

VINCENZO BALZANI

LEGGERE, SCRIVERE, RICORDARE
CON LE MOLECOLE

1. *Introduzione*

La scienza alle origini si occupava di tre branche fondamentali, Teologia, Legge e Scienze naturali, e gli scienziati un tempo si può dire che sapessero “quasi niente di quasi tutto”. Col passare dei secoli la situazione è cambiata. La scienza si è diversificata e i confini dell’ignoto si sono estesi. Al giorno d’oggi, se uno scienziato vuol fare qualcosa di interessante deve concentrarsi in un campo specifico, deve specializzarsi, con la conseguenza di sapere “quasi tutto, ma di quasi niente”. Questo accade perché si deve andare in profondità in campi molto specifici. Purtroppo succede poi che quando gli scienziati, che sanno “quasi tutto di quasi niente”, vanno a parlare di quel quasi niente che è loro campo, spesso usano un linguaggio che quasi nessuno capisce perché troppo specializzato. Per esempio, oggi fanno fatica a capirsi tra loro anche fisici e chimici, che pur si occupano di scienze confinanti.

Queste diversità non sono da stigmatizzare, anzi è bene che ci siano e che siano messe a confronto, perché il progresso della ricerca scientifica avviene proprio nelle zone di confine. La diversità è un grande valore. Il filosofo Karl Popper a questo proposito scriveva: «non credo all’opinione diffusa che, allo scopo di rendere feconda una discussione, coloro che vi partecipano debbano avere molto in comune. Al contrario, credo che più diverso è il loro retroterra e più feconda sarà la discussione». Esistono però fratture, come quella, di cui si è tanto discusso, tra la cultura umanistica e la cultura scientifica. Questa frattura è stata messa in evidenza da un professore di Cambridge, C.P. Snow, che chiedeva ai suoi colleghi scienziati se avessero letto Shakespeare e ai suoi colleghi umanisti se conoscevano il secondo principio della termodinamica. Dalle risposte incerte si accorse di questa frattura, che attribuì al fatto che gli scienziati hanno il futuro nel sangue, mentre gli umanisti guardano sempre al passato. È però una frattura che bisogna ricomporre, perché solamente conoscendo bene il passato si può capire il presente e preparare un futuro migliore. Al giorno d’oggi c’è poi un’altra frattura più preoccupante, quella tra la scienza e la società, della quale non abbiamo tempo di parlare. Volevo anche far notare che la scienza ha fatto grandi passi in questi ultimi anni, addirittura ha fatto passi così grandi che c’è qualcuno che dice che la scienza sta per finire.

Non è affatto così, perché la realtà è molto più grande di noi. Però è vero che in molti scienziati c'è l'ansia di scoprire tutto, di diventare dèi.

Per esempio, l'astronomo Stephen Hawking ha scritto un libro intitolato *La teoria del tutto*, una volta scoperta la quale non ci sarebbe più niente da scoprire. A proposito di chi dice di sapere tutto, Niccolò Machiavelli scriveva: «ci sono persone che sanno tutto, ma questo è tutto quello che sanno». Nell'ultima pagina del libro di Hawking troviamo scritto: «[...] se saremo abbastanza intelligenti da scoprire questa teoria unificata [...] decreteremo il definitivo trionfo della ragione umana poiché allora conosceremo il pensiero stesso di Dio». Frasi di questo genere mi fanno pensare che Hawking dovrebbe invece seguire il consiglio di L.J. Wittgenstein: «su ciò di cui non possiamo parlare, è meglio tacere».

Questi scienziati della teoria del tutto dovrebbero semmai pensare, come fanno alcuni loro colleghi, a tutto quello che ancora non si conosce. John Maddox, che è stato direttore di «Nature» per 23 anni, ha scritto un libro intitolato: *Che cosa resta da scoprire*. In questo libro è stata stilata una lista enorme e in continuo aggiornamento di cose che ancora non si sa bene cosa siano: cos'è lo spazio, cos'è il tempo, cos'è la materia, cos'è la luce, com'è iniziato l'universo, com'è iniziata la vita, cos'è la mente, cos'è la coscienza ecc. Per esempio, molti pensano di sapere cos'è la luce, ma lo stesso Einstein, come si legge nella sua lettera scritta a N. Besso nel 1951, alla domanda: «cosa sono i quanti di luce?», risponde: «cinquant'anni di intensa meditazione non mi hanno permesso di rispondere a questa domanda. Naturalmente oggi tante persone superficiali pensano di saperlo ma sbagliano».

Recentemente, la rivista «Sciente» ha provato ad elencare le 25 domande fondamentali che non hanno ancora una risposta. I suoi redattori si sono subito accorti, però, che 25 domande erano troppo poche, e allora ne hanno formulate 125, per concludere poi che: «l'autostrada dall'ignoranza alla conoscenza va in entrambi i sensi, man mano che la conoscenza si accumula diminuisce l'ignoranza del passato, ma affiorano nuove domande che espandono l'area dell'ignoranza che dobbiamo ancora esplorare».

La scienza in effetti si espande anno dopo anno e succede che, come ha scritto Joseph Priestley, il primo scienziato che ha indagato sulla fotosintesi: «più grande è il cerchio di luce, più grande è il margine dell'oscurità entro cui il cerchio è confinato. Ciononostante, più luce facciamo, più grati dobbiamo essere, perché ciò significa che abbiamo un maggior orizzonte da contemplare. Col tempo i confini della luce si estenderanno ancor più e, dato che la natura divina è infinita, possiamo attenderci un progresso senza fine nelle nostre indagini su di essa: una prospettiva sublime ed insieme gloriosa».

Per concludere questa introduzione, vorrei dire ai giovani: sappiate che uno scienziato non può mai affermare di aver capito tutto. Nei *Racconti* dei Chassidim di Martin Buber si legge che, se si chiede ad un sapiente: «hai acquistato conoscenza, che ti manca?» il vero sapiente risponde: «così è in verità. Se tu hai acquistato conoscenza, allora soltanto sai quel che ti manca».

La scienza, dunque, non finirà, ma ha confini e limiti:

- spiega “come”, ma non “perché” avvengono i fenomeni naturali.
- Non può dare risposte alle domande fondamentali che affiorano nell’intimo di ogni uomo: che senso ha la mia vita? Perché c’è il mistero del male? Esiste Dio? Le risposte a queste domande vanno ricercate nella filosofia e nella religione.
- Non può farci diventare più buoni.
- Non può farci vivere in un mondo più giusto.

Quest’ultimo è compito della politica. Nel *Politico* di Platone (304 a.C.) si legge: «le tecniche sanno come le cose devono essere fatte, ma non se devono essere fatte e a che scopo devono essere fatte. Per questo occorre quella tecnica regìa (*basiliké téchne*) che è la politica, capace di far trionfare ciò che è giusto attraverso il coordinamento e il governo di tutte le conoscenze, le tecniche e le attività che si svolgono nella città».

2. Le molecole

Come è noto, tutto il mondo materiale, compresi noi stessi, è costituito da atomi e molecole. Quindi, per conoscere come è fatto il mondo e come siamo fatti noi, bisogna conoscere la chimica, la scienza che studia atomi e molecole. Facciamo un esempio: come succede che sentiamo il profumo di una rosa che abbiamo in mano? Succede che i fiori emanano quelle che i chimici chiamano molecole, “oggetti” che sono centomila volte più piccoli di un granello di polvere, così piccoli che non si possono vedere, ma che hanno forme, dimensioni e proprietà specifiche. Quando le molecole emanate dalla rosa arrivano al nostro naso incontrano strutture chiamate recettori, anch’essi costituiti da molecole, che hanno la capacità di unirsi alle molecole emanate dai fiori. Quindi, se abbiamo in mano una rosa, vengono attivati i recettori specifici per questo profumo. Anche se si vuole capire come fa un albero a fare le mele, bisogna scendere, come in una zoomata, dall’albero alle foglie, alle cellule, ai cloroplasti, alle membrane tilacoidi, fino a giungere alle molecole. Solo al livello molecolare si può

razionalizzare come avviene l'interazione fra l'albero e la luce del sole.

I costituenti essenziali della materia sono gli elementi (un centinaio: carbonio, ossigeno, idrogeno, ferro ecc.). Le più piccole entità degli elementi sono gli atomi. Gli elementi sono inquadrati nel sistema periodico, o tavola periodica. Il sistema periodico è un'idea nata nel 1869 per opera del monaco russo Dimitri Mendeleev. Secondo molti, il sistema periodico è l'idea più brillante nella storia della scienza. In questa tabella viene riassunta infatti tutta la chimica e quindi esso è l'icona di tutto il mondo materiale.

In realtà nel mondo che ci circonda non si trovano in genere atomi separati, perché essi tendono a combinarsi. Potremmo schematicamente pensare che gli atomi abbiano degli uncini (nella realtà si tratta di elettroni) tramite i quali essi possano associarsi per dare origine a quelle che i chimici chiamano molecole. Le varie molecole hanno nomi specifici e formule che esprimono gli atomi che le costituiscono.

Gli atomi e le molecole sono "oggetti" molto piccoli che, presi singolarmente, non si vedono. Pensate che Goethe si opponeva all'uso del microscopio, dicendo che se c'è qualcosa che non si può vedere ad occhio nudo, non si deve andarla a vedere, perché evidentemente è nascosta per qualche buona ragione. Ora la scienza fa esattamente l'opposto di quello che dice Goethe, andando a cercare proprio tutto ciò che non si vede.

I chimici sanno da molto tempo che esistono gli atomi e le molecole. Sanno che sono "oggetti" aventi dimensioni nanometriche (il nanometro è il miliardesimo di metro). Gli atomi sono sferici. Per cercare di capire come sono fatte le molecole si possono costruire modellini tridimensionali con costruzioni simili ai lego. Si possono così vedere le differenze di composizione, dimensione e struttura delle varie molecole, incominciando da quelle con cui siamo a contatto ogni giorno: le molecole di acqua, alcool etilico, caffeina, metano, aspirina, saccarina, colesterolo ecc.

Il paragone fra materia e linguaggio. Per meglio capire cosa sono gli atomi e le molecole conviene fare un paragone fra materia e linguaggio. Il linguaggio si basa su lettere, le lettere dell'alfabeto: a, b, c ecc. Nella materia l'equivalente delle lettere sono gli atomi, idrogeno (H), carbonio (C), ossigeno (O) ecc., raccolti nel sistema periodico. Il sistema periodico è quindi l'alfabeto della materia. Nel linguaggio le lettere non si usano separate, ma associate per comporre parole, per esempio 'bicicletta'. Lo stesso succede nella materia, la quale in genere non è costituita da atomi isolati, ma da atomi associati per formare molecole: per esempio, la molecola dell'acqua, HOH (più comunemente scritta

come H_2O), è costituita da due atomi di idrogeno associati ad un atomo di ossigeno. Possiamo quindi dire che le molecole sono le parole della materia.

Le molecole sono molto piccole. In una goccia d'acqua ci sono 10^{21} molecole (1 seguito da 21 zeri). Per capire quanto è grande questo numero, facciamo due esempi. Se potessimo distribuire le molecole che sono in una goccia d'acqua in parti uguali fra tutti gli abitanti della terra, ciascuno ne riceverebbe 200 miliardi. Se dovessimo contare le molecole che sono in una goccia d'acqua, una al secondo, mi ci vorrebbero 30.000 miliardi di anni.

Continuiamo a considerare l'analogia tra linguaggio e materia. Abbiamo visto che gli atomi sono le lettere e le molecole sono le parole della materia. Nel linguaggio una parola non è sufficiente per esprimere un concetto, quindi si associano parole per costruire le frasi. Ad esempio: "la bambina va al parco col cane". Per la materia, è la stessa cosa. Associando molecole si ottengono sistemi chiamati supramolecolari, che sono le frasi della materia. Quando si forma una frase, le parole non si mettono a caso, ma in un ordine ben preciso, poiché ogni parola contiene elementi di informazione: ad esempio, nella frase citata prima *la* deve andare davanti a *bambina*. In termini informatici potremmo dire che ogni parola ha in sé un programma che diventa operativo quando è associato ad altre parole. Ecco quindi che in una frase emergono significati che non sono, e non possono essere, espressi dalle singole parole che la compongono.

Anche le molecole, come le parole, sono "programmate", nel senso che ogni molecola, essendo fatta in un certo modo con certi atomi, avendo certe dimensioni e certe proprietà, contiene elementi di informazione tramite i quali interagisce in modo specifico con altre molecole. In ogni molecola c'è un programma che si attiva nei sistemi supramolecolari. Nei sistemi supramolecolari emergono proprietà e funzioni che non sono e non possono essere presenti nelle molecole che li compongono.

Possiamo andare avanti nel paragone linguaggio-materia salendo la scala della complessità: *lettere-atomi, parole-molecole, frasi-sistemi supramolecolari, capitoli di un libro-cellule, libri-tessuti, collane di libri-organismi*, fino a *biblioteca-uomo*, che rappresentano il massimo della complessità del linguaggio e il massimo della complessità della materia.

Tutti i sistemi biologici si formano per auto assemblaggio: le cellule si associano per dare tessuti, i tessuti si associano per dare organi e così via. C'è in natura una programmazione spontanea che sbalordisce. Il nostro corpo si è formato per successivi assemblaggi di sistemi più semplici, programmati.

A questo punto può sorgere una curiosità: ci sono più lettere in una biblioteca o più atomi in un uomo? Nella biblioteca più grande che c'è, quella di Parigi, ci sono circa 10 milioni di volumi. Con un calcolo approssimativo (ogni volume supponiamo abbia circa 500 pagine, ogni pagina un certo numero di righe, ogni riga in certo numero di parole) si può stimare che in quella biblioteca ci siano 10^{13} , cioè 10 mila miliardi, di lettere. In un uomo si può stimare, invece, che ci siano circa 10^{27} atomi; 10^{27} è molto più grande di 10^{13} , è 10^{14} volte più grande. Quindi il numero di atomi in un uomo è pari al numero di lettere che ci sono in 100 mila miliardi di biblioteche. Questo ci dice quanto è complesso un uomo dal punto di vista quantitativo, senza pensare poi che gli atomi che lo compongono non sono disposti a caso (così come non lo sono le lettere in una biblioteca), ma ordinati in molecole, a loro volta ordinate in sistemi supramolecolari, organizzati in cellule, a loro volta organizzati in tessuti ecc.

La scala della complessità è molto interessante e sarebbe bello approfondire il problema degli scalini superiori; non lo faccio perché devo parlare del leggere, scrivere e ricordare con le molecole.

Leggere con le molecole. Le molecole possono essere "lette". Si tratta di analizzare una sostanza e capire da quali molecole è costituita. Lo si può fare con moltissime tecniche. Ad esempio, su una banconota, quando è irradiata con luce ultravioletta, si vedono delle stelline che servono affinché le banconote non vengano falsificate. Queste stelline sono fatte di molecole speciali, capaci appunto di farsi notare solo quando sono irradiate con luce ultravioletta. In generale, per capire quali sono le molecole che costituiscono una sostanza si invia un segnale (nel caso sopra descritto, luce ultravioletta) e la molecola, se c'è, risponde attraverso un altro segnale. Con i metodi dell'analisi chimica è possibile capire, in qualsiasi sostanza, quali molecole ci sono e quante ce ne sono.

Scrivere con le molecole. Scrivere con le molecole è una cosa semplicissima. È quanto accade, ad esempio, nella pellicola di una macchina fotografica. Qualsiasi reazione chimica "scrive" sulle molecole. Con l'analisi chimica si può vedere cosa c'è prima e cosa c'è dopo la reazione e si può capire, quindi, se, cosa e quanto si è scritto.

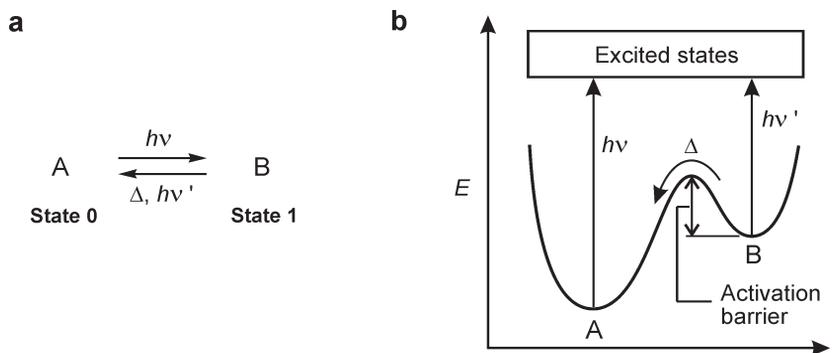
Operazioni logiche con le molecole. Le molecole possono essere usate anche per fare operazioni logiche. Per capire cos'è un'operazione logica si può fare l'esempio di un circuito elettrico costituito da una lampada, una pila e due interruttori posti in serie. Si capisce subito che la

luce si accenderà solo se entrambi gli interruttori, il primo e il secondo, vengono chiusi (logica AND). Se gli interruttori sono posti in parallelo anziché in serie, per accendere la luce basta chiudere uno o l'altro degli interruttori (logica OR). Ci sono poi altre logiche, più complicate; ad esempio, quella che deriva dal mettere gli interruttori in modo tale che la luce si accende solo se è chiuso uno solo dei due interruttori (logica XOR). Ebbene, queste ed altre operazioni logiche sono possibili anche utilizzando segnali capaci di "scrivere" e di "leggere" con le molecole. Usando questi principi, una molecola può anche essere usata per "sommare" segnali, cioè per fare dei calcoli.

3. Memorie molecolari

Le molecole possono essere usate anche per costruire memorie. Supponiamo di avere una molecola, che chiamiamo A; con uno stimolo, ad esempio luminoso, può essere trasformata (scritta) in una molecola diversa, B. Successivamente si può ritrasformare B in A. In altre parole, ci sono molecole che possono esistere in due forme diverse e che possono essere interconvertite una nell'altra mediante opportuni stimoli esterni.

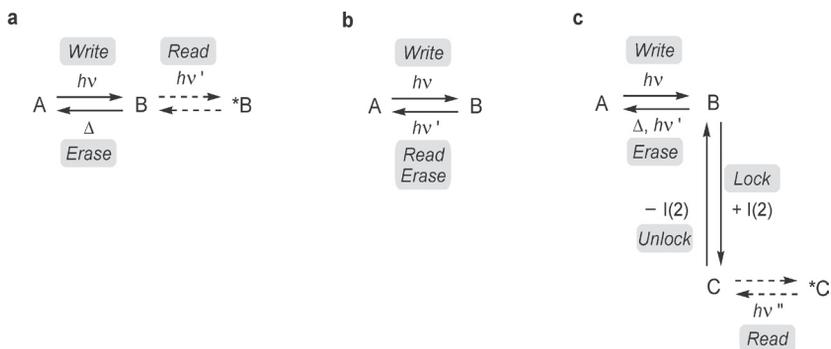
FIG. 5.1. Quando una molecola può esistere in due forme (stati) interconvertibili, può funzionare come memoria labile o come memoria permanente a seconda se, dopo essere stata convertita dallo stato iniziale A allo stato B mediante uno stimolo esterno, torna allo stato A spontaneamente o mediante un secondo stimolo selettivo



Facendo riferimento allo schema di FIG. 5.1., possiamo pensare che la molecola si trovi inizialmente in una situazione più stabile (A) dalla quale è possibile, con uno stimolo, “spostarla” in una situazione meno stabile (B). Da questa nuova situazione la molecola può tornare spontaneamente alla situazione iniziale oppure può restare dov'è finché non interviene un altro stimolo. Il primo caso corrisponde ad una memoria labile (una memoria, cioè, che viene cancellata dal tempo), mentre il secondo corrisponde ad una memoria permanente. Esistono tantissime molecole che possono esistere in diverse forme (stati) e che quindi possono essere usate come memorie.

Più in dettaglio, nei sistemi semplici è possibile avere tre casi.

FIG. 5.2. Rappresentazione schematica di memoria labile (a), vuoto di memoria (b) e memoria permanente (c) ottenuti con molecole. Per dettagli, si veda il testo



1) Si parte dalla molecola A, sulla quale si scrive. Dopo aver scritto, si verifica, leggendo, che A si sia trasformata in B. Se B torna spontaneamente ad A, si tratta di una memoria che con il tempo si cancella. Cioè di un memoria labile (FIG. 5.2a.).

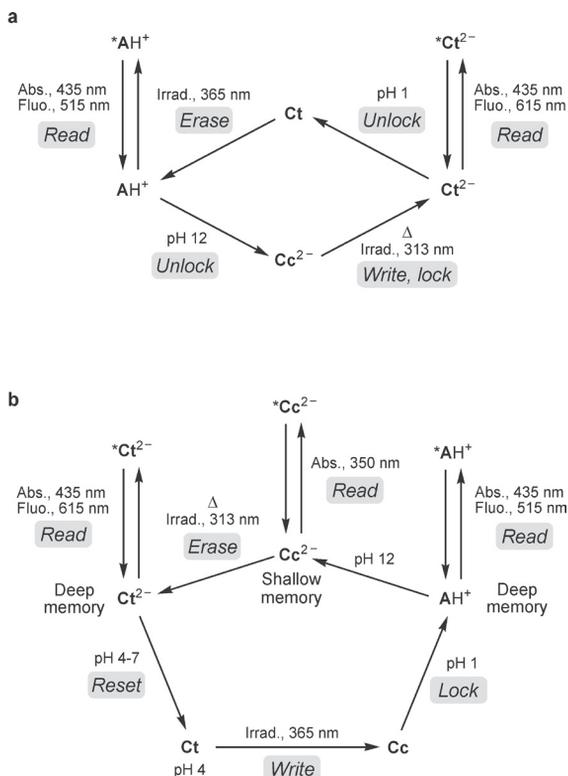
2) Può accadere che il segnale usato per leggere la molecola B ritrasformi B in A. In questo caso si può dire che è un sistema con vuoto di memoria (FIG. 5.2b.).

3) Dopo aver trasformato A in B, per evitare che l'informazione si cancelli quando si legge la molecola su cui è scritta, si può procedere con un altro stimolo che trasformare B in C. In questo caso, l'informazione è, per così dire, messa sotto chiave. In questi sistemi si può leggere tutte le volte che si vuole la presenza di B (nella forma C in cui è stato trasformato), senza cancellare ciò che è stato scritto. Si tratta quindi di una memoria permanente (FIG. 5.2c.). Poi, così come si è chiusa sotto

chiave l'informazione con uno stimolo, con un altro stimolo si può riaprire la serratura ritrasformando C in B e poi B in A. Questa operazione equivale a cancellare quello che era stato scritto. Notare che in natura è facile dimenticare, ma non è facile cancellare una memoria, anche se certi recenti farmaci sembrano agire sui topi in questo senso.

Esistono anche molecole che possono fare funzioni più complesse, per esempio interconvertirsi fra ben dieci stati. Per passare da uno stato all'altro bisogna agire con stimoli chimici diversi, ad esempio acidi o basi, oppure con stimoli fisici, come la luce. Queste molecole possono dar luogo a cicli nei quali è possibile scrivere, chiudere a chiave, leggere e cancellare informazioni. Per esempio (vedi Fig. 5.3a.) si può partire con la molecola nello stato AH^+ , trasformarla con un certo stimolo in Cc^{2-} , poi in Ct^{2-} ecc. leggendo ogni volta cosa sta accadendo, attraversando situazioni di memorie labili o profonde (Fig. 5.3b.).

FIG. 5.3. *Interconversione fra varie forme di una molecola in seguito a stimoli chimici o luminosi per scrivere, leggere, immagazzinare e cancellare informazioni*



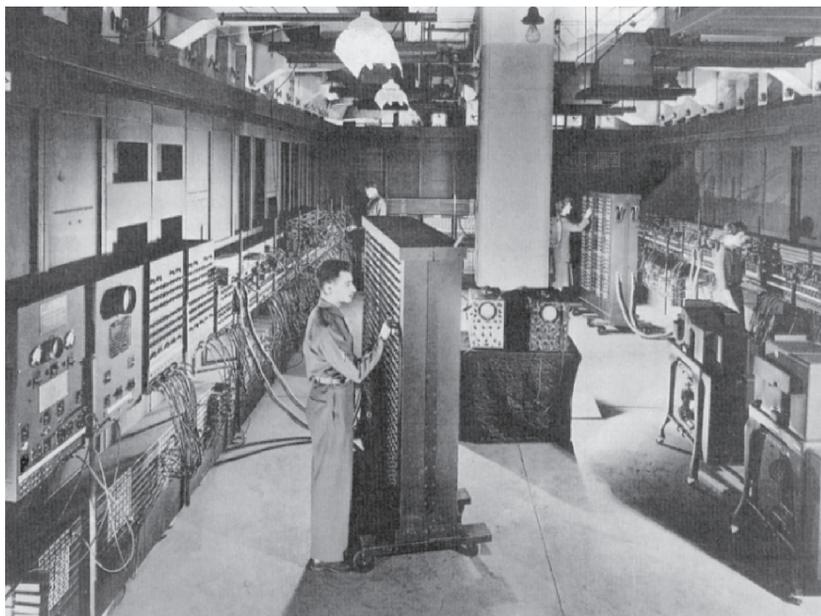
4. La miniaturizzazione

L'ultima frontiera della miniaturizzazione è la nanotecnologia. Nanotecnologia oggi è una parola molto usata, molto alla moda. Se si va a comprare certe cose, ad esempio una racchetta da tennis, per giustificare il prezzo alto ci viene detto che è un prodotto della nanotecnologia. Ho letto in una rivista americana che negli USA nanotecnologia è diventata, infatti, la parola più comune per imbrogliare la gente! In un altro libro americano ho trovato scritto che la nanotecnologia è l'ideazione di piccolissime piattaforme su cui costruire enormi quantità di denaro. Ma nanoscienza e nanotecnologia sono anche cose serie.

Il primo computer elettronico (Fig. 5.4.) risale al 1944: era grande come un appartamento, pesava 30 tonnellate, aveva 19.000 valvole (ho notato che quando parlo di valvole i giovani fanno facce strane, perché non le hanno mai viste). Come è successo che si è passati da questo enorme computer, che fra l'altro ogni mezzora si rompeva, a computer portatili che pesano meno di 2 kg, hanno 50 o più milioni di transistor, consumano pochissimo e funzionano senza mai rompersi? Tutto merito della miniaturizzazione. Con tecniche speciali come la fotolitografia si è imparato, partendo da materiali macroscopici (*top-down approach*), a costruire *microstrutture*, dove micro sta per milionesimo; strutture, quindi, aventi dimensioni di milionesimi di metro. Dentro ad un computer portatile ci sono moltissimi componenti micrometrici.

Più recentemente ci si è chiesti: "Perché non miniaturizzare ancora di più?". In effetti, come ha osservato tempo fa un fisico ben noto, Richard Feynman, «c'è un sacco di posto verso il basso» perché atomi e molecole sono molto più piccoli delle microstrutture, sono mille volte più piccoli avendo dimensioni nanometriche. Tutti lo sapevano, ma solo Feynman ci ha pensato. Ha fatto un po' di conti e ha concluso che si può scrivere tutta l'Enciclopedia Britannica sulla punta di uno spillo se si usano come lettere gli atomi e le molecole. Succede spesso, nella scienza, che in molti sappiano certe cose, ma che solo alcuni ne colgano il pieno significato. Un altro scienziato, Albert Szent-Gyorgyi, a questo proposito ha scritto: «ogni scoperta consiste nel vedere ciò che tutti hanno visto e nel pensare ciò a cui nessuno ha mai pensato».

FIG. 5.4. *Il primo computer elettronico (1944)*



Sì, c'è un sacco di posto per un'ulteriore miniaturizzazione, però c'è un problema: dall'alto è fatica arrivarci, per motivi tecnici ed economici. Allora qualcuno ha pensato: perché partire dall'alto, non si può partire dal basso? Si possono prendere molecole, che sono già oggetti di dimensioni nanometriche, e metterle assieme per fare nanostrutture (*bottom-up approach*). Si è così verificato un cambio di paradigma: anziché venir giù dall'alto, si viene su dal basso. Mentre il venir giù dall'alto è in mano agli ingegneri e ai fisici, agli scienziati che lavorano sui materiali allo stato solido, il venir su dal basso è compito dei chimici perché solo i chimici sanno trattare le molecole; per cui ai chimici si è aperta una grande strada: la nanotecnologia.

Oggi, infatti, si possono utilizzare le molecole come materiale per costruzione. Il chimico sa tutto sulle molecole, sa come usarle e quindi può fare l'ingegnere a livello molecolare. Prima di tutto deve costruire componenti molecolari adatti, molecole che hanno proprietà specifiche, per esempio capacità di assorbire la luce, di trasferire elettroni, di cambiare forma ecc. Una volta ideati e creati questi componenti, il chimico li può assemblare (se è bravo, può costruire molecole capaci di autoassemblarsi) per formare sistemi supramolecolari che sono in grado di

svolgere funzioni più pregiate di quelle che possono svolgere i singoli componenti.

Allora, dal basso o dall'alto, si faranno questi computer miniaturizzati a livello nanometrico, questi computer molecolari o computer chimici? Come saranno fatti? A tal proposito esistono due scuole di pensiero: c'è chi pensa che saranno basati sull'*elettronica molecolare* e chi pensa che saranno basati invece sulla *chemionica*.

L'elettronica molecolare in linea di principio è semplice; sfrutta lo schema dei computer attuali che operano allo stato solido ed elaborano segnali elettrici. Tutto quello che c'è nei computer attuali a livello di milionesimo di metro dovrebbe essere miniaturizzato al miliardesimo di metro. Quindi si tratta di usare molecole come fili, come porte logiche, come interruttori ecc. per elaborare segnali elettrici.

L'altra ipotesi parte dal fatto che il nostro cervello è un computer che non opera allo stato solido e non elabora segnali elettrici, ma funziona in soluzione a livello molecolare mediante scambi di segnali chimici. Ecco allora l'idea non di fare un cervello artificiale, che sarebbe impossibile, ma di utilizzare molecole "intelligenti" capaci di elaborare segnali in soluzione sotto l'azione di stimoli chimici. In questi sistemi artificiali si potrebbero utilizzare, oltre che stimoli chimici, anche stimoli luminosi (*fotochemionica*). L'elettronica molecolare è una materia molto studiata da tempo, ma con dei risultati spesso ambigui. La fotochemionica invece è un campo molto giovane e molto promettente.

5. Conclusione

Quando avremo creato computer più miniaturizzati, e quindi veloci e più potenti, per che cosa li utilizzeremo? È una domanda importante che gli scienziati, troppo spesso non si pongono, immersi come sono nella specificità delle loro ricerche e sedotti dalla bellezza della scienza. Bisogna sempre ricordare che il progresso della scienza e lo sviluppo delle tecnologia rendono le nostre mani più forti, ma non ci fanno diventare più saggi e quindi rendono il mondo più fragile. Gli scienziati dovrebbero sempre interrogarsi sul significato delle loro ricerche e, mentre creano e studiano cose nuove, dovrebbero intervenire in modo forte e autorevole per far capire ai loro studenti, ai cittadini e in particolare ai politici che la scienza va usata per la pace e non per la guerra, per alleviare la povertà e non per mantenere i privilegi, per ridurre e non aumentare le disuguaglianze fra paesi ricchi e paesi poveri e per lasciare un pianeta vivibile alle prossime generazioni.