies* lo mostra, basta sostituire una fotografia a un'altra. Si tratta degli errori che rischiano di introdursi a causa della fallibilità umana: errori di trascrizione delle cifre fornite da un apparecchio, scambio di campioni, inavvertenze... Tabelle e grafici sono costruiti dagli autori, e non hanno il carattere di autenticità proprio alla fotografia di una registrazione fornita da un apparecchio automatico, la quale offre al lettore una garanzia contro l'intervento dell'autore.

In teoria la fotografia permette la visualizzazione di numerose dimensioni, ma paradossalmente, nonostante le molteplici possibilità d'uso di mezze tinte e di diverse trame delle superfici, queste risorse non sono sfruttate nella fotografia scientifica. Quando sono usate, l'organizzazione delle serie elimina le dimensioni non pertinenti del processo di interpretazione. In effetti, quando le dimensioni sono variate progressivamente, più variazioni si incrociano, più la lettura è difficile. Ora, l'evidenziazione è tanto più convincente quanto più è forte il contrasto. Il “tutto o niente” è preferibile alle sfumature! Un effetto di questa esigenza lo si può vedere nel fatto che le immagini del tipo “carta geografica”, carte cioè che mostrano, per esempio, la localizzazione di prodotti radioattivi nel cervello, o le carte del cielo, in cui l'inten-

sità della luce dovrebbe essere “naturalmente” riprodotta con l'aiuto di sfumature, sono invece dotate di “falsi colori” se create dal computer: la variazione *continua* è sostituita da una scala composta di livelli *discreti*, resi con colori facilmente distinguibili l'uno dall'altro.

2.4. Convergenze

Ogni apparecchiatura e ogni condizione sperimentale possono essere considerate, lo si è detto, come un dispositivo, o una catena di dispositivi, la cui funzione è mettere in evidenza ciò che altrimenti non sarebbe visibile. Nel caso della figura 1, il dispositivo sembrava a prima vista privo di rapporto con la lastra fotografica, che ha la funzione di conservare la memoria di ciò che il dispositivo rende visibile. Il ricevente potrebbe essere uno schermo televisivo, dove l'immagine verrebbe memorizzata durante la sua formazione attraverso cifre immagazzinate nella memoria di un computer. Invece nelle figure 2 e 3, prese ad esempio, il lavoro di visualizzazione (taglio dei tessuti, fissaggio, etc.) per ottenere la fotografia pubblicata sembra del tutto innocente, poiché mira a mostrare “ciò che è”. Certamente sembra più semplice mostrare un “oggetto”, come le armature scheletriche di anellidi e di spugne, piuttosto che un “fare”, di cui si può mostrare solamente il risultato, o la traccia. Eppure non esiste una differenza così netta tra i due tipi di fotografia. Anche nel caso della figura 1 si trattava, benchè metaforicamente, di visualizzare uno scheletro. Le figure 2, 3 e 6 sembrano più “chiare”, ma abbiamo visto che si trattava di un'illusione dovuta alla nostra abitudine a guardare oggetti a tre dimensioni in fotografie in bianco e nero, le quali trasformano lo spazio in un piano e i rilievi in modellati e ombre proiettate. La fotografia indicata riceveva il senso attribuitole dal testo solamente dal confronto, che permette di eliminare gli elementi non pertinenti. D'al-

tra parte la figura 1 è stata parlante e rivelatrice per gli accusatori di chi l'ha pubblicata. Nella maggior parte dei casi il significato di una fotografia estrapolata dall'articolo è comprensibile solamente a uno specialista dello stesso campo. Un ricercatore, anche se opera in un settore affine, non può valutare la foto se non leggendo la descrizione del dispositivo di visualizzazione (nella sezione "materiali e metodi") o la didascalia, come nel caso della figura 8, in cui le scale si trasformano in uno spazio bidimensionale di grandezze che non hanno nulla di spaziale.

In ogni caso, mettere in evidenza un "oggetto" presuppone un lavoro sul reale che si può riassumere nell'uso delle funzioni selettiva e di contrasto, che esistono anche nel caso della fotografia. Si può ancora perfezionare l'analisi di quanto è stato chiamato "incanalare il senso", distinguendo due processi che entrano in gioco nella fotografia e facendone un oggetto costruito, contro l'opinione generale che ne fa un elemento naturale. Trarremo dal lessico della fotografia i termini per definire le operazioni effettuate con un dispositivo di visualizzazione, che sia un semplice amplificatore dell'occhio, come il microscopio, oppure una serie di manipolazioni destinate alla visualizzazione di un "fare".

La funzione di selezione consiste nell'atto di restringere il campo per eliminare la maggiore quantità possibile di elementi non pertinenti, che sono, in qualche modo, il rumore di fondo dell'immagine. Consiste però anche nell'atto di mostrare l'oggetto "intero", senza cioè tagliarne una parte: lo chiameremo "inquadratura". Quando si pone l'accento sulla costruzione dell'inquadratura, ovvero sul processo e non sul suo risultato, si può anche parlare di focalizzazione. La figura 4 ne presenta un buon esempio: mostra le inquadrature progressivamente sempre più "strette" che agiscono nell'evidenziazione dei granuli di fosfato di calcio. La

funzione di contrasto opera all'interno dell'inquadratura scelta, e consiste nel "ripulirla" dagli elementi non pertinenti. In senso stretto, è una procedura che tende a ottenere un'immagine in cui l'oggetto si stagli nettamente sullo sfondo. In fotografia si può ottenerla ad esempio con un'appropriata illuminazione, o con una profondità di campo debole, che rende sfuocato tutto ciò che non è alla giusta distanza. Se si mette l'accento sul processo anziché sul risultato, si può anche descrivere questa funzione come un "mettere in prospettiva". La figura 5 presenta un esempio di questa procedura: l'effetto disturbante del germanio sul meccanismo di sedimentazione del silicio nelle spicole viene messo in prospettiva rispetto alle immagini normali ottenute in sua assenza, nella parte alta della pagina, in "secondo piano"!

L'uso di inquadratura e di contrasto sono un lavoro sulla significazione. Nella sua definizione semiotica, la significazione non si identifica con quel che si potrebbe chiamare "il senso", percepito intuitivamente dal lettore/ascoltatore, oppure con quello che l'autore intendeva dire. Queste due istanze reali sono al di fuori del campo dell'analisi semiotica, che rende invece conto della significazione come processo costruito e, in una certa misura, controllabile: la quantità di significazione presente in un'immagine dipende dal numero di articolazioni poste in gioco. Dipende dunque dal numero di sistemi semi-simbolici utilizzati e dal loro carattere continuo o discreto. Il lavoro di inquadratura e di contrasto posto in atto nella produzione di immagini scientifiche tende a generalizzare e ridurre la significazione al solo "messaggio" dato nel testo scientifico che le accompagna, il quale può essere considerato nella maggior parte dei casi come il suo commento. Tratterò in seguito dello schema esplicativo che potrebbe invece essere un commento al testo. Nelle immagini scientifi-

che non c'è la “proliferazione del senso” cara agli artisti e che si ritrova nelle illustrazioni degli articoli di divulgazione. L'illustrazione scientifica si comporta esattamente come l'articolo stesso: questo è costruito come una manovra tattica, un'imboscata senza scampo in cui, se qualcuno tenta una lettura dei risultati differente da quella effettuata dagli autori, il cambio di direzione è sbarrato da un apposito argomento.

Utilizzerò come esempio l'articolo 5 illustrato con la figura 4, poiché trasmette un messaggio in termini familiari. D'altra parte, presenta due illustrazioni che a prima vista sembrano equivalenti sul piano informativo: una tabella (fig. 9) e una fotografia (fig. 8) che indicano entrambe che i granuli sono costituiti da fosfato di calcio. Questo caso dovrebbe permettere di mettere in evidenza i diversi ruoli di queste due immagini nell'argomentazione. L'articolo inizia con il problema della composizione chimica eccezionale delle *nephtys*¹⁰, che in confronto agli altri anellidi marini contengono infatti nel corpo una percentuale di calcio e di fosfato molto più alta rispetto a quella dei loro “cugini”. Questo esordio chimico del testo sembra paradossale, poiché l'articolo mira a fare “vedere” questo fosfato e questo calcio in eccesso, sotto forma di piccoli sassi nei loro muscoli. Ma a un terzo dell'articolo ci viene detto che nel 1868 Claparède, osservando al microscopio ottico queste striscie biancastre nei muscoli, aveva concluso che si trattava di inclusioni di grasso. Se gli autori avessero esordito con una fotografia dei granuli, sarebbe stata necessaria un'analisi chimica comparativa del contenuto in grassi dei muscoli. Questa prima scissione tra un metodo d'analisi ottica e un metodo di analisi chimica viene effettuata solo dopo che gli autori presentano una tabella di cifre che identifica la differenza significativa tra la *nephtys* e i suoi cugini come relativa al fosfato di calcio (e non ai grassi), e sono allora in grado di offrire alcuni risultati fotografici

ci. Abbiamo osservato che l'ultima foto della serie, una analisi dello spettro che mostra che i granuli sono composti di fosfato di calcio, non è usata nel testo, che si riferisce alla tabella riprodotta in figura 9. Questa tabella, che mostra i valori anche di altri metalli, offre cifre precise per l'identificazione della natura chimica dei granuli. Il rapporto tra le quantità rispettive di calcio e di fosfato è esplicito, mentre nella figura 8 era valutato approssimativamente tramite il confronto tra le superfici. La funzione di questa foto è quindi sbarrare la strada a un lettore che, guardando esclusivamente le fotografie, ripercorra il sentiero della vecchia interpretazione e "veda" globuli di grasso. Nel testo, invece, il lavoro di persuasione sfrutta i risultati espressi in cifre.

Gli autori devono giustificare la presenza di questi granelli: se si trattasse di grassi, la loro interpretazione come riserve di calorie sarebbe "evidente". Dovranno stabilire allora una connessione tra la presenza di questi granuli e l'elevatissima capacità del verme di rifugiarsi con rapidità ed efficacia nei depositi sabbiosi. Sono quindi esposte in successione due possibili biforcazioni riguardanti la funzione dei granuli: primo, potrebbe trattarsi di un magazzino di calcio di riserva per l'organismo; secondo, si tratta di un sistema di disintossicazione dell'organismo, una specie di pattumiera interna. A queste due possibilità però viene opposto un doppio argomento che scinde la presenza dei granuli dalle condizioni di vita dei vermi. Dal punto di vista topologico, i vermi che provengono da un ambiente ricco di metalli pesanti tossici non presentano un numero maggiore di granuli, la cui composizione resta identica. Da un punto di vista temporale, i vermi giovani, in proporzione alla loro taglia, hanno altrettanti granuli dei vermi vecchi (e non di meno). Bloccate così le biforcazioni, l'articolo si trasforma in una linea continua che conduce senza deviazioni alla conclusione che si può così tradurre: "Nel regno animale

non si conosce alcun altro esempio di accumulo di fosfato di calcio nel muscolo. Ipotizziamo che una forma originale di scheletro flessibile sia apparsa nella *nephrys* nel corso dell'evoluzione, come parte integrante del suo meccanismo, assai riuscito, di fuga e camuffamento”.

Se l'illustrazione scientifica richiede nella sua lettura la stessa assenza di libertà che ha il testo, ci si può chiedere perché non preferire alla fotografia l'unidimensionalità e la perfetta gradualità del numero, e perché mantenere l'informazione, come nel caso che abbiamo visto, nelle due forme di tabella e di fotografia. Dopo l'accusa a Paradis, si potrebbe pensare che il “numero”, ovvero la “matematizzazione” secondo l'espressione di Lynch (Lynch 1985), sia una memoria molto più funzionale che non la fotografia, poiché l'identità della molecola fotografata la si è riconosciuta in una banca dati che raccoglieva i parametri di differenti cristalli. Non sono però d'accordo con Lynch quando sostiene che la matematizzazione è un fine ultimo: mi sembra invece che sia un ripiego, nel caso in cui la visualizzazione non offre un'immagine direttamente interpretabile. Lo si avverte con chiarezza nel rammarico dei ricercatori citati ad esempio da Lynch, quando spiegano che hanno dovuto ricorrere alla tabulazione dei dati neuronalmente esclusivamente perché la differenza cercata non era immediatamente percepibile.

A partire da questi esempi, siamo stati condotti a distinguere i processi di visualizzazione propriamente detti dai processi di interpretazione dell'immagine stessa. I primi sono legati ai dispositivi di traduzione utilizzata e forniscono una parte delle informazioni necessarie all'attribuzione di una significazione all'immagine. Per i secondi invece giocano un ruolo importante la didascalia e le indicazioni, spesso sovrapposte alla fotografia in forma di iniziali e di frecce. Però il dispositivo di visualizzazione utilizzato esercita un vincolo sulle rappresentazioni possibili dei risultati. Bisognerebbe distinguere tra i dispositivi a raggio

ridotto e quelli a largo raggio (nella mia metafora, passo dagli apparecchi fotografici agli spettroscopi!). Intendo con questo che esistono alcuni dispositivi che non offrono alcuna capacità di mettere in evidenza fenomeni che non siano stati preliminarmente definiti e attesi. Il dosaggio del fosfato utilizzato per riempire di cifre la fila corrispondente nella tabella 9 non dice nulla sul calcio. Per questo occorre un altro dispositivo. La misurazione del fosfato utilizza una sola dimensione, quella della quantità. Il solo modo per presentare insieme i risultati di dosaggio del calcio e del fosfato passa per l'espressione numerica delle quantità. Accade la stessa cosa, come vedremo, quando occorre fare la sintesi di numerose esperienze identiche. Addirittura il dispositivo che fornisce nello stesso tempo le quantità del calcio e del fosfato sotto forma di una registrazione raffigurabile visivamente (fig. 8) è del tipo "a raggio ridotto": può sfruttare solamente due dimensioni dello spazio, quella verticale e quella orizzontale, per proiettarvi due grandezze. È questo che limita la quantità di informazioni che possono essere trasmesse da questi grafici tracciati automaticamente. I dispositivi ottici, al contrario, lasciano spazio all'imprevisto, nel senso che permettono di raffigurare contemporaneamente sulla stessa matrice molte variabili: forma, disposizione reciproca degli elementi, trama della superficie. Fino alla trasparenza differenziale degli elettronni, al microscopio elettronico, che grazie a un artificio chiamato "ombreggiatura" può essere sfruttata per produrre un effetto di altezza, o per fare "come se" l'oggetto si staccasse dallo sfondo.

3. Le scelte difficili

3.1. La quarta dimensione

Le scelte compiute dai ricercatori sono diverse, e a volte contraddittorie, come ci mostra l'esempio dei gra-

nuli della *nephtys*. Nell'articolo appaiono nello stesso tempo una tabella, che permette di esporre insieme risultati ottenuti con metodi e in momenti differenti, e il grafico derivato automaticamente da ciò che i ricercatori chiamano generalmente "un esperimento rappresentativo". L'illustrazione, però, quale che sia la sua natura, è data come un argomento senza possibile replica: costituisce un referente interno, una realtà, su cui fa perno il testo per "mostrare" la scoperta di cui sta parlando.

La fotografia riduce la realtà alla bidimensionalità della carta. È una "realtà" appiattita, facile da sistemare ed eventualmente da recuperare, facilmente comunicabile, e che si presta bene al confronto. È quindi una forma di memorizzazione quasi ideale: la sua capacità è assai superiore ai "bit" e permette a uno specialista di esaminare i "fatti" con un solo colpo d'occhio anziché attraverso una complessa attività di decodifica. Abbiamo d'altra parte visto che la realtà, per quanto artificiale, si presenta con un ruolo di garanzia grazie alla sua produzione automatica. La fotografia non ha rimpiazzato però tutti gli altri tipi di illustrazione negli articoli scientifici.

Esistono due forme di illustrazione che utilizzano nello stesso tempo i vantaggi del numero e la possibilità di sfruttare contemporaneamente almeno due dimensioni dello spazio. Sono le tabelle e i grafici che si dispongono entrambi sulle due dimensioni piane e rettangolari del foglio di carta, e facili da confrontare come le fotografie. La matematizzazione sembra funzionale ai risultati graduabili, poiché abbiamo visto che la fotografia scientifica preferisce il contrasto netto alle sfumature tra nero e bianco. La gradualità è resa bene in un grafico, dove si trova uniformemente tradotta nelle due dimensioni "alto/basso" e "destra/sinistra". In una fotografia come quella della figura 3, lo "sfondo" che poteva occupare una superficie considerevole rispetto all'"oggetto" si riduce nei grafici alla semplice linea delle coordinate men-

tre la gradualità si dispone in modo scalare. La quantità di dimensioni è limitata solamente dal numero dei diversi simboli che si possono collocare contemporaneamente nel riquadro delle coordinate. In una tabella di cifre, lo “sfondo” è ancora più ridotto: è il numero zero, e non è neppure necessario citarlo! La quantità di dimensioni è praticamente illimitata: possono essercene tante quante le colonne e le file presenti sulla tabella. Poiché in ognuna si può scrivere (“registrare la titolazione”), non è neanche necessario limitarsi ai pochi simboli facilmente distinguibili (cerchi neri o vuoti, quadrati, triangoli, etc.).

L'uso di un grafico presuppone che sia stato effettuato un calcolo preliminare, in quanto costituisce la presentazione in altra forma di una tabella di cifre. Ci si può chiedere perché negli articoli scientifici si vedano più frequentemente grafici che tabelle. Quali sono i vantaggi rispettivi della tabella e del grafico? Sembra che sia un problema di leggibilità: il grafico si può interpretare con un unico colpo d'occhio, mentre la tabella richiede che si confrontino alcune cifre, che si facciano mentalmente sottrazioni e addizioni, moltiplicazioni e divisioni. Il grafico probabilmente è più “convincente”, in quanto fa risparmiare tempo e attenzione al lettore. Se lo confrontiamo alla fotografia, possiamo vedere che un grafico può “reggere” più dimensioni di una fotografia, pur restando leggibile. In più, il grafico permette di rappresentare “la quarta dimensione”, quella del tempo, traducendola come dimensione spaziale. Nei grafici il tempo si dirige di norma da sinistra a destra, secondo una convenzione derivata forse dalla direzione di lettura abituale in Occidente. Per chi ne ha l'abitudine introduce dunque una dinamica: la traccia del fare come “immagine” statica, dove l'osservatore ricostruisce con l'immaginazione ciò che può essere accaduto prima e ciò che ne segue, è sostituita da uno svolgimento del fenomeno quasi posto sotto gli occhi dell'osservatore.

La figura 10 ci mostra la tabella, assolutamente illeggibile, che serve a evidenziare il meccanismo del ricambio d'acqua a un flusso contro corrente in un rene di criceto¹¹.

figura 10

		C	J	MR1	MR2	MR3	MB1	MB2	BP	PI
Expérience du 17 juillet 1959 Hamster (96 g) Temps écoulé 0,5 min	HTO i.p.m./mg tissu frais x 10-2	31,5	13,2	4,5	2,2	1,8	2,0	2,0	1,9	
	²³ Na µg/mg tissu frais ²² Na i.p.m./mg tissu frais x 10-2	1,4	2,6	3,4	4,4	5,4	8,3	7,4	8,9	
Expérience du 31 juillet 1959 Hamster (108 g) Temps écoulé 1 min	HTO i.p.m./mg tissu frais x 10-2	17,1	16,9	11,3	6,8	4,8	2,5	3,1	2,2	12,2
	²³ Na µg/mg tissu frais ²² Na i.p.m./mg tissu frais x 10-2	1,7	2,3	3,1	3,8	4,3	5,6	6,2	7,8	3,1
Expérience du 10 juillet 1959 Hamster (110 g) Temps écoulé 2 min	HTO i.p.m./mg tissu frais x 10-2	15,8	16,2	13,1	9,4	5,4	4,7	3,9	3,3	9,7
	²³ Na µg/mg tissu frais ²² Na i.p.m./mg tissu frais x 10-2	1,7	2,7	3,4	4,6	5,7	7,9	8,1	8,7	
Expérience du 16 juillet 1959 Hamster (96 g) Temps écoulé 6 min	HTO i.p.m./mg tissu frais x 10-2	6,8	7,0	7,3	6,3	5,9	4,4	4,2	3,9	7,6
	²³ Na µg/mg tissu frais ²² Na i.p.m./mg tissu frais x 10-2	1,4	2,8	3,1	4,1	4,8	5,9	6,7	7,0	3,7
Expérience du 31 juillet 1959 Hamster (120 g) Temps écoulé 10 min	HTO i.p.m./mg tissu frais x 10-2	7,1	7,1	7,7	6,9	7,2	6,5	6,1	5,7	6,2
	²³ Na µg/mg tissu frais ²² Na i.p.m./mg tissu frais x 10-2	1,7	2,7	3,3	4,1	5,4	5,3	6,0	7,7	3,4
		1,1	1,6	2,3	2,9	3,6	3,9	4,4	5,4	2,1

C: Cortex; J: Jonction cortico-médullaire; MR1, MR2, MR3: médulla rouge (externe); MB1, MB2: médulla blanche (interne); BP: Base papille; PI: Plasma.

Le prime due colonne sono utilizzate per dare “senso” ai numeri contenuti nelle altre nove. I titoli di queste colonne, delle lettere e degli indici rinviano a dei “pezzi” del rene distinti grazie a criteri anatomici visibili. La figura 11, nello stesso articolo, fornisce le medesime informazioni sotto forma di “fumetto”: in ogni vignetta il tempo passa da zero a dieci minuti sull’ascissa, mentre sull’ordinata viene espressa, nella percentuale rilevata sulla corticale (la parte più esterna sulla superficie del rene), la quantità riscontrata del tracciante marcato radioattivo. Una delle colonne della tabella si trova quindi rimpiazzata dalla linea tratteggiata al livello del 100%. Questo artificio permette di assegnare la stessa scala alle variazioni d’intensità del tracciante sodio e del tracciante acqua, che sono rappresentati, rispettivamente, da cerchi vuoti e da cerchi neri. Nella tabella la possibilità di dare evidenza al flusso contro corrente si fonda sul confronto dell’evoluzione dei due traccianti, mentre sul grafico l’accostamento delle curve rende immediata la comparazione. Ognuno dei quattro riquadri mette in scena quanto accade in una zona differente del rene, dalla superficie (a sinistra) alla profondità interna (a destra). Ogni riquadro riunisce le indicazioni di due colonne, eccetto l’ultima.

figura 11

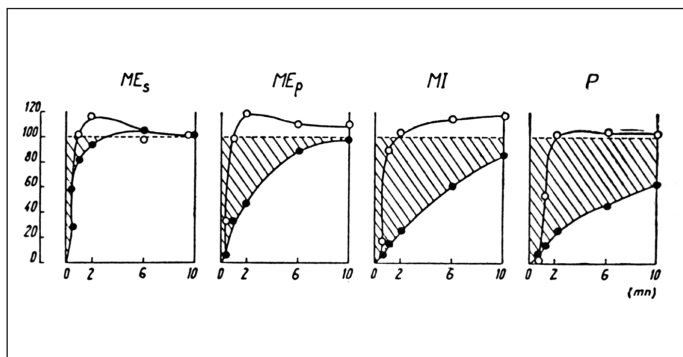


figura 12

Uso appositamente un termine teatrale come “scena”, poiché la curva che collega i circoli ristabilisce una sorta di continuità del fenomeno mentre le misure nel tempo sono intervallate e, secondo le informazioni della tabella, sono effettuate ognuna su un animale diverso. La curva dà addirittura uno stesso valore per il tempo zero, in cui non è stata fatta misurazione. Il confronto sodio/acqua viene duplicato da una superficie tratteggiata che, dice la didascalia, “indica il ritardo del ricambio d’acqua in confronto al suo ricambio nella corticale”. È questa superficie, che cresce da sinistra a destra, a visualizzare sull’insieme dei quattro riquadri il fenomeno dello scambio d’acqua con il flusso contro corrente.

3.2. *Continuità e diversità*

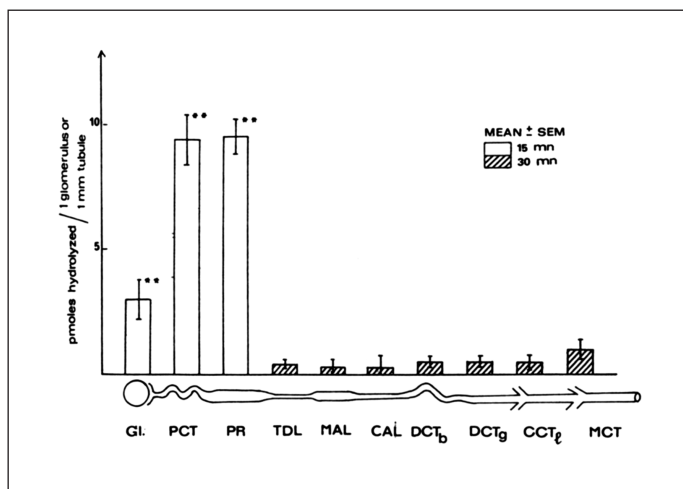
La figura 12 rende visibile lo stesso fenomeno, ma questa volta nel coniglio¹², sotto forma dell'accostamento di tre fotografie: quella di mezzo è una fotografia anatomica, che mostra la sezione praticata nel rene per effettuare l'esperimento. La prima è una scintigrafia con radioisotopi di questa stessa sezione, in cui l'acqua arricchita di trizio, iniettata nell'animale come tracciante marcato, diventa visibile per la proprietà, che deve alla radioattività, di impressionare una lastra fotografica avvolta dalla carta. La terza presenta lo stesso fenomeno realizzato con il sodio radioattivo. Questa serie rende conto solamente di una delle caselle del grafico, quella che corrisponderebbe al tempo di due minuti sul grafico riguardante il criceto, dove c'è maggiore differenza tra la distribuzione della radioattività dell'acqua e quella del sodio (nel coniglio questo tempo è di 5 minuti).

Questo montaggio fotografico è pubblicato in un articolo successivo, un articolo di sintesi, dove però viene riprodotto anche il grafico precedente. È interessante osservare che in questo articolo la tabella è scomparsa. La scelta degli autori fa ritenere che la serie fotografica visualizzi il ritardo del ricambio d'acqua sul sodio all'interno del rene, in modo più "efficace", probabilmente perché "mostra" direttamente questa profondità, grazie all'immagine completa del rene, mentre il grafico accostava, nel loro ordine, quattro livelli, assegnando all'immaginazione dell'osservatore il compito di ricostituire per conto proprio l'immagine completa.

Inoltre, il tempo scelto è quello che rende maggiormente il contrasto: la profondità è bianca per l'acqua, nera per il sodio. Pur contenendo meno informazioni, quest'immagine è da ritenersi più convincente. Il grafico disponeva le sue informazioni su quattro estensioni: quella del tempo (da 0,5 a 10 minuti), quella dell'intensità della radioattività (sodio e acqua in modo graduale,

con ascissa e ordinata in ogni riquadro), quella della disposizione spaziale dalla superficie del rene alla sua profondità interna (con quattro riquadri, nei quali la superficie, la corteccia, è sempre sulla linea del 100), e la dimensione comparativa tra acqua e sodio (in modo categoriale, con due simbolizzazioni sovrapposte). Quanto alla serie di fotografie, essa organizza solo la comparazione, la disposizione spaziale, e, per quanto riguarda l'intensità della radioattività, un bianco e nero appena sfumati. Il grafico quindi consente l'allestimento e l'uso di un numero più elevato di categorie di dimensioni rispetto alla fotografia. Tuttavia, in ragione della sua organizzazione in "scene visive", è simile alle serie fotografiche descritte in precedenza a proposito dell'incanalamento del senso. La figura 13 presenta invece un'informazione condensata in un solo grafico. La differenza tra le aree tratteggiate e quelle non tratteggiate serve a distinguere due tempi di incubazione differenti: l'ordinata

figura 13



rappresenta l'intensità variabile di una grandezza, e l'ascissa un'organizzazione spaziale.

Il grafico, invece, si serviva del tracciato di una curva continua per "rendere" la continuità anatomica del rene, dalla superficie all'interno. La figura 13¹³ utilizza la forma dell'"ortogramma". L'intensità è proporzionale all'altezza della colonna, e rappresenta l'attività di un enzima dosato in differenti segmenti tubulari del nefrone, l'unità elementare del funzionamento del rene. Si tratta dunque della messa in scena di un "fare": la traccia di questo fare, la quantità di substrato idrolizzato in un unico segmento tubulare, che era solamente una cifra fornita da un numeratore, è scomparsa sotto i diversi calcoli di normalizzazione basati sui controlli, i "bianchi", la lunghezza del tubulo e il valore medio espresso nelle colonne. Ogni colonna dell'ortogramma equivale alla colonna di una tabella. Se questa tabella elencasse in dettaglio tutte le misurazioni effettuate su ogni tipo di segmento tubulare, vi si troverebbero, probabilmente nell'ultima riga, anche la media e lo scarto statistico rispetto alla media, che permetterebbe di confrontare questo segmento con il successivo. Sullo schema, l'altezza della colonna rappresenta la media delle misure, e la cifra alla sua sommità rappresenta il numero dei conigli utilizzati, ognuno nel corso di un diverso esperimento. Il risultato dell'analisi statistica è rappresentato dalla lunghezza della riga che incontra il bordo superiore della casella. La presenza di asterischi segnala le differenze considerate "significative", e il numero degli asterischi corrisponde alla "soglia". Come nel caso precedente, il dosaggio è effettuato su "pezzi", dopo aver sezionato in componenti separate il rene, fin nel suo interno. La continuità è parzialmente ristabilita sull'asse delle ascisse, dove i segmenti tubulari sono disposti nel loro ordine, ma, soprattutto, grazie all'espedito di raffigurare sotto l'ascissa lo schema di un nefrone aperto e srotolato!

3.3. *Lo schema esplicativo*

Lo schema esplicativo consente di ridurre il numero delle interpretazioni possibili di un'immagine, ma lascia trasparire l'interpretazione dell'autore. Abbiamo visto come la lettura del grafico di figura 13 fosse facilitata da uno schema di nefrone che dava senso all'ascissa, raffigurando le denominazioni abbreviate, convenzionalmente poste all'estremità delle colonne. La funzione di questo grafismo era anche quella di ridisporre nella continuità anatomica della struttura i pezzi srotolati e separati del nefrone, le cui parti erano rappresentate dalle basi delle colonne, tutte di identica lunghezza e poste a distanza regolare. Lo scopo è quello di mostrare ciò che non si può vedere: il rapporto di collegamento tra gli elementi, frammentato dallo schema per permettere di seguire la variazione dell'attività dell'enzima da un segmento tubulare all'altro. Altri schemi hanno la funzione di eludere il carattere statico dell'immagine cercando di riprodurre il movimento: nella figura 14, che rappresenta il funzionamento del nefrone "mentre sta" concentrando l'urina¹⁴, il passaggio orizzontale dell'acqua è rappresentato da alcune frecce. In questo schema, il nefrone è convenzionalmente rappresentato come in una sezione, in cui la corteccia è in alto e la papilla in basso, contrariamente alle foto presentate in figura 12. Il lettore ne evince così che l'acqua non segue le forme piegate a forcina dei canali, imboccando un corto-circuito: questo rallenta lo scambio dell'acqua nelle regioni profonde del rene. L'utilità di uno schema per visualizzare l'azione è innegabile: senza questo artificio, occorrerebbe un supporto diverso dalla carta, per esempio un film. Su un supporto bidimensionale è possibile evidenziare solo la traccia, il risultato dell'azione, o l'"oggetto". Altri schemi, come quello della figura 20, presentano l'organizzazione di un oggetto nelle tre dimensioni dello spazio.

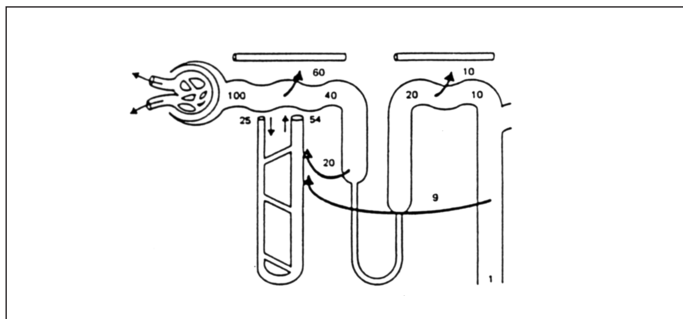


figura 14

Non mi soffermerò a lungo sul rapporto tra gli schemi e le fotografie, punto già trattato in dettaglio da Lynch. Mi limiterò a offrire un esempio pieno di *humour*: la figura 15, posta all'inizio dell'articolo¹⁴, serve da spiegazione per la figura 16, che è al centro dell'articolo. Se rappresentasse due cellule anziché una, potrebbe anche servire da commento alla fotografia del crio-decapaggio della figura 6.

figura 15

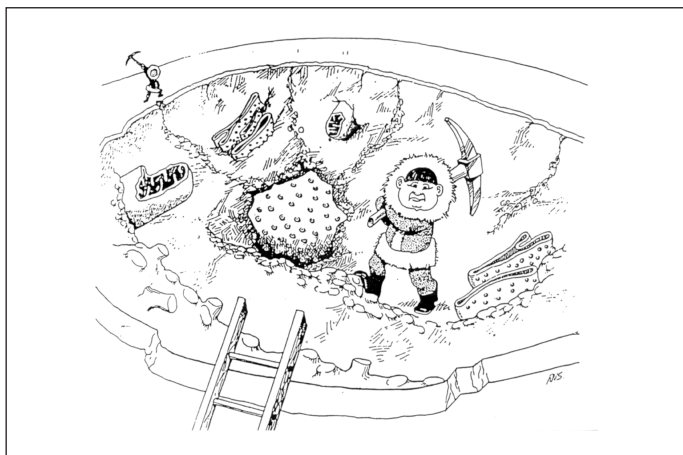




figura 16

In realtà la presenza di immagini simili è molto più frequente negli articoli di divulgazione che in quelli specialistici. Qui il “fare” è rappresentato da personaggi che indossano vestiti pesanti per proteggersi dal freddo, e sono muniti di picozze. In uno schema più “serio” il fare è rappresentato da frecce, e il soggetto operatore, quando non è il ricercatore stesso, è spesso indicato con il suo simbolo chimico o con una abbreviazione più o meno convenzionale posta accanto alla freccia.

3.4. Le trascrizioni “linguistiche”

Negli articoli di genetica si ricorre sempre più spesso a immagini di natura intermedia tra lo scritto e lo schema. La figura 17 mostra diverse sequenze del gene dell'inibitore della proteasi. Il gene del topo serve da termine di confronto per quello dei primati¹⁵. La successione lineare degli elementi della sequenza di DNA è rap-

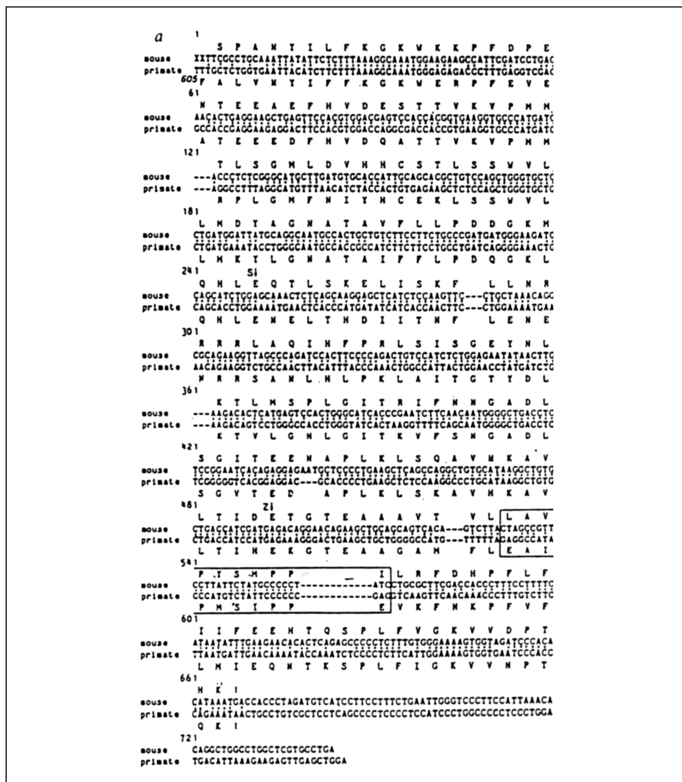


figura 17

presentata dalla successione delle lettere che designano i nucleotidi con l'iniziale della base e l'enumerazione (a sinistra di ogni fila), ma non v'è traccia della doppia elica: la catena complementare non è dunque raffigurata. Neppure la forma nello spazio.

Questo è uno schema o un testo? Come in un testo, bisogna procedere riga dopo riga, da sinistra a destra, dall'alto al basso. Vi sono degli spazi "bianchi", in cui alcuni trattini rimpiazzano le lettere. La didascalia dice che sono

“regioni in cui appaiono aggiunte o cancellazioni di nucleotidi”. Si vede anche una parte contornata da un riquadro, che corrisponde “ai dieci aminoacidi delle regioni del centro attivo” della molecola. La lettura di questa immagine richiede una certa ginnastica mentale. La didascalia ci fa passare senza mediazione dal gene alla proteina che produce, e le due sostanze sono in effetti visualizzate simultaneamente. La sequenza dei nucleotidi si trova “traddotta” (al di sopra, nel caso del topo, e al di sotto, per il primate) da una lettera-codice che indica uno dei 20 aminoacidi che entrano nella composizione delle proteine. La presenza di questa lettera trasforma la catena continua delle iniziali delle basi articolandola implicitamente in “triplette”, gruppi di tre lettere che rappresentano la combinazione specifica di nucleotidi che “significa” un aminoacido. D'altra parte, la catena complementare a quella scritta, sebbene sia assente, non manca però nel commento: “i punti” infatti “indicano i nucleotidi che sono omologhi nelle coppie di sequenze”. Certo non è difficile, per chi conosce la regola, “vedere” la sequenza complementare assente accanto all'altra, poiché nella doppia elica del DNA le basi sono sempre accoppiate nello stesso modo. La presentazione sotto forma di “testo” da leggere sembra molto appropriata, poiché si tratta di evidenziare le somiglianze e le differenze nelle sequenze, costituite per definizione da una concatenazione lineare. L'economia di spazio permessa dalla simbolizzazione con lettere dell'alfabeto, al posto per esempio del nome completo o peggio, dal punto di vista dell'ingombro, della formula chimica, sembra ancora più efficace in quanto i nucleotidi che si succedono, per la ragione stessa che si prestano a una successione concatenata e che si combinano, si somigliano moltissimo! La figura 18 rappresenta la doppia elica nella sua veste “chimica”: a sinistra si trovano gli atomi, un insieme di sfere, a destra i legami tra gli atomi, raffigurati da steli¹⁶.

figura 18

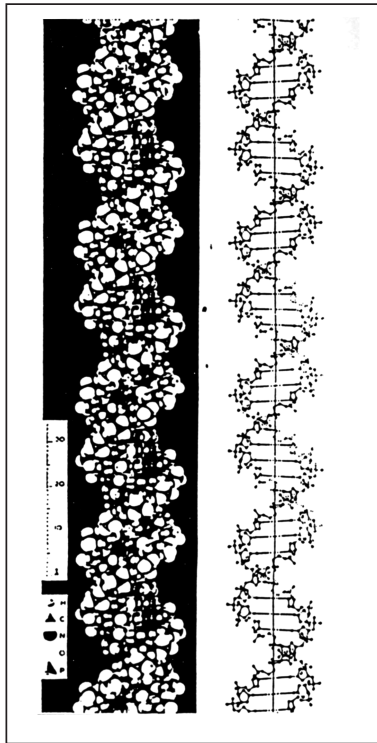
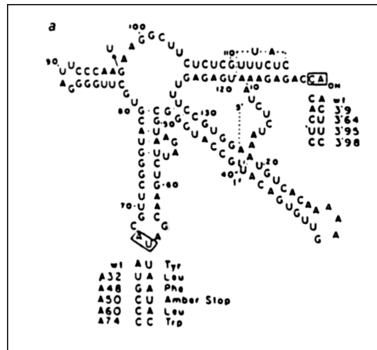
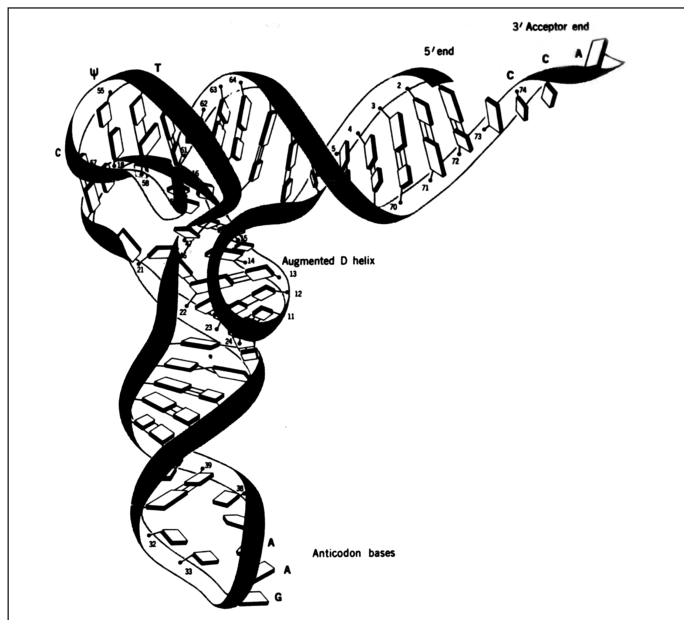


figura 19



La figura 19 presenta in forma piatta uno di quei famosi RNA di trasferimento “a forma di foglia di trifoglio” che Paradies cercava di cristallizzare per stabilirne l'aspetto nello spazio¹⁷. La lunga catena di acidi ribonucleici è indicata da una numerazione a gruppi di dieci, ma ogni RNA della catena è espresso simbolicamente, come in precedenza, dall'iniziale della base corrispondente. Un piccolo punto posto tra due lettere indica che la struttura nasce dal ripiegamento della catena su se stessa per l'appaiamento delle sequenze di base complementari. Questo punto così discreto è simbolo di diversi legami idrogeno, e nello stesso tempo anche di una forma a doppia elica (come il DNA). Quando però i legami sono assenti si vedono le lettere separarsi e disegnare delle

figura 20



specie di bolle. Qui la rappresentazione è adeguata ai propositi dell'articolo: due piccoli rettangoli, in basso, e in alto a destra, inquadrano due lettere; la colonna che si trova a reggere la figura sotto ogni rettangolo indica le varie mutazioni che subiscono le basi in questione e, almeno per quanto riguarda il rettangolo inferiore, il cambiamento di senso che ne risulta. La si può utilmente confrontare con la rappresentazione in figura 20, che è tratta da un manuale¹⁸ e che si sforza di dare un'idea della forma nello spazio, con l'aiuto di un simbolismo del tutto differente: le basi sono rappresentate da rettangoli e quadrati disegnati in prospettiva, e i legami idrogenati sono materializzati da tratti che collegano questi rettangoli. La parte della catena ribosio-fosfato del nucleotide, grazie alla quale ogni base è unita a quella che la precede e a quella che la segue, è resa simbolicamente da un nastro continuo con alcuni numeri sovrascritti. Nell'altra figura la sua presenza era manifestata solamente in forma derivata, con la numerazione.

Per la verità, io non credo né alla matematizzazione, né alla linguisticizzazione (!). Quando si tratta di convincere, tutto va bene, anche se alcune cose vanno meglio: l'economia di spazio che permette di vedere il risultato con un unico colpo d'occhio, o le procedure automatiche, che servono da garanzia della "realtà". Il biologo maneggia delle astrazioni, il numero e la lettera, mentre l'immagine di ciò di cui sta parlando è sempre presente, come ci mostra la doppia elica implicita negli schemi composti di lettere, oppure il nefrone ripiegato a forcina che sottostà allo schema lineare. Non chiamerò tutto ciò "geometrizzazione", come fa Lynch, che la assimila al lavoro compiuto sui numeri. È piuttosto una sorta di materialismo inveterato. Ciononostante, la materialità non è quella del mondo "reale". È quella di una rappresentazione che resta schematica: una visione che tratta la grande varietà del reale per farne unità separate e

distinte, ma che comprende le tre dimensioni dello spazio e anche il movimento.

¹ «Culture technique», 1985, n. 14, pp. 133-151.

² La controversia comprende tre testi pubblicati in «Nature», n. 303, 1983: nelle comunicazioni, *True identity of a diffraction pattern attributed to valyl tRNA*, di W. A. Hendrickson, B. E. Strandberg, A. Liljas, L. M. Amzel, E. E. Lattaman, p. 195 e la risposta di H. H. Paradies, *A reply from Paradies*, p.196. Nella sezione “News and views”, p. 197, un articolo di P. Newmark, intitolato *Disputed X-rays data unresolved*, il cui sottotitolo suona “Le lettere di Hendrickson e di Paradies pubblicate nelle pagine precedenti sollevano dubbi sull'autenticità di una serie di articoli pubblicati. Ecco una guida per i lettori”.

³ Le sigle utilizzate sono proprie alla biologia molecolare, e hanno i seguenti significati: RNA = acido ribonucleico; t-RNA= acido ribonucleico di trasferimento; m-RNA = acido ribonucleico messaggero; DNA = acido desossiribonucleico (N.d.T.).

⁴ Paradies, H. H., Sjöquist, J., 1970, *Cristallographic study of valine tRNA from yeast*, «Nature», n. 226, pp. 159-161.

⁵ Gibbs, P. E., e Bryan, G. W., 1984, *Calcium phosphate granules in muscle cells of Nephtys (Annelida, Polychaeta) - a novel skeleton*, «Nature», n. 301, pp. 494-495.

⁶ Simpson T. L., Langenbruch, P. F., 1984, *Effects of germanium on the morphogenesis of a complex silica structure and on the assembly of the collagenous gemmule in a freshwater sponge*, «Biology of the cell», n. 50, pp. 181-190.

⁷ La fotografia è tratta dall'articolo di Delbos, M., Miller, K. R., Gipouloux, J.-D., 1984, *Freeze-fracture of Rana pipiens gonad anlage: study of primordial germ cells and other cellular types*, «Archives d'anatomie microscopique», n. 73, pp. 57-67. Questo effetto di inversione del rilievo era stato segnalato in precedenza da Cook, D. J., 1983, *Relief in microscopy*, «Nature», n. 306, p. 428.

⁸ Lippmann, M. G., 1980, *Epreuves reversibles. Photographies intégrales*, in «Compte-rendus» de l'Académie des sciences, n. 146, pp. 446-451. Questo metodo attualmente è utilizzato da Rambourg e Bonnet.

⁹ Pubblicità di *Cetus* co.: “Finally, hands off microtitration. The Cetus Pro/pette. Because it does the pipetting, you won't have to”.

¹⁰ *Nephtys* o “verme delle sabbie” (sand worm): genere di Policheti Nereimorfi Neftididi (i Policheti sono vermi Anellidi marini o d'acqua salmastra, eccezionalmente semi-terrestri come la *Nephtys*) (N.d.T.).

¹¹ Morel, F., Guinnebault, M., Amiel, C., 1960, *Mise en évidence d'un processus d'échange d'eau par contre-courant dans les régions profondes du rein de hamster*, «Helvet. Physiol. Et pharmacol. Acta», anno 18, pp. 183-192.

¹² Morel, F., Guinnebault, M., 1961, *Les mécanismes de concentration de l'urine*, «Journal de Physiologie», n. 53, pp. 75-130.

¹³ Marchetti, J., fotografia preparata per un manifesto intitolato *Metabolismo della lisina-bradicinina ad opera dei glomeruli e dei segmenti microdissezionati del nefrone*, presentata agli incontri dell'Istituto di Biologia del Collège de France, novembre 1984 (dono dell'autore).

¹⁴ Deetjen, P., Boylan, J. W., Kramer, K., 1978, *Physiologie du rein et de l'équilibre hydroélectrique*, Paris, Masson, p. 73.

¹⁵ Horowitz, S. B., Miller, D. S., 1984, *Solvent properties of ground substance studied by cryomicrodissection and intracellular reference-phase techniques*, «The Journal of Cell. Biology», n. 99/1, pp. 172s.-179s.

¹⁶ Hill, R. E., Shaw, P. H., Boyd, P. A., Baumann, H., Hastie, N. D., 1984, *Plasma protease inhibitors in mouse and man: divergence within the reactive centre regions*, «Nature», n. 311, pp. 175-177.

¹⁷ Conferenza Nobel di Wilkins, M. H. 1964 (1962), "Molecular configuration of nucleic acids", in *Nobel lectures physiology or medicine 1942-1962*, Amsterdam-London-New York, Elsevier Pub, p. 761.

¹⁸ Dreher, T. W., Bujarski, J., Hall, C. T., 1984, *Mutant vira RNA-s synthesised in vitro show altered aminoacylation and replicase template activities*, «Nature», n. 311, pp. 171-175.

¹⁹ Cantor, C. R., Schimmel, P. R., 1982, *Biophysical chemistry*, I, San Francisco, W. H. Freeman and co.