

# Scienza e tecnologia: qualche spunto storico

Lucio Russo

## 1. Scienza esatta e tecnologia scientifica

La tecnologia è antica quanto l'uomo; più precisamente almeno quanto il genere *Homo*, le cui varie specie si differenziano dagli altri primati proprio per avere realizzato varie forme di industrie litiche. Né queste tecnologie né le successive, molto più complesse, sviluppate da *H. sapiens* nel paleolitico superiore e successivamente nel neolitico, in epoca protostorica e nei primi millenni della "storia" propriamente detta, hanno nulla a che vedere con la *scienza* che in nessuna di queste epoche era presente (almeno se usiamo il termine *scienza* nel senso ristretto che a me sembra preferibile). La tecnologia priva di rapporto con il pensiero scientifico, che possiamo dire *prescientifica*, continuò a esistere anche dopo la nascita della scienza e sopravvive fino ad oggi.

Mentre la tecnologia ha una lunga storia estranea alla scienza, la scienza, o più precisamente la scienza esatta, sin dalla sua nascita ha avuto uno stretto rapporto con una particolare forma di tecnologia, che può essere detta *tecnologia scientifica*.

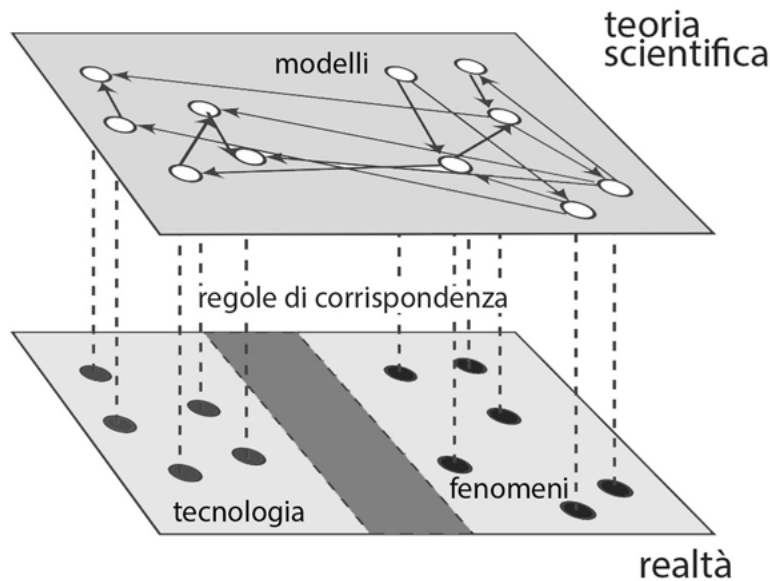
Per comprendere la natura di questo rapporto, occorre ricordare che la novità essenziale che caratterizza il metodo della scienza esatta è la presenza di *teorie scientifiche*. In altre parole, gli scienziati non si occupano solo direttamente di oggetti concreti e fenomeni osservabili, ma ne introducono *modelli* teorici, che non rispecchiano perfettamente la realtà, ma hanno il grande vantaggio che al loro interno è possibile dimostrare teoremi. Si possono cioè raggiungere conclusioni assolutamente certe, come non è mai possibile fare riguardo ai fenomeni reali, purché ci si accontenti di conclusioni *teoriche*, valide all'interno del modello, che non riflettono esattamente la realtà.

La situazione è descritta nella figura<sup>1</sup>, nella quale il piano inferiore rappresenta gli oggetti e fenomeni concreti e il piano superiore i loro modelli; le regole di corrispondenza tra i primi e i secondi sono rappresentate dalle linee tratteggiate. Nella teoria, raffigurata al piano superiore, è possibile spostarsi con il metodo dimostrativo (come non si può mai fare occupandosi direttamente di oggetti e fenomeni concreti!). È in particolare possibile partire da oggetti e fenomeni naturali o prodotti con la tecnologia prescientifica (rappresentati nella parte destra del piano inferiore), raggiungere, mediante le regole di corrispondenza, il piano del loro modello teorico, e poi, con il metodo dimostrativo, arrivare a punti privi di oggetti o fenomeni concreti corrispondenti nel piano inferiore. Avendone il modello teorico, si può allora

---

<sup>1</sup> La figura è tratta da L. Russo, *Stelle, atomi e velieri*, Mondadori Università, 2015, p. 7.

costruire la realtà corrispondente, ottenendo prodotti tecnologici progettati scientificamente, rappresentati nella metà sinistra del piano inferiore.



La tecnologia scientifica costituisce una motivazione essenziale del metodo dimostrativo, che è utile soprattutto perché aumenta enormemente la varietà degli oggetti progettabili. Non sarebbe infatti di alcuna utilità costruire complesse catene di deduzioni logiche per arrivare ad affermazioni verificabili direttamente, mentre il rigore delle dimostrazioni è essenziale per ottenere affermazioni attendibili su oggetti e fenomeni non ancora realizzati.

Non stupisce che il metodo dimostrativo nasca nel mondo greco e si sviluppi soprattutto nel periodo ellenistico, contemporaneamente alla tecnologia scientifica. Non bisogna dimenticare che la prima scienza dimostrativa, cioè la geometria sviluppata nel corso del IV secolo a.C., non era (come i moderni hanno spesso creduto) una teoria astratta dello *spazio* (concetto peraltro assente all'epoca di Euclide), ma costituiva il modello teorico di una particolare tecnica: quella dei disegni eseguibili con riga e compasso. In epoca ellenistica le scienze dimostrative si moltiplicano e sono tutte in stretta relazione con tecniche corrispondenti. L'*ottica* (ossia la scienza della visione) permette sia la progettazione di strumenti per le osservazioni astronomiche e il rilevamento topografico, come la *diottra*, e applicazioni come i riflettori usati nei fari e gli specchi ustori, sia la nascita della tecnica della *scenografia* (che include le tecniche prospettiche usate in pittura e negli scenari teatrali). La *meccanica*, come dice il nome stesso, è la teoria delle *macchine* (in particolare di quelle usate per il sollevamento dell'acqua e di carichi solidi). L'*idrostatica* permette, almeno nel caso di alcune forme semplici, di prevedere, prima di costruirlo, se uno scafo di data forma dimensioni e peso, una volta varato, galleggerà e se galleggerà in equilibrio stabile; grazie ad essa divenne possibile la progettazione

di navi di dimensioni e peso senza precedenti (le dimensioni della nave *Siracusana*, progettata con la supervisione di Archimede, saranno superate solo in epoca napoleonica).

Per millenni gli uomini avevano potuto o parlare in modo attendibile di oggetti concreti, oppure immaginare realtà possibili senza sapere come poterne valutare la realizzabilità. La scienza, permettendo di enunciare teoremi su realtà virtuali, riuscì a dare solidità a percorsi argomentativi che riguardavano realtà solo immaginate, fornendo per la prima volta rigore logico alla fantasia.

Ci si può chiedere come mai lo stretto rapporto tra scienza e tecnologia scientifica, presente sin dalla nascita della scienza esatta, sia stato a lungo misconosciuto. Credo che alla radice di questa incomprendimento vi sia stata la circostanza che, mentre gran parte delle applicazioni tecnologiche erano venute meno nella tarda antichità e nel medioevo (e a lungo lo scarso interesse degli archeologi per la tecnologia aveva reso difficile portare alla luce quelle di epoca ellenistica), le opere scientifiche sopravvissute attraverso epoche in cui tale rapporto era stato assente ci sono giunte decontestualizzate e spesso inserite (grazie a commenti e interpolazioni) in ambiti lontani dal rapporto con la tecnologia: ad esempio sugli *Elementi* di Euclide si era depositata una patina neoplatonica.

Il rapporto tra scienze esatte e tecnologia che abbiamo individuato in epoca ellenistica è stato ancora più essenziale in epoca moderna, ma è divenuto spesso meno visibile, perché mediato attraverso catene che attraversano differenti discipline e competenze. Credo, ad esempio, che la relazione tra la topologia e la tecnologia vada ricostruita attraverso una lunga catena che attraverso l'analisi funzionale e la fisica matematica giunge alla fisica teorica, alla fisica sperimentale e all'ingegneria: una catena che interessa ben poco la maggioranza dei topologi, convinti di non essere contaminati in alcun modo dal mondo materiale.

## **2. Lo stimolo fornito dalla tecnologia agli sviluppi teorici**

Il nesso tra teorie scientifiche e tecnologia non si esaurisce nell'uso di modelli teorici nella progettazione tecnologica. È forse ancora più importante il rapporto inverso, consistente nello stimolo dato dai problemi tecnologici alle teorie. È un rapporto spesso lasciato in ombra, ma essenziale per comprendere la storia della scienza e la sua relazione con gli altri aspetti della storia. È impressionante vedere, ad esempio, quanta parte della scienza esatta prodotta tra la fine del XVII secolo e l'inizio del XIX abbia avuto origine dall'esigenza di risolvere problemi relativi alla tecnologia della navigazione<sup>2</sup>. Concetti essenziali della meccanica, come quello di asse principale di inerzia, furono introdotti da

---

<sup>2</sup> Sui rapporti tra scienza e arti nautiche è utile leggere Larrie D. Ferreiro, *Ships and Science*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) & London, 2007. Vedi anche L. Russo, *Stelle, atomi e velieri*, op. cit., cap. 7.

Eulero (in particolare nella sua *Scientia navalis*, del 1749) per rendere conto del beccheggio e rollio delle navi; il calcolo vettoriale fu sviluppato per dedurre la direzione del moto dei velieri dalle direzioni dello scafo, del timone e delle vele e direzione e velocità del vento e delle correnti. Le esigenze della cartografia, soprattutto nautica, dettero origine allo studio delle mappe conformi, ossia alla teoria delle funzioni olomorfe. L'esigenza di fare il punto in mare aperto, in particolare determinando la longitudine, dette origine a varie direzioni di ricerca, tra le quali risultò infine vincente quella concernente l'orologeria, che a sua volta fornì stimoli essenziali alla meccanica. Altre ricerche intraprese allo stesso scopo produssero frutti importanti in campi diversi: ad esempio dall'idea (risalente a Galileo) di determinare la longitudine osservando i satelliti di Giove derivò, come sottoprodotto inatteso, la prima misura della velocità della luce. La tecnologia dei riflettori parabolici, creata per costruire i fari a uso dei naviganti, generò come sottoprodotto i telescopi a riflessione, che dettero un contributo determinante al progresso dell'astronomia. Non bisogna dimenticare, del resto, che anche il cannocchiale era stato ideato per le esigenze della navigazione, prima che Galileo pensasse di usarlo in astronomia. La ricerca sul moto degli scafi nell'acqua fu uno dei principali stimoli ai progressi dell'idrodinamica, nel cui ambito furono studiate, tra l'altro, le prime equazioni differenziali non lineari. Si potrebbe continuare a lungo.

All'inizio del Settecento si credeva ancora che il mondo avesse l'età di poco più di seimila anni, deducibile dalla lettura della Bibbia, mentre alla fine del secolo tutte le persone colte sapevano che l'età della Terra era incomparabilmente più lunga della storia umana. La scoperta dell'abisso dei tempi geologici ebbe una profonda ricaduta culturale, aprendo la strada alle teorie evoluzionistiche, ma spesso si dimentica che si trattò di un sottoprodotto del lavoro di tecnici minerari, che avevano sviluppato la geologia come strumento utile per individuare risorse minerarie<sup>3</sup>.

Con la prima rivoluzione industriale (e ancora più con la seconda) gli stimoli forniti dalla tecnologia alla scienza si moltiplicarono, ma spesso sono anch'essi ignorati. Pochi ricordano, ad esempio, che la famosa legge di Joule sulla potenza dissipata in un conduttore percorso da corrente fu scoperta verso il 1840 dal ricco produttore di birra James Prescott Joule (1818-1889), nel corso di studi intrapresi al fine di valutare se nella sua azienda fosse più conveniente usare macchine a vapore o i nuovi motori elettrici. Per fare solo un altro esempio, ricordiamo che la spettroscopia (che dette origine all'astrofisica e costituì uno dei principali punti di partenza della meccanica quantistica) fu iniziata dal vetraio Joseph von Fraunhofer per migliorare la qualità delle lenti da

---

<sup>3</sup> Su questo argomento è interessante leggere Paolo Rossi, *I segni del tempo*, Feltrinelli 1979, che portò all'attenzione degli studiosi e del pubblico la rilevanza culturale dell'aprirsi dell'abisso dei tempi nel XVIII secolo. Per un'esposizione tecnicamente più completa (che dà più spazio al determinante contributo dei tecnici minerari) si può leggere il più recente Martin J.S. Rudwick, *Bursting the Limits of Time: The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*, The University of Chicago Press, Chicago and London 2005.

lui prodotte riducendone l'aberrazione cromatica e fu poi sviluppata sistematicamente da Bunsen e Kirchhoff come tecnica di analisi chimica, per gli scopi dell'industria chimica tedesca.

### **3. Una riprova del rapporto tra scienza e tecnologia**

Una riprova dello stretto rapporto tra scienza e tecnologia scientifica è fornita dalla storia della ricerca scientifica europea del basso medioevo e del Rinascimento. L'interesse per la scienza fu vivo in Europa sin dalla cosiddetta "Rinascita del XII secolo", ma fino all'inizio del XV secolo gli studi "scientifici" consistettero essenzialmente nella ricerca e traduzione di testi greci (spesso in traduzione araba) e nel faticoso e lento processo di assimilazione del loro contenuto. Per fare un solo esempio, nel XIII secolo l'opera astronomica di Campano da Novara ebbe grande importanza, ma solo perché segnò una tappa essenziale verso la comprensione dell'*Almagesto* di Tolomeo. In quegli stessi secoli si rinnovò la metallurgia, si diffusero la bussola e le carte nautiche, apparvero occhiali e orologi, armi da fuoco e carta, ma nessuno di questi progressi tecnologici ebbe rapporto con l'"alta cultura". Gli studiosi di meccanica e di ottica delle università medievali discettevano sulle proprietà teoriche del moto accelerato o sulla natura della luce, senza mostrare alcun interesse per l'apparizione di orologi meccanici e occhiali, realizzati da artigiani la cui cultura era trasmessa da maestro ad apprendista nelle botteghe senza alcuna relazione con la cultura scritta. Nelle università non vi era interesse neppure per l'architettura, mentre le competenze dei costruttori di cattedrali si formavano nei cantieri, in assenza di qualsiasi studio teorico.

Il punto che qui interessa sottolineare è che in questa situazione, mentre la tecnologia rimaneva pre-scientifica, non si ottenne alcun vero risultato scientifico, con la notevole eccezione della matematica, che sin dall'inizio del Duecento aveva avuto una fruttuosa interazione con le tecniche commerciali e bancarie.

La vera scienza europea nacque nel Rinascimento italiano, quando le conoscenze teoriche dedotte dagli antichi trattati (studiati in maggiore misura e in originale grazie soprattutto all'emigrazione bizantina in Italia) si incontrarono e ibridarono con i saperi trasmessi nelle botteghe artigiane e artistiche. La teoria della prospettiva è un tipico risultato di questa nuova interazione.

### **4. Una parentesi epistemologica**

Credo che lo stretto rapporto tra le scienze dimostrative e la tecnologia scientifica possa spiegare l'annosa questione dell'*irragionevole efficacia* (per

usare le parole di Wigner<sup>4</sup>) della matematica nelle scienze della natura e, allo stesso tempo, *l'irragionevole inefficacia* della matematica in biologia<sup>5</sup>. In realtà non tutte le scienze della natura si sono avvalse sistematicamente della matematica, ma solo una: la fisica. Cosa differenzia la fisica dalle altre scienze naturali? I nomi delle discipline forniscono un primo elemento utile per rispondere: quasi tutte le scienze naturali indicano il loro oggetto nel proprio nome: è questo il caso, ad esempio, della mineralogia, della zoologia, della botanica, della citologia, dell'istologia, della geologia e della paleontologia. Il nome *fisica* è invece del tutto generico, significando solo *[scienza] della natura*: un'indicazione evidentemente non utilizzabile per distinguerla da tutte le altre scienze naturali. Un attimo di riflessione è sufficiente per convincerci che la fisica si differenzia dalle altre scienze della natura perché non è caratterizzata da un particolare oggetto, ma dal metodo. Ad esempio, gli atomi erano stati tradizionalmente un tipico oggetto di indagine della chimica, ma quando divenne possibile studiarli con il metodo tipico della fisica, nacque la *fisica atomica*. Ma in cosa consiste il metodo tipico della fisica? Si potrebbe rispondere che consiste nel costruire modelli matematici e la risposta avrebbe certamente una sua validità, ma resterebbe il problema di capire quali fenomeni siano matematizzabili e perché lo sono. Consideriamo un caso tipico di teoria fisica: l'elettromagnetismo sviluppato nel corso dell'Ottocento. Qual è stato il suo oggetto? Se ci volessimo basare sull'etimologia del nome dovremmo dire che l'elettromagnetismo studia le proprietà dell'ambra e della magnetite, ma saremmo evidentemente completamente fuori strada. Quali fenomeni naturali sono oggi considerati *elettromagnetici*? Il più facilmente osservabile, noto sin dal paleolitico, è certamente il fulmine. Se però leggiamo le descrizioni qualitative di fulmini o anche delle proprietà dell'ambra strofinata o delle calamite presenti in antiche opere come le *Naturales Quaestiones* di Seneca o anche il *De rerum natura* di Lucrezio non troviamo nulla di ciò che oggi consideriamo fisica. D'altra parte, ancora all'inizio del Novecento nessun fisico avrebbe saputo usare la teoria elettromagnetica per spiegare perché i fulmini hanno la loro forma tipicamente seghettata. L'elettromagnetismo classico non può quindi essere caratterizzato come la scienza di un dato insieme di fenomeni naturali. Se studiamo il suo sviluppo, avvenuto in massima parte nel corso dell'Ottocento, vediamo che esso è avvenuto attraverso una stretta simbiosi tra teoria, esperimenti e progressi tecnologici: questi ultimi, a partire dalla pila di Volta, si sono basati e hanno allo stesso tempo stimolato quelli sperimentali e teorici. La teoria risultante, sintetizzata mirabilmente nel trattato di Maxwell, è una teoria elegantemente matematizzata, basata su un piccolo numero di equazioni, ma non è in grado di spiegare né la forma dei fulmini né altri fenomeni facilmente osservabili oggi ritenuti di natura elettromagnetica. Ad esempio, non può essere

---

<sup>4</sup> Eugene Wigner, *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*, «Communications on Pure and Applied Mathematics», 13 (1960), pp. 1-14.

<sup>5</sup> L'osservazione è attribuita a Israel Gelfand, che l'avrebbe fatta commentando l'articolo di Wigner.

utilizzata per determinare il colore della luce emessa da un dato elemento chimico portato all'incandescenza e neppure per prevedere gli effetti di una "scossa elettrica". Spiega invece egregiamente il funzionamento di condensatori, dinamo, motori elettrici, telegrafi e una gran quantità di altri prodotti tecnologici. Si tratta cioè di una teoria unitaria e deduttiva elaborata per descrivere la tecnologia che era stata sviluppata in simbiosi con la teoria stessa. Non stupisce che fosse compiutamente matematizzata. È infatti una proprietà tipica delle teorie matematiche quella di poter dedurre dai propri assiomi tutte e sole le affermazioni che di tali assiomi sono conseguenza logica. L'essenza semi-tautologica della matematica è quindi estendibile alla fisica, che, più della "natura", è in grado di descrivere la tecnologia che essa stessa riesce a produrre. Si capisce così anche perché la biologia, che studia oggetti irrealizzabili con la nostra tecnologia (almeno fino al recente apparire delle biotecnologie), non ha potuto avvalersi della matematica se non in modo marginale.

Si può obiettare alla tesi qui sommariamente esposta che la fisica è in grado di spiegare anche fenomeni naturali del tutto estranei alla nostra tecnologia, come il colore del cielo o l'evoluzione stellare. Riesce però a farlo nella misura in cui tali fenomeni sono in parte riproducibili dalla nostra tecnologia. Ad esempio, il primo modello fisico-matematico del Sole, elaborato nel 1870 da un ingegnere interessato soprattutto alla progettazione di macchine frigorifere, Jonathan Homer Lane (1819-1880), concepiva il Sole come una macchina frigorifera invertita. L'attività stellare è stata poi concepita in modo molto più efficace come analoga a quella delle centrali nucleari, naturalmente dopo che è stata messa a punto la relativa tecnologia. Siamo abituati a proiettare nella "natura" i concetti tipici della nostra tecnologia, dall'epoca in cui Dio stesso era concepito come un sublime orologiaio a quando lo sviluppo della tecnologia informatica ha reso centrale nelle scienze della natura il concetto di informazione. Non vi è dubbio che le conoscenze così ottenute siano oggettive, in quanto il migliore sistema con cui possiamo conoscere la natura è quello di trasformarla, ma è preferibile essere consapevoli del rapporto tra scienza esatta e tecnologia, che appare essenziale alla natura stessa di tale scienza.

## 5. Il caso italiano

Il rapporto tra scienza e tecnologia scientifica fornisce una chiave di lettura particolarmente efficace della storia delle ricerche scientifiche svolte nel nostro paese<sup>6</sup>. L'Italia era stata l'epicentro della ricerca europea durante il Rinascimento e rimase uno dei maggiori centri scientifici (forse il principale)

---

<sup>6</sup> Le tesi esposte in questo paragrafo sono sviluppate più ampiamente in L. Russo, E. Santoni, *Ingegni minuti. Una storia della scienza in Italia*, Feltrinelli, 2010.

durante i primi due terzi del XVII secolo. Intorno al 1670, nell'ambito delle scienze esatte, vi è un crollo verticale dell'importanza relativa delle ricerche compiute in Italia, che non tengono più il passo con i progressi realizzati in paesi come l'Inghilterra, l'Olanda e la Francia. Spesso la causa di questo declino è stata individuata nella politica culturale della Chiesa Cattolica e in particolare nel processo a Galileo del 1633. Questa interpretazione non regge, innanzitutto per motivi cronologici. Le conseguenze nefaste del processo erano state infatti largamente riassorbite nell'arco di qualche decennio, mentre il rapido declino della scienza italiana è successivo. Nel 1666 un importante esponente della scuola galileiana, Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), pubblica la sua opera sul moto dei satelliti di Giove (*Theoricae Mediceorum Planetarum ex causis physicis deductae*). Si tratta di un contributo essenziale alla costruzione di un eliocentrismo dinamico e, più in generale, della meccanica celeste. Borelli vi sostiene infatti che il moto dei satelliti di Giove intorno al pianeta segue le stesse leggi del moto dei pianeti intorno al Sole e della Luna intorno alla Terra, basate sull'equilibrio tra forza gravitazionale e forza centrifuga. Ebbene: quando Borelli, nel 1674, per motivi politici dovette lasciare la Sicilia, si rifugiò a Roma. Evidentemente le sue teorie scientifiche copernicane non gli creavano alcun problema nei rapporti con la Chiesa. Negli stessi anni '60 uno dei maggiori astronomi europei, Giovanni Domenico Cassini, occupa la cattedra di astronomia dell'università di Bologna (nello Stato della Chiesa) senza che il suo ovvio copernicanesimo gli causi alcun problema. Nel 1670 Cassini lascia l'Italia per trasferirsi a Parigi, dove era stato chiamato dal Re Sole per dirigerne l'osservatorio astronomico da poco fondato. Non lo fa certo per sfuggire a persecuzioni, ma per le migliori condizioni della ricerca assicurate dai larghi finanziamenti dello Stato francese. In quegli anni il rapido declino della ricerca scientifica italiana può essere esemplificato in molti modi. Ricordiamo solo che le ultime notizie sull'Accademia del Cimento, della quale Borelli era stato uno dei membri più illustri, risalgono al 1669 e nello stesso anno uno dei massimi fisiologi del secolo, il bolognese Marcello Malpighi (1628-1694) cominciò a pubblicare i suoi lavori in Inghilterra, a cura della Royal Society.

Le vere ragioni del crollo italiano sono facilmente individuabili nella profonda trasformazione che in quegli anni coinvolse il rapporto tra ricerche scientifiche e problemi tecnologici. Nel Rinascimento e ancora nella prima parte del Seicento la scienza aveva tratto stimoli e applicazioni dai consumi delle élite: le arti figurative avevano stimolato l'anatomia, l'ottica e la teoria della prospettiva; la botanica (allora largamente coincidente con la farmacologia) si era sviluppata per i bisogni della medicina (all'epoca utilizzata soprattutto per i ceti abbienti); l'astronomia aveva come principale applicazione l'elaborazione di complessi oroscopi personali di principi e altri membri delle élite, e così via. Nel corso del Seicento comincia ad apparire chiara l'utilità della scienza per sviluppare tecnologie di grande interesse per la borghesia e gli Stati: in primo luogo, come abbiamo visto, la navigazione, ma anche l'artiglieria e le tecniche



necessarie per i bisogni amministrativi (dalla statistica alla cartografia). Anche in Italia gli scienziati più lungimiranti avevano cercato di mostrare l'utilità delle proprie ricerche a questi scopi (come aveva tentato di fare Galileo nei suoi rapporti con la Repubblica di Venezia), ma le grandi potenze europee si erano rapidamente dotate di strutture che le avevano poste all'avanguardia, sbaragliando la concorrenza dei piccoli Stati italiani: mi riferisco a istituzioni come la Royal Society e l'Académie des Sciences di Parigi, ai nuovi osservatori astronomici, alle riviste scientifiche.

L'Italia divenne un paese scientificamente arretrato (anche se con notevoli eccezioni, soprattutto nell'ambito della biologia, meno direttamente collegata alla tecnologia) e tale rimase fino al Risorgimento, al quale dettero un importante contributo gli scienziati, convinti che solo l'unità del paese avrebbe permesso una politica scientifica nazionale, analoga a quella dei principali paesi europei, in grado di sviluppare la ricerca necessaria per la modernizzazione della produzione e dei servizi civili.

L'Unità d'Italia portò in effetti un notevole rilancio della ricerca nel nostro paese e molti degli scienziati attivi nelle lotte risorgimentali crearono scuole che avrebbero dato i migliori risultati nelle generazioni successive. Ad esempio, il matematico Luigi Cremona (1830-1903), seguace di Mazzini e volontario nella prima guerra di indipendenza (aveva preso parte anche alla difesa della Repubblica di Venezia) fondò la gloriosa scuola italiana di geometria algebrica, che a cavallo del secolo sarebbe divenuta la prima al mondo. Francesco Brioschi (1824-1897), che aveva partecipato alle cinque giornate di Milano e nel 1850 era stato tra i rappresentanti del Comitato centrale mazziniano per la Lombardia, fondò e diresse il Politecnico di Milano, dando un contributo essenziale al rinnovamento degli studi di ingegneria in Italia, oltre ad essere per molti anni l'influente segretario generale del Ministero della Pubblica Istruzione. Stanislao Cannizzaro, che tra l'altro aveva partecipato ai moti del '48 a Palermo e per questo era stato condannato a morte dal governo borbonico, svolse un ruolo essenziale non solo nella ricerca chimica (dobbiamo a lui la determinazione dei pesi atomici), ma anche nella fondazione di una scuola di chimici che avrebbe continuato a lungo ad avere importanti risultati.

La ricerca scientifica italiana sviluppata nel cinquantennio successivo all'Unità, nonostante i suoi successi, mostra evidenti limiti proprio nell'aspetto, che qui interessa, dei suoi rapporti con la tecnologia. Il ruolo guida è svolto da matematici, che non solo ottengono i principali successi internazionali, ma guidano anche anche la nascita dei politecnici, mentre mancano gli stimoli provenienti dalla realtà produttiva, che sono essenziali in paesi come la Francia e soprattutto la Germania. La chimica italiana, ad esempio, ottiene importanti risultati grazie alle scuole fondate da Piria e Cannizzaro, ma li ottiene a Roma e Palermo, da parte di scienziati che sviluppano linee di ricerca nate in Francia, senza interazioni significative con quel po' di industria chimica e farmaceutica che nasce nell'Italia settentrionale. Anche in un campo di grande rilevanza

industriale, l'elettrotecnica, uno scienziato come Galileo Ferraris ottiene (a Torino) risultati di grande valore, ma non li brevetta e non ha alcun ruolo nella nascita della prima centrale elettrica italiana, che sorge a Milano, grazie a un accordo con Thomas Edison, con macchinari importati dagli Stati Uniti e montati sotto la direzione di tecnici americani. Per fare solo un altro esempio, è l'italiano Ascanio Sobrero a scoprire la nitroglicerina, ma sarà Nobel a renderla utilizzabile realizzando la dinamite. In generale l'essenziale rapporto tra la scienza prodotta in Italia e la tecnologia, sia nel senso degli stimoli offerti dalla seconda alle ricerche, sia nel senso delle applicazioni, si svolge all'esterno della penisola, mentre gli scienziati italiani si limitano a sviluppare, anche con risultati importanti, teorie nate altrove e che altrove troveranno applicazione.

Credo che questo limite della ricerca italiana abbia continuato a essere presente anche nelle epoche successive, anche se in qualche breve periodo (come nel secondo dopoguerra) vi sono stati seri tentativi di superarlo. Esso, sottraendo alle ricerche italiane gran parte delle ricadute economiche presenti in altri paesi, spiega allo stesso tempo la diffusa convinzione di gran parte dei ricercatori italiani della superiorità della ricerca "pura" e lo scarso interesse dei nostri imprenditori e politici per le attività di ricerca, che non hanno mai avuto finanziamenti privati paragonabili a quelli dei maggiori paesi sviluppati.

## **6. Tecnologia post-scientifica**

Il rapporto tra scienza e tecnologia, pur essendo essenziale per spiegare la nascita stessa della scienza esatta e della tecnologia scientifica, non è stato operante allo stesso modo in tutte le epoche. I progressi scientifici e tecnologici non sempre sono infatti direttamente correlati. A volte, come nel caso dell'elettromagnetismo ottocentesco, vi è una continua interazione che assicura uno sviluppo simbiotico di teoria e tecnologia. In altri casi si può accumulare un corpo di conoscenze teoriche sufficiente perché successivamente la tecnologia continui a prodursi e a modificarsi in modo autonomo. È quanto accadde dopo la conquista romana dei regni ellenistici. I romani erano molto interessati alla tecnologia, ma non alla scienza che l'aveva resa possibile. Le efficienti catapulte a torsione, ad esempio, erano state progettate sulla base di nozioni di meccanica, ma, una volta realizzate, per continuare a costruirle sembrava sufficiente imitare quelle già fatte. Analogamente la teoria della prospettiva si era sviluppata sulla base della scienza dell'ottica e aveva fornito ai pittori ellenistici precise regole da seguire nella realizzazione di dipinti e scenari teatrali, ma quando si ebbe a disposizione un vasto archivio di opere realizzate in prospettiva si poté pensare di continuare a produrne imitando semplicemente quelle esistenti e ignorando la teoria. Sorse così, dopo le tecnologie prescientifica e scientifica, un terzo tipo di tecnologia, che può essere detta post-scientifica. Essa, come quella pre-

scientifica, non usa metodi scientifici, ma adatta e ricombina elementi noti su base puramente empirica. I suoi punti di partenza non sono però oggetti naturali o manufatti tradizionali realizzati empiricamente, ma i prodotti della tecnologia scientifica delle generazioni precedenti. La tecnologia post-scientifica ha il grande vantaggio di realizzare per qualche tempo opere apparentemente indistinguibili da quelle progettate con metodi scientifici, risparmiando però le risorse impegnate nella ricerca e nell'insegnamento. Ha però un difetto: i suoi prodotti alla lunga degenerano. Ad esempio, la prospettiva di epoca romana dopo qualche tempo divenne incoerente, con molti punti di fuga, e successivamente finì con il perdersi completamente. Allo stesso modo la gittata delle catapulte in epoca imperiale continuò a decrescere, finché divennero così inefficienti che si smise di costruirle<sup>7</sup>.

## **7. Scienza e tecnologia nel nuovo millennio**

Concludiamo questo intervento con qualche considerazione sulla storia recente e la situazione attuale. L'accelerazione dello sviluppo tecnologico è sotto gli occhi di tutti, ma il suo rapporto con la scienza ha assunto caratteristiche nuove, in parte tra loro divergenti, che lasciano intravedere diversi possibili scenari futuri.

Lo stretto rapporto tra scienza e tecnologia scientifica che abbiamo già descritto per secoli aveva riguardato solo le scienze esatte. Le scienze della vita avevano ovviamente sfruttato il progresso tecnologico, almeno dal XVII secolo, ma si trattava solo di uso della tecnologia, senza che risultati scientifici nel campo della biologia contribuissero alla progettazione di tecnologia nuova. Il metodo semi-tautologico che abbiamo illustrato nel caso della fisica è infatti basato sulla deduzione a cascata di un enorme numero di conseguenze da pochi principi ed è applicabile alla tecnologia dedotta usando gli stessi principi. Poiché la descrizione esaustiva degli organismi viventi prodotti dall'evoluzione non è certo deducibile da poche informazioni, in biologia non è utilizzabile il metodo dimostrativo. Si può forse pensare che questa affermazione sia contraddetta da alcuni risultati, come la realizzazione di modelli matematici di alcune funzioni cerebrali, che aveva attirato molto interesse soprattutto negli anni ottanta del secolo scorso, ma lo sviluppo successivo delle ricerche ha sostanzialmente confermato l'inefficacia della matematica in biologia. I modelli matematici di reti neurali si sono infatti allontanati sempre più dall'obiettivo di riprodurre la fisiologia del sistema nervoso, assumendo la natura di strumenti informatici, mentre tra le discipline che hanno permesso il recente poderoso progresso delle neuroscienze la matematica ha svolto un ruolo del tutto marginale. Anche in

---

<sup>7</sup> E.W. Marsden, *Greek and Roman artillery: Historical development*, Oxford 1970.

questo caso si è così confermata la particolare efficienza della matematica nello sviluppare modelli di prodotti tecnologici. È vero che si sono aperti molti altri campi di applicazione della matematica alla biologia, ma se si esclude l'applicazione sistematica di metodi statistici standard il loro peso nel complesso delle ricerche biologiche è rimasto molto limitato.

Un cambiamento ben più radicale del quadro tradizionale è dovuto all'apparire e al rapido sviluppo delle biotecnologie, che, dal punto di vista del rapporto con la tecnologia, hanno avvicinato la biologia alle scienze esatte. In questo caso il rapporto tra la teoria e la tecnologia è però molto diverso da quello che avevamo descritto in riferimento alle scienze esatte. Le biotecnologie non si basano, infatti, sulla creazione di teorie deduttive, ma sulle analisi di enormi quantità di dati rese possibili dai nuovi strumenti informatici.

La possibilità di sostituire le teorie deduttive con l'analisi automatica, di grandi quantità di informazioni non riguarda solo la biologia, ma si è esteso a molti settori della scienza, facendo ritenere a qualcuno che la nuova frontiera rappresentata dai cosiddetti "big data" conduca al definitivo abbandono dei classici metodi scientifici. L'articolo di dieci anni fa di Chris Anderson *The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete* propone questo scenario già chiaramente nel titolo. Se la previsione di Anderson si rivelerà corretta, il rapporto tra scienza e tecnologia è destinato a esaurirsi rapidamente per l'estinzione di uno dei due termini, la scienza, che sarebbe destinata a estinguersi fagocitata dalla tecnologia. Uno scenario del tutto diverso è stato suggerito da chi ritiene che il trattamento automatico dei dati abbia raggiunto i suoi limiti se non è guidato da una visione teorica del problema affrontato.<sup>8</sup>

Il rapporto classico tra scienza e tecnologia non è stato messo in crisi solo dalla moda dei *big data*. In fisica si può osservare che, mentre un tempo la simbiosi tra scienza e tecnologia si basava sullo sviluppo sincronico dei due settori, oggi interi settori della fisica teorica, come la teoria delle stringhe e la cosmologia, non hanno alcun contatto con la tecnologia, mentre molto dello sviluppo tecnologico avviene sì sulla base di teorie fisiche, ma con un ritardo che può sfiorare il secolo. Spesso si sottolinea, ad esempio, l'uso della relatività generale nella progettazione del GPS, ma non bisogna dimenticare che la relatività generale risale all'inizio del secolo scorso.

Probabilmente la distanza crescente, in molti settori, tra ricerche teoriche e tecnologiche è stata alimentata dalla crescente distanza tra la ricerca di base, svolta in istituti di ricerca pubblici e diffusa liberamente, e la ricerca con

---

<sup>8</sup> Per il caso, particolarmente interessante, delle reti neurali, si può leggere, ad esempio: Glorot, X., & Bengio, Y., *Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks*. In "Proceedings of the thirteenth international conference on artificial intelligence and statistics", pp. 249-256 (2010).

immediata ricaduta tecnologica ed economica, svolta per conto di privati e secretata. In questa situazione una parte dell'*innovazione* tecnologica, pur basandosi su teorie scientifiche acquisite, segue logiche commerciali del tutto indipendenti dagli sviluppi della ricerca, facendo intravedere qualche preoccupante analogia con la tecnologia post-scientifica alla quale abbiamo accennato in riferimento ad altre epoche. (Si può anche notare che il termine *innovazione* tende significativamente ad affiancare, se non a prevalere su, quello di ricerca. Si tratta di un termine che sottintende che il cambiamento sia comunque da perseguire, anche se non porta alcun apparente vantaggio: un'idea nata evidentemente nel mondo del marketing dalla constatazione che il rapido susseguirsi delle mode costituisce un efficiente strumento per incrementare i consumi).

La situazione, come abbiamo già notato, comprende tuttavia aspetti contraddittori. Anche la divaricazione tra ricerche teoriche e tecnologia non è generale: in alcuni settori l'interazione tra scienza e tecnologia continua ad essere proficua, lasciando sperare che il metodo scientifico possa continuare a essere usato anche in futuro e che la previsione della "fine della scienza" non abbia un migliore fondamento della famigerata previsione della "fine della storia".