

## **Alcune osservazioni sull'influenza delle tecnologie informatiche sul metodo scientifico.**

Lucio Russo

Le attuali tecnologie informatiche rischiano a volte di apparire prive di precedenti storici. Se però, come è logico, chiamiamo “informatiche” tutte le tecniche usate dall'uomo per memorizzare, elaborare e trasmettere informazioni, allora l'attuale rivoluzione trova il suo posto nell'ambito di una storia millenaria che comprende l'evoluzione della scrittura e degli strumenti di calcolo. Una tale prospettiva di lungo periodo è essenziale se si vuole tentare di capire come e in che misura l'attuale sviluppo tecnologico può trasformare la scienza, in quanto gli strumenti concettuali forniti dalla storia di lungo periodo divengono particolarmente importanti proprio nelle fasi di rapida evoluzione.

Va osservato che le tecniche per memorizzare informazione, anche nel campo scientifico, sin dall'antichità non si sono limitate alla scrittura, ma hanno incluso come componente essenziale il disegno (dal quale, del resto, la scrittura stessa si è evoluta). La prima forma di scienza deduttiva, che è la geometria greca, si presenta proprio come un'elaborazione teorica scaturita dalla pratica del disegno geometrico effettuato con riga e compasso. La scienza nasce cioè da un processo di astrazione che ha l'immagine come uno dei principali dati concreti di partenza. L'attuale sviluppo delle tecniche di “visualizzazione” della scienza non introduce quindi un elemento nuovo, ma tende piuttosto a invertire il rapporto tra discorso razionale e rappresentazione visiva: invece di ragionare sulle immagini, si cerca di visualizzare il ragionamento. Torneremo su questo aspetto delle attuali tendenze didattiche. Per il momento è importante sottolineare come già alle origini della scienza greca il rapporto tra pensiero astratto e tecniche per memorizzare informazione non fosse a senso unico. Le tecniche di disegno non furono usate infatti per rappresentare una scienza geometrica già costituita, ma guidarono la direzione dello sviluppo scientifico. Questo punto appare particolarmente chiaro confrontando gli sviluppi scientifici dei paesi mediterranei nel periodo ellenistico con quelli mesopotamici, ad esempio nel campo dell'astronomia. In ambedue le regioni vi fu un rapido sviluppo dell'astronomia matematica nel III secolo a.C., ma gli strumenti teorici usati furono completamente diversi: mentre nel mondo mediterraneo gravitante intorno ad Alessandria d'Egitto l'astronomia teorica si avvale essenzialmente di metodi geometrici, in Mesopotamia prevalsero i metodi numerici. La ragione di questa differenza risiede evidentemente nelle diverse tecniche usate per memorizzare i dati. L'uso sulla scrittura su papiro, che si era diffuso dall'Egitto a tutti i paesi del Mediterraneo, permetteva infatti facilmente di integrare la scrittura con disegni, realizzando così delle opere miste (oggi qualcuno direbbe “multimediali”), contenenti parole e figure in stretta relazione reciproca. In Mesopotamia la tecnica dell'incisione su tavolette d'argilla aveva condotto invece a una rapida stilizzazione dei disegni, che aveva favorito la nascita della scrittura ma era molto meno adatta alla realizzazione di disegni di precisione.

In una storia di lungo periodo l'influenza delle tecnologie "informatiche" (nel senso già specificato) sulle strutture teoriche della scienza appare quindi ovvia, risalendo all'origine stessa della scienza. Le due direzioni di sviluppo della scienza esatta, quella basata sulla geometria e quella fondata sui metodi numerici, si confrontarono anche nel campo delle tecniche di calcolo. La geometria greca poteva infatti essere usata anche per calcolare, rappresentando i dati di un problema come lunghezze di segmenti noti e le incognite come lunghezze di altri segmenti da determinare. Anche i problemi che noi chiameremmo "numerici" potevano così essere tradotti in problemi geometrici, spesso risolvibili mediante la costruzione, con riga e compasso, dei segmenti incogniti. È ben noto, ad esempio, che in questo modo è possibile calcolare la radice quadrata della misura di un segmento. Tali metodi analogici convissero tuttavia, anche nel mondo mediterraneo, con i metodi digitali basati sull'uso dell'abaco, che avevano mantenuto un ruolo quasi esclusivo in Oriente.

Il confronto millenario tra analogico e digitale raggiunse un nuovo punto di equilibrio nel mondo islamico, nel quale il recupero della geometria greca si accompagnò al recupero e allo sviluppo delle tecniche numeriche, che erano sopravvissute in regioni, come la Mesopotamia e la Persia, rimaste estranee all'impero romano, ma che, dopo la rivoluzione Abbaside, dettero un contributo essenziale allo sviluppo culturale islamico. Alcune antiche idee scientifiche si erano salvate grazie alla loro diffusione in India nella tarda Antichità e furono recuperate attraverso i contatti tra India e mondo islamico. È questo il caso della notazione posizionale, dello zero e della trigonometria, tutte nozioni rimaste estranee al mondo latino e riapparso in Europa solo grazie ai contatti con gli Arabi (cui vennero a lungo falsamente attribuite). In particolare, grazie alla mediazione di Indiani e Arabi, il "digitale" recuperò spazio nella matematica europea del Basso Medio Evo con la diffusione del sistema di numerazione posizionale.

Mentre nel Rinascimento le tecniche "geometriche" e quelle "algebriche" (che all'epoca si identificavano, in larga misura, rispettivamente con le tecniche analogiche e quelle digitali) si fronteggiarono, le seconde acquistarono rapidamente la supremazia nella prima metà del Seicento, quando la nascita della geometria analitica invertì l'antico rapporto tra problemi numerici e problemi geometrici. Invece di risolvere problemi numerici con metodi geometrici, l'espedito di associare a ogni punto le sue coordinate permise di ridurre gli stessi problemi geometrici in forma numerica. Questa rivoluzione concettuale si estese rapidamente a tutta la scienza esatta. Ad esempio la nascita dell'astronomia "moderna" consistette in larga misura nella sostituzione delle orbite ellittiche kepleriane all'antico sistema degli epicicli. Il sistema degli epicicli (usato sia nell'astronomia tolemaica sia da Copernico) è equivalente al più recente "sviluppo in serie di Fourier" ed è certamente il modo più efficiente possibile per calcolare le orbite planetarie usando un compasso e un goniometro (la precisione raggiungibile dipende dal numero di epicicli usati e può essere arbitrariamente buona). La supremazia acquisita dall'algoritmo kepleriano è dovuta quindi in larga misura, a mio parere, alla scelta di calcolare le orbite con metodi numerici e non geometrici. Si tratta quindi di una conseguenza della più generale rivoluzione concettuale cui abbiamo già accennato, che possiamo chiamare "rivoluzione numerica", della quale è importante, ai nostri fini, comprendere l'origine. Se i metodi numerici, che

per millenni si erano confrontati con alterne vicende con quelli geometrici, prevalsero improvvisamente, ciò accadde evidentemente grazie a un drastico miglioramento della loro efficienza. Spesso si è vista la ragione della supremazia acquisita dai numeri in epoca moderna nell'uso del sistema posizionale di numerazione. Si può però obiettare che il sistema posizionale, di antica origine paleobabilonese, era già stato usato sistematicamente in epoca ellenistica. Si va certamente più vicino alla verità individuando l'origine della "rivoluzione numerica" nell'uso dei logaritmi, che rese possibili per la prima volta molti calcoli numerici. Anche cronologicamente la data della pubblicazione delle prime tavole dei logaritmi (1614) caratterizza la "rivoluzione numerica" molto meglio dell'introduzione delle cifre arabe, che l'aveva preceduta di diversi secoli senza scalfire la supremazia dei metodi geometrici nei lavori scientifici.

Ci si può chiedere perché l'uso dei logaritmi si sia diffuso solo nell'Europa moderna. L'osservazione che scrivendo i numeri come potenze di una stessa base si possono semplificare le operazioni, riducendo ad esempio le moltiplicazioni a addizioni, è infatti antica, risalendo almeno ad Archimede, che la sviluppa sistematicamente nell'*Arenario*. Né Archimede né altri matematici antichi avevano però compilato tavole di logaritmi. Erano state sì compilate tavole numeriche, ad esempio di funzioni trigonometriche e di dati sperimentali ottici, ma anche in quei casi la precisione e il dettaglio erano talmente inferiori a quelli moderni da non poter mettere in discussione la superiorità dei metodi geometrici quando erano applicabili. Compilare delle tavole numeriche accurate richiede una mole di lavoro che ha senso compiere solo se sono soddisfatte due condizioni: il numero dei potenziali utilizzatori delle tavole deve essere abbastanza ampio e occorre poter garantire a ogni utilizzatore l'esattezza delle tavole fornitegli. Ambedue le condizioni potettero essere soddisfatte solo dopo la diffusione della tecnologia della stampa. Si può quindi sostenere che l'elemento veramente nuovo non fu l'idea teorica di logaritmo (già presente *in nuce* nell'Antichità), ma la possibilità di realizzare delle tavole esattamente riproducibili e di larga diffusione. Questa tesi è confermata dalla constatazione che l'uso di tavole numeriche non si limitò ai logaritmi, ma comprese la tabulazione di funzioni di varia natura, che ebbero un uso crescente non solo da parte di matematici e astronomi, ma anche, tra l'altro, di ingegneri e militari. Lo sviluppo moderno dell'artiglieria, ad esempio, prima dell'introduzione dei calcolatori si basò sullo sviluppo sistematico di tavole di tiro sempre più precise. Possiamo concludere che all'origine della rivoluzione concettuale che capovolse l'antico rapporto tra geometria e metodi numerici vi fu una rivoluzione tecnologica nel campo oggi detto "informatico", cioè nel campo della riproduzione e trasmissione dei dati.

La rivoluzione del primo Seicento ha anticipato sotto vari aspetti quella che stiamo vivendo oggi. In entrambi i casi un drastico aumento degli utilizzatori dei metodi scientifici ha reso conveniente "industrializzare" una serie di procedure matematiche, automatizzando la soluzione di problemi: nel caso del Seicento si trattò di fornire delle tavole numeriche, mentre nel ventesimo secolo si sono forniti gli strumenti fisici in grado di effettuare le operazioni.

L'attuale rivoluzione tecnologica, analogamente ai suoi precedenti storici ma in modo molto più rapido, sta modificando profondamente la struttura della scienza. In particolare i moderni calcolatori stanno influenzando in vari modi l'evoluzione

della scienza esatta.

In qualche caso i calcolatori hanno permesso di ottenere nuovi risultati rigorosi (ad esempio hanno reso possibile risolvere problemi classici come quello famoso “dei quattro colori”).

Molto più spesso con i nuovi strumenti è stato possibile trovare soluzioni numeriche (approssimate) di problemi che richiedevano anni di lavoro o erano in pratica irrisolvibili. Va sottolineato che questa nuova possibilità ha influenzato profondamente le direzioni di sviluppo della ricerca teorica, in quanto, togliendo interesse ai metodi una volta sviluppati per ottenere soluzioni “esatte” (cioè, il più delle volte, esprimibili in termini di funzioni tabulate), ha concentrato l'interesse dei ricercatori sullo studio delle caratteristiche qualitative delle soluzioni. È quanto è accaduto, ad esempio, in un settore classico dell'analisi matematica come lo studio delle equazioni differenziali ordinarie.

Una terza direzione di influenza delle nuove tecnologie sulla scienza esatta è consistita nel mettere a disposizione dei ricercatori un'enorme quantità di “fenomenologia” nuova, ponendo così dei problemi che altrimenti non sarebbe stato neppure possibile formulare. L'esempio più popolare è forse quello degli sviluppi degli studi sui sistemi dinamici a evoluzione caotica innescati dai tanti lavori numerici seguiti a quello pionieristico di Hénon del 1976.

Vi è però una quarta direttrice di influenza, probabilmente ancora più profonda. Uno dei principali banchi di prova dei moderni elaboratori è stato lo studio dei sistemi con molti componenti, che tradizionalmente hanno costituito l'oggetto della meccanica statistica. La possibilità di effettuare calcoli con molte variabili ha reso i calcolatori uno strumento indispensabile per simulare l'evoluzione di sistemi di questo tipo. D'altra parte gli stessi calcolatori (almeno alcuni delle generazioni più recenti) possono essere considerati dei sistemi con molti componenti (ciascuno rappresentato da un particolare registro di memoria) che evolvono nel tempo durante i processi di elaborazione. I ricercatori interessati a sviluppare metodi efficienti per usare gli elaboratori a scopi diversi hanno così incontrato coloro che usavano le macchine come simulatori di sistemi naturali con molti componenti. Metodi matematici nati nell'ambito della meccanica statistica hanno così finito con l'ibridarsi con l'analisi numerica e strumenti concettuali d'altro tipo, dando origine a settori nuovi, a cavallo tra la matematica, la fisica, l'ingegneria e l'informatica. Rientrano in questo ambito, ad esempio, l'uso di metodi di meccanica statistica per ripulire o riconoscere le immagini, l'intero settore delle reti neurali o anche i metodi stocastici usati per risolvere problemi di ottimizzazione. Si tratta di un vasto settore in rapido movimento che probabilmente ridisegnerà i confini disciplinari, ponendo in termini nuovi una serie di problemi anche epistemologici. La lezione della storia della scienza è d'altra parte chiara: se la matematica greca è nata dalle tecniche di disegno (e di calcolo) con riga e compasso e la tecnologia della stampa, attraverso le tavole numeriche, ha modificato profondamente i metodi scientifici, dobbiamo certamente aspettarci che una tecnologia diversa e molto più potente dia luogo anch'essa a strutture concettuali nuove.

Non bisogna essere però eccessivamente ottimisti. La possibilità di risolvere automaticamente problemi un tempo considerati difficili non sempre libera le energie intellettuali dei ricercatori indirizzandole in direzioni più creative. Spesso ci

si limita a pubblicare l'informazione ottenuta facendo lavorare la macchina, sfruttando l'inerzia intellettuale che porta a considerare ancora "scientifici" dei risultati che un tempo lo sarebbero stati, mentre ora sono divenuti solo il prodotto di un lavoro di routine (che anche quando è realmente utile non dovrebbe essere confuso con il lavoro di ricerca).

Il rischio che l'uso acritico delle nuove tecnologie possa abbassare la qualità del lavoro di ricerca è presente, in particolare, in quei campi tradizionalmente lontani dalla scienza esatta ai quali la diffusione dei calcolatori ha esteso rapidamente l'uso dell'analisi quantitativa. Ad esempio una parte notevole del lavoro filologico consiste oggi nel computo di frequenze di termini. Metodi statistici possono essere realmente uno strumento utile in filologia, ma si può immaginare che degli specialisti che riducono il proprio lavoro a una serie di conteggi non sempre conservino un chiaro ricordo dei fini per i quali i conteggi possono essere utilizzati.

Anche l'uso delle nuove tecnologie nella produzione e diffusione dei risultati scientifici pone dei problemi. Dalla fine del Seicento il principale veicolo di comunicazione dei risultati scientifici è stata la rivista scientifica. Il numero e la mole delle riviste sono però cresciuti esponenzialmente negli ultimi tre secoli, rendendo impossibile l'aggiornamento degli scienziati prima sullo scibile scientifico, poi nella propria disciplina e infine anche nella propria specializzazione. Uno strumento ideato per permettere una rapida informazione dei ricercatori sui risultati del proprio settore è stata la pubblicazione di periodici che ospitano brevissimi riassunti (*abstracts*) di tutti i lavori scientifici pubblicati. Anche la mole degli *abstracts* è però cresciuta esponenzialmente, rendendo impossibile non solo la loro lettura ma, potenzialmente, anche la loro pubblicazione su carta, data la limitatezza delle risorse forestali del pianeta. Le tecnologie attuali hanno permesso di creare delle riviste elettroniche, che potranno continuare a crescere esponenzialmente per un bel po'. La mole del materiale cresce sia per l'aumento del numero dei ricercatori, sia perché molto del materiale è ormai prodotto automaticamente. Data l'impossibilità di essere informati su tutto ciò che viene scritto, ciò può comportare la fine di quella che una volta era la "comunità scientifica" e il suo disintegrarsi in gruppi che comunicano tra loro oralmente (o per e-mail, che in una certa misura può essere considerata anch'essa una forma di comunicazione orale).

In sintesi i nuovi strumenti, ampliando enormemente sia la produzione sia l'accessibilità dell'informazione, la rendono ingestibile con i vecchi strumenti concettuali e organizzativi. Problemi analoghi si pongono per la didattica. La tendenziale sostituzione della "rete" ai libri e delle immagini alla scrittura rischia di porre gli studenti a contatto con una quantità enorme di dati scarsamente organizzati, senza fornire loro gli strumenti concettuali per dominarli. È possibile reagire in due modi diversi a questi problemi. La prima possibilità consiste nell'accettazione della disintegrazione della cultura e dell'impossibilità del singolo di orientarsi razionalmente nella Babele di dati a disposizione dell'umanità. Alcuni pensano che l'unico "cervello" in grado di gestire il flusso di informazioni sia quello, tecnologico e impersonale, costituito dalla "rete" stessa, mentre i singoli uomini potrebbero avere al più il ruolo di neuroni. La rinuncia alla razionalità si accompagna alla diffusione di atteggiamenti religiosi, di carattere feticistico, verso la tecnologia e ai progetti di dequalificazione della scuola (che dovrebbe essere

trasformata in un luogo di assuefazione all'uso passivo dei prodotti tecnologici che si useranno da adulti). La seconda possibilità consiste nello sviluppo di una cultura in grado di gestire la nuova realtà, lasciando alle macchine quelli che, grazie alle macchine stesse, sono divenuti "dettagli" inessenziali e costruendo nuove sintesi concettuali, che permettano di guidare consapevolmente lo sviluppo tecnologico e l'uso della tecnologia. Se dovesse prevalere la prima linea la stessa tecnologia entrerebbe rapidamente in crisi, poiché il feticismo può costituire una sintesi culturale adeguata all'uso passivo di videogiochi, ma non fornisce una base sufficiente per progettare né hardware né software. A meno che, naturalmente, la cultura dell'irrazionalismo e del feticismo, destinata alle masse dei consumatori, non sia fatta coesistere con una cultura superiore destinata a un sottile strato di produttori. Non è forse un caso se mentre negli Usa cominciano a diffondersi anche posizioni critiche, in Italia, dove abbiamo rinunciato alle produzioni tecnologiche avanzate, la posizione "feticista" appare al momento dominante, in particolare nei media.