



Camillo Golgi nel suo laboratorio all'Università di Pavia

GOLGI E LA MAGIA NELLA SCIENZA

di Giulio Lanzavecchia*

Un anniversario, cent'anni dall'assegnazione del premio Nobel, un'occasione da non perdere per conoscere meglio uno scienziato notissimo di nome, ma in realtà poco noto - anche tra gli addetti ai lavori - nella ricchezza e fecondità di una vita ricca di numerosissime scoperte. Una storia in cui i passi della scienza si intrecciano con i fatti della vita; una lettura che può essere utile nelle classi del primo biennio della scuola superiore in cui si arriva a trattare nei dettagli la struttura delle cellule per scoprire quante informazioni si sono raccolte anche prima dell'avvento dello studio molecolare.

Camillo Golgi nacque a Còrteno, tra Edolo e l'Aprica, nel 1843, e morì a Pavia nel 1926; qui fu professore, dapprima di istologia e quindi di Anatomia patologica, e fu anche Rettore dell'Università. Nel 1906, insieme a Santiago Ramon y Cajal, ricevette il premio Nobel per la Medicina per i suoi studi sul sistema nervoso.

Queste sono le uniche notizie biografiche che darò, poiché la vita di Camillo Golgi è già stata analizzata a fondo in tanti scritti e biografie, ed è quindi inutile ripetere cose che si trovano con facilità ovunque.

Cercherò invece di esprimere alcuni pensieri che questo grande studioso ha fatto sorgere nella mia mente, procedendo un po' a ruota libera, come è mio costume.

Oggi siamo abituati a riconoscere i grandi interpreti del pensiero umano riferendoci agli elenchi di coloro che hanno ricevuto il premio Nobel; ma questo ci riporta indietro solo fino al 1900. Per ciò che avviene in precedenza, dobbiamo invece fare riferimento ad altri parametri.

Il lungo cammino che ha portato l'uomo a impadronirsi materialmente e concettualmente del mondo naturale in cui opera si è realizzato attraverso un numero abbastanza limitato di rivoluzioni paradigmatiche, legate al pensiero di pochi grandi filosofi o scienziati (in un primo tempo i due termini coincidevano).

Tutti coloro che hanno dato inizio a una svolta paradigmatica hanno dovuto affrontare una difficoltà fondamentale, e

*Professore emerito presso l'Università dell'Insubria. Già Professore di Istologia ed Embriologia, e quindi di Zoologia presso l'Università di Milano; quindi professore di Anatomia Comparata presso l'Università dell'Insubria.



Camillo Golgi (1843-1926)

cioè proporre un nuovo sistema concettuale in presenza di un altro sistema già esistente, accettato dalla maggioranza delle persone e venerato dalla tradizione.

L'uomo riuscì a svincolarsi dalla visione magica del mondo per opera di alcuni grandi pensatori, come Talete, Eraclito, Pitagora, Democrito, ma soprattutto Aristotele, che per primo riconobbe l'importanza dell'osservazione sperimentale per la conoscenza scientifica.

Egli fornì un modello metodologico per l'apprendimento del mondo naturale, e tale modello si può porre sul gradino più elevato in campo scientifico. Esso consiste nella capacità di porre domande opportune, in modo tale da poter ricercare i dati per trovare delle risposte.

Per lungo tempo, tuttavia, il tradimento del pensiero di Aristotele, in larga misura confuso con quello di Platone, determinò una sorta di arresto nel progresso scientifico, soprattutto biologico, ma anche fisico e astronomico. Ernst Mayr arrivò a scrivere in proposito «Senza mettere in dubbio l'importanza di Platone nella storia della filosofia, devo dire che per la biologia egli fu un vero disastro. Le sue idee ebbero un'influenza negativa sulla biologia per molti secoli. La nascita del moderno pensiero biologico è, almeno in parte, l'emancipazione dal pensiero Platonico.»¹

Per assistere a una nuova rivoluzione scientifica paradigmatica bisogna arrivare fino alla metà del Cinquecento, con la pubblicazione di *De Revolutionibus Orbium Coelestium* di Niccolò Copernico (1473-1543) che, ribellandosi alle idee di Ipparco (che visse circa 150 anni prima di Cristo) e quindi dell'egiziano Tolomeo Claudio (II secolo dopo Cristo), avanzò l'ipotesi che non fosse il Sole a girare attorno alla Terra, ma che la Terra e gli altri pianeti girassero attorno al Sole. Pensare una cosa simile ai suoi tempi era estremamente pericoloso poiché la Chiesa, con la scienza ufficiale dell'epoca, sosteneva la concezione tolemaica di un universo geocentrico.

Andrea Vesalio (1514-1564)



In campo biologico numerosi grandi scienziati, pur non promuovendo rivoluzioni paradigmatiche, accelerarono sempre più il progredire delle conoscenze: tra essi dobbiamo ricordare senz'altro Vesalio e, sulla sua scia, Fabrizio di Acquapendente (1533-1619), William Harvey (1578-1657), Marcello Malpighi (1628-1694) e Robert Hooke (1635-1703) che, con Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) e Federico Cesi (1585-1630), svelò il mondo delle cose piccolissime.

A partire da questo momento il progresso delle scienze divenne un fiume in piena, e un decisivo balzo in avanti si ebbe verso la metà del secolo XIX con Charles Darwin e *L'origine delle specie*; la pubblicazione di questo libro segna la nuova rivoluzione paradigmatica che domina ancora oggi l'intero pensiero biologico.

Più o meno nello stesso periodo Gregorio Mendel fece una scoperta che avrebbe potuto anticipare le conoscenze dell'ereditarietà, e quindi della genetica, di circa cinquant'anni, ma Mendel non fu compreso.

Il progresso del pensiero scientifico e l'evoluzione biologica

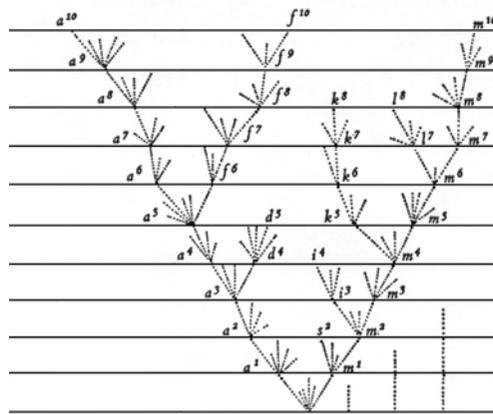
Per prima cosa vorrei soffermarmi brevemente sulla singolare analogia che si osserva tra lo sviluppo evolutivo, da un lato, e l'evoluzione delle conoscenze umane; il primo pensiero darwiniano, che si basava su un processo di gradualismo filetico di piccole modificazioni ereditarie, è stato largamente modificato sulla base delle osservazioni paleontologiche di Niles Eldredge (1942-) e Stephen J. Gould (1941-2002), che hanno portato alla formulazione della teoria degli equilibri punteggiati (*Punctuated equilibria*).

Se confrontiamo l'unica figura che appare nell'*Origine delle specie*, con il cladogramma relativo agli equilibri punteggiati, ci rendiamo conto che l'evoluzione, storicamente, si è realizzata attraverso improvvise trasformazioni anche di notevole entità, seguite da lunghi periodi di stasi, durante le quali le caratteristiche delle diverse specie si mantengono praticamente uguali.

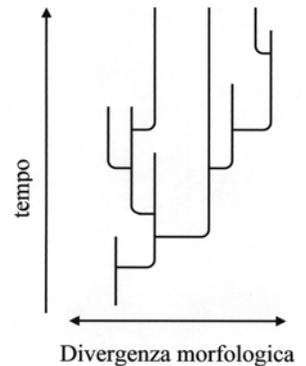
Il significato di questo fenomeno ha trovato solo recentemente una spiegazione plausibile.

Ma qualcosa del genere si verifica anche per quanto concerne lo sviluppo delle conoscenze; solo raramente gli scienziati propongono qualcosa di veramente nuovo, che modifichi cioè gli schemi mentali universalmente accettati.

Quando ciò avviene, tuttavia, uno stuolo di ricercatori si inserisce nel nuovo filone di ricerche allo scopo di approfondire, o confutare, quanto di nuovo è stato proposto, incrementando così le conoscenze nel settore specifico. In parole semplici, le idee veramente innovative sono poche, ma possono in concreto svilupparsi per il lavoro di tanti studiosi.



Esempio di gradualismo filetico: l'albero filoge-netico disegnato da Darwin



Evoluzione delle specie, secondo la teoria degli equilibri punteggiati. Il cambiamento avviene rapidamente, solo durante la speciazione, ed è seguito da un lungo periodo di stasi

Il progresso delle conoscenze e il progresso delle tecnologie

² Matthias Schleiden, *Beiträge zur Phylogenesis*. Müller's Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin, S. 137-176, 1838.

³ Theodor Schwann, *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen*. Verlag der Sander'schen Buchhandlung (G.Reimer), Berlin 1839.

⁴ Robert Hooke, *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon*. Martin and Allestry, 1665, London.

In secondo luogo vorrei anche ricordare che il progresso delle conoscenze dipende anche dal progresso delle metodologie e delle tecnologie. Tra il 1838 ed il 1839 Matthias Schleiden² e Theodor Schwann³ formularono la teoria cellulare, in base alla quale tutti gli esseri viventi, piante e animali, erano formati da speciali unità organizzate cui venne dato il nome di cellule. In realtà questo nome si deve a un più antico studioso, Robert Hooke (1665)⁴, ma le cellette del sughero da lui osservate hanno ben poco a che vedere con il concetto reale di cellula. Il XIX secolo segna l'affermazione del microscopio ottico composto nello studio della biologia, parallelamente a tutte quelle tecniche accessorie di fissazione del materiale vivente, di inclusione e di preparazione delle sezioni sottili, e infine di colorazione.

I primi tentativi di Leuwenhoek, di Hooke e di Cesi si arrestarono fatalmente di fronte alla quasi totale mancanza di metodi adeguati allo studio del materiale biologico e a un'insufficiente risoluzione strumentale; quest'ultima andò via via migliorando nel tempo, e portò alla costruzione di microscopi che oggi ci appaiono quasi come degli inutili giocattoli, difficilissimi da usare, ma che raggiunsero proprio nel secolo XIX possibilità teoriche di risoluzione non troppo dissimili da quelle attuali.

Il salto di qualità si ebbe verso il 1870, quando Ernst Abbe realizzò il suo famoso condensatore che, inclinando il fascio illuminante di luce, consentì alla lente obiettivo del microscopio di raccogliere almeno in parte i raggi diffratti del primo ordine, per cui in pratica si raddoppiò, a parità di apertura numerica dell'obiettivo, il limite di risoluzione.

Per chiarire meglio l'importanza della tecnologia nello sviluppo delle scienze si può far riferimento alla più recente rivoluzione paradigmatica in campo scientifico, quella che nasce dalla descrizione della doppia elica del DNA.

Solo nel 1944 venne dimostrato in modo chiaro che il materiale genetico era il DNA, e non le proteine, ma non tutti rimasero convinti, e la maggior parte dei biologi non si rese neppure conto dell'importanza della scoperta. Era difficile, comunque, passare da una descrizione di tipo biochimico, o genetico, a una di tipo strutturale, capace di fornire una risposta completa e integrata dei vari problemi connessi con la duplicazione e con l'ereditarietà.

In effetti, la cosa più straordinaria che la descrizione della doppia elica del DNA produsse, sta nel fatto che nella sua struttura risiedo-



Ernst Abbe (1840-1905)

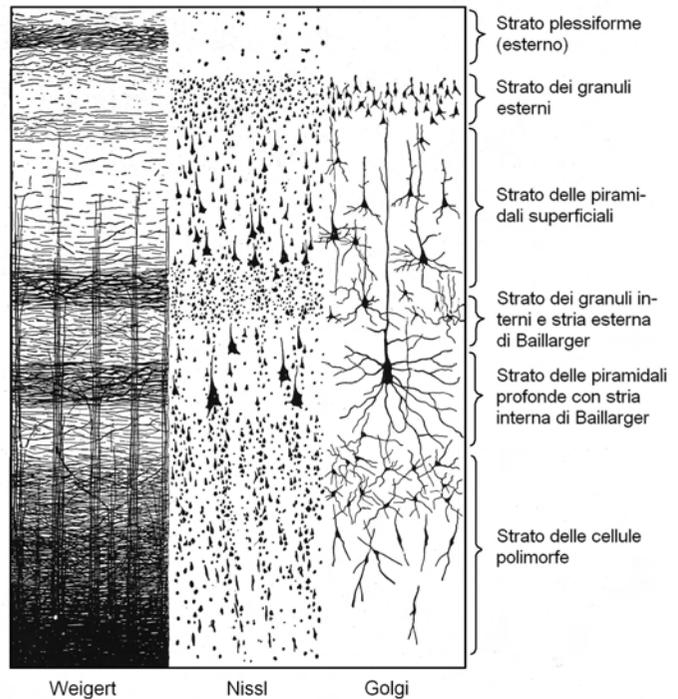
no intrinsecamente tutte le modalità di funzionamento di questa straordinaria molecola. Ma questa scoperta fu resa possibile dal fatto che William Henry Bragg, e suo figlio William Lawrence, riuscirono a risolvere i principi teorici e pratici della diffrazione dei raggi X nel 1912, fornendo agli studiosi di strutturistica molecolare il mezzo migliore per conoscere la natura delle macromolecole (i due Bragg ebbero il premio Nobel nel 1915).

La reazione nera

Ma la metodologia e le tecniche, anche più avanzate e raffinate, riescono a produrre qualche cosa solo se sono al servizio delle idee, e questa constatazione ci riporta a Camillo Golgi. Nel 1873 egli sviluppò quella «reazione nera» che doveva consentire a lui e a tanti altri studiosi di compiere i propri studi sul sistema nervoso e sull'apparato reticolare interno: si trattava di una tecnica tutto sommato semplicissima, che ebbe tuttavia un'importanza straordinaria per lo sviluppo del pensiero di Golgi, e in seguito di Santiago Ramon y Cajal, in quanto consentiva di seguire il decorso dei prolungamenti delle cellule nervose per lunghissimi tratti, e lungo le tre direzioni dello spazio.⁵

Teoria reticolare e teoria del neurone

In quel periodo la teoria cellulare di Schleiden e Schwann era universalmente accettata, ma il tessuto nervoso era considerato qualcosa di assolutamente peculiare, tanto che la sua natura cellulare era perlomeno controversa. Esistevano infatti due correnti opposte di pensiero, sorte molti anni prima della disputa tra Golgi e Cajal: una di queste proponeva che il tessuto nervoso avesse un'organizzazione reticolare, per cui tutti i diversi elementi si collegavano tra loro a formare un sistema unico e continuo (teoria reticolare), mentre l'altra sosteneva che i singoli elementi nervosi fossero delle vere e proprie cellule separate (teoria del neurone), e che la conduzione



Confronto tra le più comuni tecniche usate, verso la fine dell'Ottocento, per lo studio del tessuto nervoso

⁵ Camillo Golgi, *Sulla struttura della sostanza grigia del cervello*, Gazzetta Medica Italiana, Lombardia, &, 244-246, 1873.

⁶ Santiago Ramon y Cajal, *Neuron Theory or Reticular Theory* (1935); translation by Purkiss M.U. & Fox C.A. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Ramon y Cajal, Madrid, 1954).

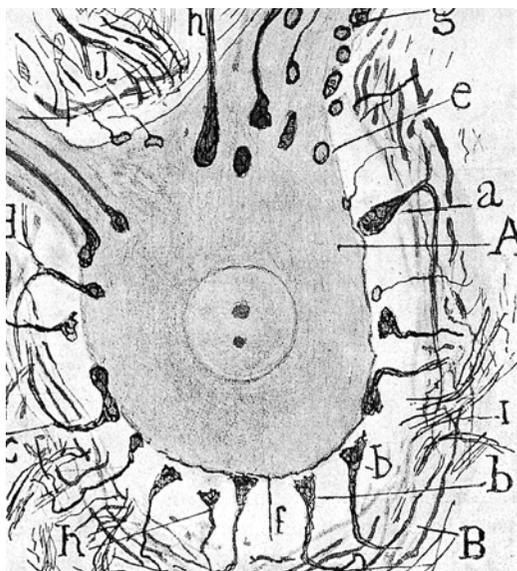


Immagine di Cajal del 1934, per dimostrare la contiguità, e non la continuità, tra i diversi elementi nervosi

dell'eccitamento nervoso si trasmettesse attraverso zone peculiari di contiguità (chiamate sinapsi solo nel 1897 da Charles Sherrington).

La diatriba tra teoria reticolare e teoria del neurone parve concludersi, a favore di quest'ultima, solo verso il 1935⁶, quando Cajal, utilizzando la tecnica della reazione nera di Golgi in modo estremamente preciso, mostrò che i depositi di bicromato d'argento riempivano completamente le arborizzazioni di un singolo neurone, ma si fermavano al limite cellulare. Egli concluse che neuroni contigui sono entità discrete,

e che i segnali tra essi dovevano superare uno spazio intercellulare. Camillo Golgi fu invece, come è noto, un acceso sostenitore della teoria reticolare, e questo fatto lo portò a condurre una battaglia abbastanza accesa con Cajal. Il vero motivo per cui Golgi sostenne sempre la teoria reticolare risiede nella sua visione, che possiamo considerare assolutamente corretta, della funzione cerebrale; in una comunicazione del 1914 egli espresse il proprio pensiero in modo preciso e appassionato, e può essere utile riferire quanto egli scrisse in questa occasione, per l'estrema modernità e attualità del suo modo di ragionare: «Quanto all'intimo meccanismo funzionale degli elementi nervosi, lungi dal poter accettare l'idea dell'individuale loro dipendenza di azione, legata al concetto di neurone, io devo ancora una volta riaffermare il mio convincimento che le cellule nervose svolgano un'azione di insieme, nel

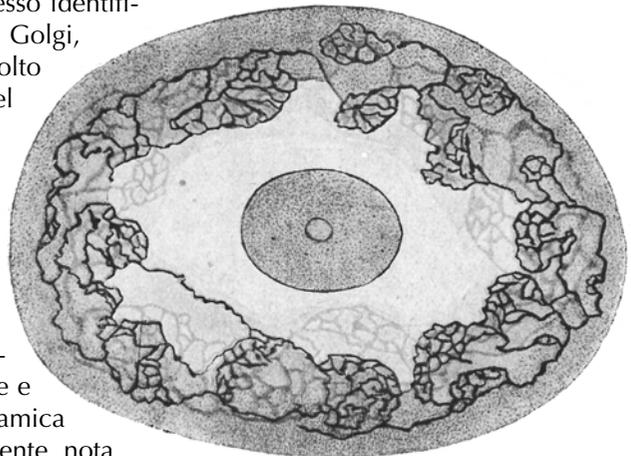
senso che, più o meno estesi gruppi - per avventura intere provincie di esse - esercitino un'azione collettiva sugli organi periferici con l'intermezzo di fasci di fibre e della rete nervosa diffusa. Analoga azione, ma in senso inverso, deve verificarsi ne' riguardi delle funzioni sensitive [...]. Comprendo come queste mie affermazioni possano urtare contro la tendenza individualizzatrice, pur ora tanto diffusa, degli elementi nervosi ed anche contro la dottrina delle localizzazioni funzionali tanto bene appoggiata dai dati sperimentali. Sia che si voglia, io non mi so scostare dal pensiero di un'azione di insieme e coordinata del sistema nervoso, né mi preoccupo se questo, in qualche modo, mi avvicina al concetto antico sul modo di funzionare del cervello.»

Ma noi oggi sappiamo che anche i reticularisti avevano valide ragioni nel sostenere il proprio punto di vista, e ciò in seguito alla scoperta delle sinapsi elettriche. La cosa appare evidente soprattutto analizzando i neuroni della retina, che possono accoppiarsi tra loro per mezzo di gruppi di sottili canali intercellulari (giun-

zioni *gap*); questo accoppiamento appare essenziale per l'accomodamento della funzione retinica quando si passa dalla luce del giorno alla visione notturna, passando per quella crepuscolare. Queste recenti osservazioni consentono di fornire un'interpretazione accurata del problema del reticularismo, con la dimostrazione che esistono giunzioni *gap* diverse che differiscono nella dimensione dei pori in differenti punti del circuito retinico, e che sono regolate da diversi secondi messaggeri. È ovvio tuttavia che questa rivalutazione del pensiero di Camillo Golgi è stata resa possibile, ancora una volta, dallo sviluppo di nuove metodologie, legate all'avvento della microscopia elettronica e dell'elettrofisiologia. Non si può dimenticare, tuttavia, che solo utilizzando il metodo di Golgi è possibile avere un'idea d'insieme delle connessioni nervose, e che pertanto tale metodo è ancora oggi indispensabile come premessa per qualsiasi studio nel campo della neurologia.

L'apparato reticolare interno

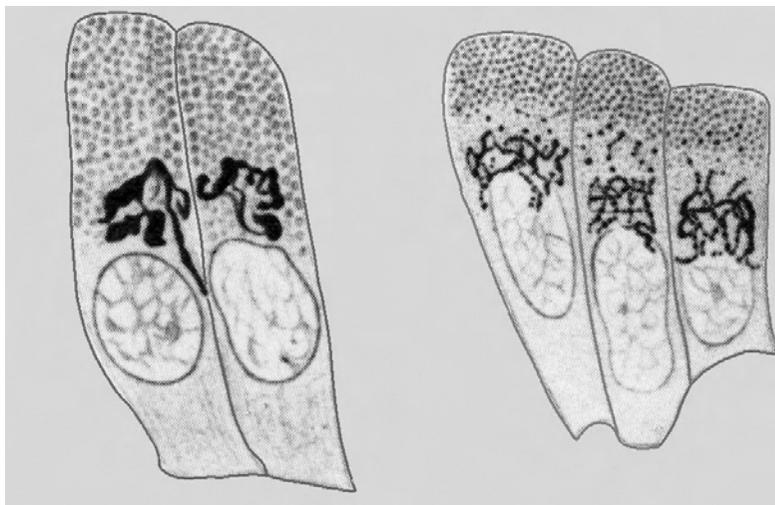
Ma la «reazione nera» di Golgi ha messo in evidenza un'altra caratteristica delle cellule, e cioè l'esistenza di un sistema apparentemente canalicolare, che viene spesso identificato ai nostri giorni con l'apparato di Golgi, ma che è sicuramente qualcosa di molto più complesso, comprendente tutto quel sistema dinamico che presiede alla circolazione endocellulare, cui è stato attribuito il nome di reticolo endoplasmatico. Golgi chiamò questo sistema apparato reticolare interno, e riversò la propria attenzione verso quella parte, più costante e strutturata all'interno del citoplasma, che la microscopia elettronica permise di descrivere e di interpretare nella sua complessa dinamica funzionale, e che oggi è universalmente nota come apparato di Golgi. Le osservazioni di Golgi, e quelle successive di un numero imprecisabile di istologi e citologi, misero in evidenza che questo apparato era un indicatore molto sensibile dello stato funzionale della cellula, in particolare legato ai fenomeni della secrezione cellulare: fin verso la metà del XX secolo gli aspetti morfologici della secrezione venivano descritti sulla base delle variazioni morfologiche dell'apparato reticolare, anche se le opinioni sulla sua reale esistenza erano molto controverse.



Apparato reticolare interno in un ganglio spinale di cavallo (Golgi, 1898)

⁷ Giuseppe Levi (1872 – 1965) fu tra i più noti istologi italiani, e fu il fondatore di una scuola nota in tutto il mondo, in cui si formarono tre famosi scienziati che furono insigniti, per le loro ricerche nel campo della biologia cellulare, del premio Nobel: Salvador Luria, nel 1969; Renato Dulbecco, nel 1975; Rita Levi Montalcini, nel 1986.

Penso che sia abbastanza interessante rileggere quanto scriveva Giuseppe Levi⁷ nell'ultima edizione del suo famoso *Trattato di Istologia* del 1947, a proposito di questi problemi: «Golgi nel 1898 scoperse nel citoplasma di cellule impregnate colla reazione cromoargentrica una struttura a forma di rete a lunghe maglie, che chiamò apparato reticolare interno. Più tardi si dimostrarono in moltissime altre cellule di vertebrati strutture reticolari, nelle cellule di invertebrati corpi discreti a forma di frammenti o di dischi, ritenuti omologhi all'apparato reticolare. In vista della *poca costanza della forma a rete, si preferì chiamarlo* apparato di Golgi. Però neppure il nome di apparato, che suggerisce l'idea di un meccanismo, mentre ciò non è, sembrò appropriato; vari autori parlano piuttosto di "corpi", altri di "materiale", altri ancora di "zona" o di "campo" di Golgi.»



Cellule della prostata di cane in diversi momenti funzionali (Van Bergen, 1904)



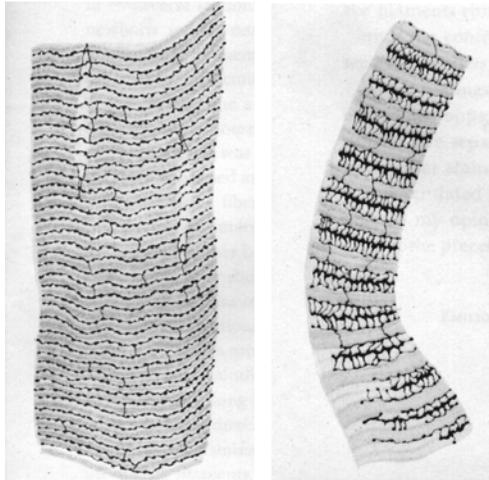
Emilio Veratti (1862-1967)

Era quella un'epoca in cui la fantasia galoppava più velocemente della possibilità reale di interpretazione delle immagini abbastanza nebuloze che la microscopia ottica, per la sua intrinseca inadeguatezza di risoluzione, era in grado di fornire; si svilupparono così le teorie più strane, ma talvolta abbastanza rispondenti alla realtà, sull'idiosoma e sui dittosomi o corpi periidiosomici, sui corpi vitellini degli oociti (che in realtà erano per lo più degli ammassi di mitocondri), sul paranucleo (o *Nebenkern*), sul «lacunoma» e persino sull'ergastoplasma, nome che rimane tuttora per indicare sistemi concentrici di cisterne appaiate del reticolo endoplasmatico rugoso. La cosa più strana è, a mio avviso, l'assoluto silenzio che circondò invece le osservazioni eccezionali di un allievo di Golgi, Emilio Veratti che, utilizzando sempre il metodo della reazione nera individuò nella fibra muscolare striata di animali diversi quel sistema

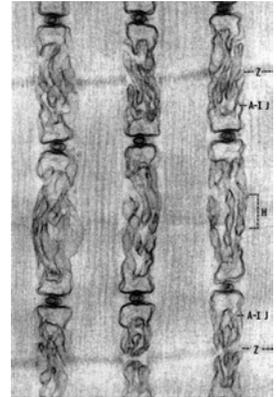
canalicolare che la microscopia elettronica rivelò cinquant'anni dopo, e che è noto con il nome di reticolo sarcoplasmatico.

Le osservazioni, ma anche l'interpretazione di Emilio Veratti sono talmente stupefacenti, da aver indotto gli organizzatori di un famoso *Simposio* dedicato appunto al reticolo sarcoplasmatico (nel 1961), a tradurre in inglese il lavoro completo di Veratti, con tutte le immagini a colori originali.⁸

Un semplice paragone tra le antiche immagini di Veratti e quelle ottenute al microscopio elettronico su materiale analogo sono sufficienti ad illustrare le potenzialità immense del metodo di Golgi nello studio dei dettagli citologici più fini.



Apparato reticolare interno in fibre muscolari, secondo Emilio Veratti



Reticolo sarcoplasmatico in un muscolo di pesce (D.W. Fawcett e J.P. Revel)

La còrea di Huntington

Camillo Golgi, come quasi tutti gli scienziati italiani dell'Ottocento e del Novecento, fu una persona molto eclettica e si interessò delle cose più disparate; tra le altre, e dico questo perché la cosa mi coinvolge emotivamente, vanno incluse le ricerche sui globuli vitellini degli oociti degli anfibi, ricerche che costituiscono l'oggetto della sua ultima pubblicazione.

Il giovane Camillo Golgi si trovò a dover affrontare, in rapporto alla sua professione di medico presso il *Pio luogo degli incurabili* di Abbiategrasso, anche il problema di quelle forme tragiche di demenza senile o parasenile di cui all'epoca non si sapeva nulla o quasi nulla, che sono in ogni caso dovute ad alterazioni degenerative del sistema nervoso. La medicina si trovava praticamente nell'impossibilità di trovare non solo rimedi, che sono ancora oggi quasi inesistenti, ma addirittura cause o semplici descrizioni accettabili.

La cosiddetta còrea di Huntington era stata appena descritta quando una persona affetta da questa grave malattia morì nell'ospedale in cui Golgi era primario; si era nel 1873 ed egli non poteva sapere che la malattia dipendeva schematicamente da un allele dominante posto su un cromosoma autosomico, ma si preoccupò di analizzarne le conseguenze sull'organizzazione

⁸ The sarcoplasmic reticulum, *J. Biophys. Biochem. Cytol*, 10, suppl., 1961; Emilio Veratti, *Ricerche sulla fine struttura della fibra muscolare striata*. Mem. Ist. Lomb., Classe sc. mat. nat., 19, 87-133, 1902.

del sistema nervoso, mettendo in luce la presenza di numerose anomalie strutturali a livello microscopico nei corpi striati e nella corteccia cerebrale e cerebellare. Sembrano cose quasi banali, ma segnarono una sorta di inversione di rotta nel modo di affrontare i problemi scientificamente, ricorrendo a indagini sperimentali piuttosto che aggrappandosi a fumose interpretazioni di tipo metafisico. Ma dopo questo doveroso omaggio all'intelligenza pragmatica di Camillo Golgi, mi sembra giusto ricordare che ancora ai nostri giorni troppa gente ragiona come se il metodo sperimentale non fosse mai stato proposto o sviluppato, e troppo spesso questo modo di ragionare è appannaggio proprio di quelle persone cui affidiamo inconsciamente la guida della società in cui viviamo.

Golgi e il plasmodio della malaria

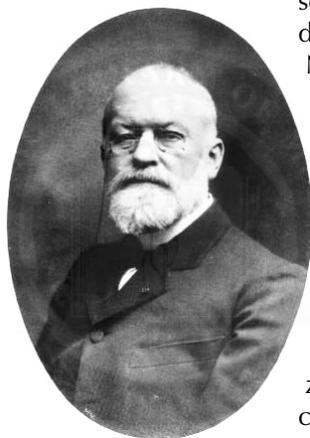
Come ultima cosa vorrei dire ancora poche parole sugli studi condotti da Camillo Golgi sulla malaria, anche perché questo mi consentirà di giustificare la presenza, nel titolo di questa chiaccherata, del termine «magia».

Nel 1880 il medico francese Alphonse Laveran vide per la prima volta il parassita malarico nel sangue di un malato, e collegò la cosiddetta malaria alla presenza di questo parassita, che ricevette il nome di plasmodio da Ettore Marchiafava e Angelo Celli, nel 1885. Tra il 1885 e il 1890 Golgi descrisse in termini appropriati il ciclo schizogonico malarico all'interno dell'ospite umano e dimostrò in maniera inequivocabile che il cosiddetto «*bacillus malariae*» con la malaria non aveva nulla a che fare.

L'intero ciclo malarico, nelle sue diverse forme, venne poi completato soprattutto ad opera di Gianbattista Grassi, con la descrizione del ciclo sporogonico all'interno dell'anofele. Raccontata così, la cosa sembra una normale vicenda di ricerca scientifica, paragonabile a tante altre; in realtà essa va inquadrata nell'epoca storica in cui si realizzò, anche tenendo conto che la malaria era una delle cause di morte più importanti, così come continuò ad esserlo per molti decenni ancora.

È presumibile del resto che ancora oggi muoiano nel mondo, a causa di questo protozoo parassita, molti milioni di persone ogni anno. Per avere un'idea dell'importanza e della gravità del problema è sufficiente comunque leggere le opere di Giovanni Verga.

Golgi era un medico, e non credo avesse delle particolari conoscenze zoologiche, ma era una delle persone che aveva lo straordinario dono di saper vedere le cose quando gli si paravano davanti; frequentemente la grandezza di uno scienziato dipende dalla sua capa-



Alphonse Laveran (1845-1922)

ciò di riconoscere l'esistenza di un fenomeno che sta sotto gli occhi di tutti ma che, non facendo parte degli schemi culturali e mentali universalmente riconosciuti, viene rigettato a livello inconscio come qualcosa di irrilevante o inutile.

Troppo spesso uomini apparentemente colti, ma privi di qualsiasi geniale fantasia scientifica, si comportano di fronte ai fenomeni della natura in modo inconcepibile; il flagello rappresentato dal bruco del cavolo (*Pieris brassicae*), all'epoca di Plinio il vecchio, veniva combattuto drizzando in mezzo ai campi un palo su cui veniva infilato un cranio di cavallo imbiancato al sole, meglio se di giumenta. Ancor ai nostri giorni, al posto del cranio di cavallo si mette un guscio d'uovo, che è di più facile collocazione; ed è pure di efficacia equivalente, cioè non serve a nulla.

L'esperienza di Golgi a proposito del plasmodio della malaria mi fa venire in mente un piccolo e grande episodio che ebbe come protagonisti Louis Pasteur e Henri Fabre; chi era Pasteur è noto a tutti, mentre non tutti conoscono Fabre, che fu invece uno dei più acuti osservatori della natura; questo umile professore ci ha lasciato i bellissimi volumi dei *Souvenirs entomologiques*, e dovrebbe essere considerato il vero fondatore dell'etologia.

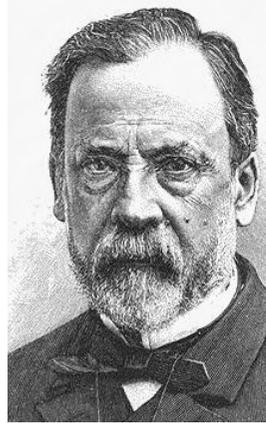
«Un giorno, all'improvviso, suonava alla mia porta Pasteur, quello stesso che doveva presto acquisire una celebrità così grande. Il suo nome mi era noto. Avevo letto il suo bel lavoro sull'asimmetria dell'acido tartarico; avevo seguito con il più vivo interesse le sue ricerche sulla generazione degli infusori».

Il giro di Pasteur nella regione avignonese aveva per oggetto la sericoltura. Da alcuni anni le bigattiere erano in disordine, devastate da flagelli sconosciuti. I bachi, senza motivo apprezzabile, cadevano in deliquescenza putrida, si indurivano in mandorle di gesso. Il contadino, atterrito, vedeva sparire una delle sue principali raccolte; dopo molte spese, bisognava gettare le camerate al letamaio.

Poche parole vengono scambiate sul male che incrudelisce, e senz'altro preambolo:

- Desidero vedere dei bozzoli - dice il mio visitatore - non ne ho mai veduti, non li conosco che di nome. Potreste procurarmene? [...]

Al mio ritorno li presento allo scienziato. Ne prende uno, lo gira, lo rigira tra le dita; lo esamina curiosamente come noi faremmo di un



Louis Pasteur (1822-1895)



Henri Fabre (1823-1915)

oggetto singolare venuto dall'altro capo del mondo. Lo agita davanti all'orecchio.

- Suona - egli dice tutto sorpreso - c'è dentro qualche cosa?

- Ma sì!

- E che, dunque?

- La crisalide.

- Come, la crisalide?

- Voglio dire quella specie di mummia nella quale si cambia il bruco prima di diventare farfalla.

Quella magnifica ignoranza mi colpì. Pasteur veniva a rigenerare il baco da seta, ignorando bruco, bozzolo, crisalide, metamorfosi.

Egli non sa niente della trasformazione degli insetti; per la prima volta viene a vedere un bozzolo e ad apprendere che in questo bozzolo c'è qualche cosa, l'abbozzo della farfalla futura; egli ignora ciò che sa il più piccolo scolaro delle nostre campagne meridionali; e questo novizio, le cui domande ingenuie mi sorprendono tanto, sta per rivoluzionare l'igiene delle bigattiere; egli rivoluzionerà ugualmente la medicina e l'igiene generale. La sua arma è l'idea, noncurante dei particolari e librantesi sull'insieme.»

L'informazione in biologia, la magia e Camillo Golgi

Siamo ormai arrivati al punto in cui conviene parlare di magia, e lo stimolo ad affrontare questo problema mi viene da una lettura di Umberto Eco.⁹

Secondo Umberto Eco «il prestigio di cui gode oggi lo scienziato è fondato su false ragioni, ed è in ogni caso contaminato dalla influenza congiunta di due forme di magia, quella tradizionale e quella tecnologica, che ancora affascinano la mente dei più. [...] Sarebbe bene che gli scienziati diffidassero per lo più di coloro che li onorano come se fossero la fonte della verità. In effetti li considerano dei maghi che però, se non producono subito degli effetti verificabili, saranno considerati dei cialtroni, mentre le maghe, che producono effetti inverificabili, ma di effetto, saranno onorate nei *talk show*.»

Ma Eco non si è interessato di quella forma particolare di «magia» che è l'essenza stessa dell'evoluzione culturale, che si accompagna a quella biologica e che ha una base scientifica altrettanto sicura. Tale forma di magia è tanto più incredibilmente produttiva quanto più innovativo è il pensiero che scaturisce dalla mente e produce informazione nel senso più elevato del termine.

In biologia, l'informazione può essere identificata facilmente con l'ordine, ed è attraverso tale ordine che si esprimono le proprietà che potremmo definire «conoscitive» degli oggetti elementari che costituiscono ogni organismo vivente. Ma l'acquisizione e il manteni-

⁹ Umberto Eco, *A passo di gambero*, Bompiani, 2006. Si tratta di un discorso tenuto a Roma nel novembre 2002 alla Conferenza Scientifica Internazionale presieduta da Umberto Veronesi, sulla informazione scientifica.

mento dell'ordine si possono ottenere solo mediante un consumo di energia, in accordo con il secondo principio della termodinamica. Questo principio ci informa sull'impossibilità che il calore si trasferisca spontaneamente da un corpo più freddo a uno più caldo, per cui in pratica non è possibile costruire una macchina capace di produrre un moto perpetuo, e non è neppure possibile operare una riduzione locale di entropia senza fornire energia: tutti sappiamo, per esempio, che non è possibile raffreddare un frigorifero se non si dispone di energia elettrica o di un'analogica sorgente di energia. Questi concetti elementari sono stati chiaramente espressi fin dal 1824 da Sadi Carnot (1796-1832), in relazione al rendimento di un motore termico che effettua un ciclo reversibile tra due condizioni termiche, una più calda e una più fredda.

L'unico sistema che apparentemente permette di superare i vincoli del secondo principio della termodinamica è quello, del tutto ipotetico, proposto da James Clerk Maxwell, probabilmente nel 1874, basato sulle proprietà di un diavolo dotato di un potere conoscitivo che gli permetteva di distinguere l'energia cinetica di singole molecole di un gas (lente o veloci).

Questo diavolo è collocato presso una porta munita di cardini senza attrito, situata sulla parete che divide in due compartimenti A e B un contenitore pieno di gas; il gas dei due compartimenti si trova inizialmente alla stessa temperatura e pressione, e tutte le molecole sono statisticamente dotate quindi di una medesima energia cinetica.

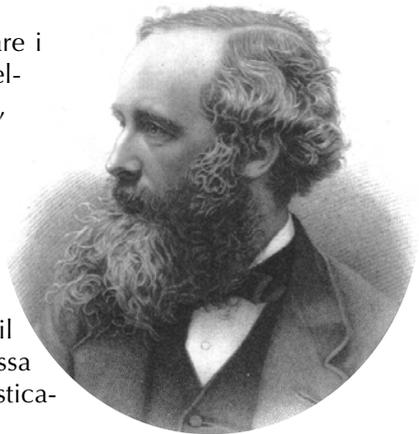
Le singole molecole, tuttavia, possono avere energie cinetiche diverse (sono cioè più lente o veloci del valore medio).

Quando le molecole «veloci» del compartimento A si presentano in corrispondenza della porta, questa viene aperta dal diavolo, per cui esse vanno al compartimento B; quando le molecole «lente» del compartimento B urtano contro la porta, questa viene aperta e le molecole passano al compartimento A.

In tal modo si riesce a trasferire al compartimento B tutte le molecole più veloci, ed al compartimento A tutte le molecole più lente, per cui si genera un gradiente termico che consente la produzione di lavoro senza consumo energetico.

In altri termini, partendo da una distribuzione omogenea delle molecole, cioè da una situazione che non permette di ricavare del lavoro, il diavolo di Maxwell riesce a ripartirle realizzando una situazione in grado di produrre lavoro, contravvenendo al secondo principio della termodinamica.

John Maddox (*Nature*, 345, 109, 1990), nella sua divertente analisi sulla possibilità teorica di incrinare tale principio ricorrendo al famoso paradosso di Maxwell, paragona la storia dei diavoletti a un



James Clerk Maxwell
(1831-1879)

episodio attribuito al re Canuto II (995-1035), molto amato dai propri sudditi e da essi considerato capace di compiere qualsiasi cosa, persino di alterare il ritmo delle maree.

Il re allora, per dimostrare che neppure a una persona della sua grandezza era concesso di modificare le cose naturali senza ricorrere alla magia, si recò su una spiaggia del mare del Nord e si lasciò bagnare i piedi dalle onde che avanzavano in conseguenza della marea crescente.

Anche Maxwell, secondo John Maddox, inventando il paradossale esperimento dei diavoletti, volle far presente che l'unico mezzo per superare i vincoli posti dal secondo principio della termodinamica, era ricorrere alla magia.

Ma la magia è estranea al mondo scientifico in generale, e al problema dell'evoluzione in particolare.

Nel 1944 Erwin Schrödinger, nel suo famoso libro *Che cos'è la vita* scriveva che gli organismi viventi si nutrono, in un certo senso, di entropia negativa per compensare l'aumento di entropia che esso stesso produce, trasferendolo all'ambiente circostante, per mantenere basso il proprio livello entropico.

L'entropia negativa, chiamata successivamente (1964) da Léon Brillouin neghentropia¹⁰ fu messa in relazione con l'informazione che caratterizza gli esseri viventi, così come era stato ipotizzato anni prima da Leo Szilard, nel 1929.



Jacques Monod (1910-1976)

Come ricorda acutamente Jacques Monod¹¹, la chiave del paradosso del diavolo di Maxwell si può riassumere brevemente dicendo che quest'ultimo, nell'esercizio delle proprie funzioni, deve consumare una certa quantità di energia poiché è in grado di misurare da un lato la quantità di energia presente in ciascuna molecola del gas, e dall'altro agire scientemente in conseguenza.

In pratica, questa serie di considerazioni porta ad affermare l'esistenza di una equivalenza precisa tra lavoro (energia) e conoscenza.

Nello scienziato capace di aprire nuovi orizzonti di conoscenza questa equivalenza si manifesta nel modo più evidente, perché le sue capacità conoscitive sono sviluppate al massimo grado, sia per effetto del mirabile gioco della ricombinazione genetica, sia per effetto del suo personale impegno, cioè del suo lavoro di studioso e di ricercatore che deve essere sostenuto dagli Enti a ciò preposti.

Ma questo è un discorso che dovrebbe essere rivolto a chi queste cose, almeno di solito, non sa e non capisce, e cioè al Ministro dell'Università e della Ricerca scientifica. ❖