

COSA STA ACCADENDO ALLA SCIENZA?

1. Debbo dire innanzitutto che condivido l'idea di Marino Badiale che la scienza, come più in generale la cultura, attraversa una grave crisi (e che sia importante discuterne in modo non "accademico", come è possibile fare su una rivista come «Koiné»).

D'altra parte si tratta di un fenomeno né imprevedibile né nuovo. Non si tratta di un fenomeno imprevedibile perché tutte le crescite esponenziali incontrano ovviamente prima o poi un limite naturale ed è ben noto, come Badiale ricorda, che la scienza, secondo vari indici quantitativi (ad esempio il numero dei lavori scientifici pubblicati) ha continuato a crescere esponenzialmente da ormai circa tre secoli.

La scienza, anche nel senso ristretto del termine che discuterò tra poco, esiste però da molto più tempo, per la precisione da più di ventitré secoli, durante i quali i periodi di crescita si sono alternati a "catastrofi", stagnazioni e riprese parziali. Far coincidere la storia della scienza con l'ultimo periodo di crescita esponenziale (come in genere si fa, almeno implicitamente, restringendo le proprie considerazioni storiche a questo periodo) accredita l'idea che lo sviluppo esponenziale sia tipico della natura del sapere scientifico (come di quella del PIL), ma non corrisponde alla verità storica.

Per cercare di capire la natura della crisi attuale mi sembra necessario precisare innanzitutto l'oggetto della discussione. Cosa intendiamo con scienza?

2. *Cos'è la scienza? La scienza esatta.* Oggi il termine "scienza" è usato soprattutto al plurale, per indicare più o meno qualsiasi argomento, dalle "scienze della comunicazione" alle "scienze turistiche", dalle "scienze infermieristiche" alle "scienze occulte". Sopravvive però la memoria di un uso più ristretto (e quindi più utile) del termine, conservato ad esempio nell'uso del derivato "scienziato", che in genere non viene esteso ai cultori di tutte le "scienze" appena ricordate. Tra le scienze nel senso ristretto del termine sono distinguibili due gruppi. Il primo, che in mancanza di un termine migliore chiamerò "scienza esatta", ha al suo centro la matematica e la fisica, mentre le più tipiche rappresentanti del secondo gruppo (che chiamerò "scienze empiriche") sono le discipline biologiche. Si tratta di due realtà molto diverse, che oggi non stanno attraversando lo stesso tipo di crisi.

Una prima differenza che si può notare è nei nomi: mentre le scienze empiriche hanno ciascuna un nome derivato dal proprio oggetto di studio (la zoologia studia gli animali, la geologia la terra, l'istologia i tessuti, e così via) le discipline della scienza esatta hanno quasi sempre nomi dall'etimologia estremamente generica: ad esempio la "matematica" riguarda "ciò che si studia" e la "fisica" si occupa della "natura", ossia di tutto. Anche quando il nome indica un oggetto specifico, non si tratta mai del vero oggetto della disciplina: la "topologia" studia "i luoghi" più o meno allo stesso modo in cui l'elettrologia studia l'ambra. I reali oggetti di studio sono le "proprietà topologiche" e i "fenomeni elettrici", non sono cioè definibili in modo non tautologico.

La differenza nell'origine dei nomi non è casuale, ma è dovuta alla circostanza che nel caso delle discipline empiriche si sceglie a priori un oggetto di studio, mentre la "scienza esatta" non è caratterizzata dall'oggetto, ma dal metodo. Gli oggetti realmente studiati sono semplicemente tutti quelli che vengono via via raggiunti con il metodo scelto.

Le teorie della scienza esatta sono ipotetico-deduttive. In altre parole ogni teoria è costituita da assunzioni, rese, per quanto possibile, esplicite, e dalle loro conseguenze logiche. Il metodo ipotetico-deduttivo non è un metodo utile per fare scienza, poiché non fornisce né regole sulla scelta delle assunzioni né criteri per scegliere in che direzione sviluppare le teorie, né come farlo. Esso rende però possibile il controllo della validità delle teorie già sviluppate e la soluzione di esercizi formulati al loro interno. Le teorie della scienza esatta hanno fornito "modelli" del mondo reale, anche se spesso gli scienziati li hanno costruiti ritenendo di descrivere direttamente la natura. Tornerò su questo punto. Poiché il saggio di Acerbi riguarda il ruolo svolto dai modelli nella scienza ellenistica, sono esentato dal mostrare che la caratteristica che ho appena accennato è apparsa nella "scienza esatta" sin dal suo nascere.

3. *Scienza esatta e tecnologia.* La scienza esatta ha permesso di affiancare alle tecnologie empiriche (che sono antiche quanto l'uomo) la tecnologia scientifica, che usa i modelli forniti dalle teorie scientifiche come strumenti utili per la progettazione di tecnologia nuova. Credo che il suo rapporto con la tecnologia scientifica sia una caratteristica essenziale della scienza esatta, strettamente connessa alla natura ipotetico-deduttiva delle sue teorie (anche se si tratta di una connessione spesso trascurata). La coerenza logica può, infatti, essere interrotta quando si discute di oggetti reali (e quindi, in linea di principio, si può verificare la fondatezza di ogni affermazione indipendentemente dal suo legame con le altre), ma non ammette deroghe se si intende discutere coerentemente le proprietà di oggetti possibili, ma non esistenti, come è necessario fare quando si intende progettare tecnologie nuove. Le teorie della scienza esatta, permettendo di ricavare dalle proprie premesse affermazioni su oggetti non esistenti, forniscono una base essenziale alla progettazione tecnologica.

Lo stretto legame con la tecnologia è più chiaro nella scienza antica. Alcuni libri degli "Elementi" di Euclide possono essere considerati un manuale sulle possibili costruzioni con riga e compasso, realizzabili montando insieme le operazioni elementari descritte dai primi postulati. Discipline come l'antica "meccanica" o la "catottrica" sono esplicitamente le scienze, rispettivamente, delle macchine e degli specchi. Si tratta tuttavia di "scienze", in quanto anch'esse permettono di dedurre da pochi principi molte affermazioni, valide per un numero teoricamente illimitato di macchine o di specchi. In epoca moderna, anche se gli scienziati impegnati nell'obiettivo di elaborare teorie globali (come la fisica cartesiana o le attuali "teorie del tutto") possono esserne stati poco consapevoli, il rapporto tra scienza esatta e tecnologia è rimasto essenziale, ma in molti casi è divenuto meno diretto. Capita spesso che le teorie che si crede descrivano il "mondo" in realtà abbiano per proprio oggetto soprattutto la tecnologia costruita con le teorie stesse. Lo slittamento può essere occultato dalla circostanza che il mondo viene concepito come una proiezione della tecnologia che si ha a disposizione. In età moderna, grazie al meccanicismo, l'antica e umile "scienza delle macchine" fu concepita sempre più come una teoria globale del mondo. Il "mondo" studiato dalla meccanica era però esso stesso concepito come un gigantesco meccanismo, spesso paragonato ad un orologio.

All'epoca di Newton i soli fenomeni elettrici noti erano le esperienze sui corpi elettrizzati per strofinio e i fulmini. Nei due secoli successivi le teorie elettromagnetiche si svilupparono enormemente. All'inizio del XX secolo i fulmini non erano però capiti meglio che all'epoca di Newton: ad esempio non esisteva una teoria in grado di spiegarne la forma. L'elettromagnetismo era concepito come una teoria che spiegava gran parte della "natura", ma il suo reale contenuto non era costituito dalla descrizione di fenomeni naturali spontanei, ma dalle basi teoriche di una complessa tecnologia che aveva cambiato la vita dell'umanità. Oggi ci stiamo convincendo che gli aspetti essenziali della natura, inclusa quella vivente, consistano nell'elaborazione, codificazione e trasmissione di informazione. Continuiamo, evidentemente, a descrivere l'universo usando i concetti dell'ultima generazione della nostra tecnologia.

Naturalmente si tratta di descrizioni efficaci: il mondo, in qualche senso, è realmente un meccanismo, così come è realmente un fenomeno elettromagnetico e un processo informatico. L'introduzione di nuove tecnologie, fornendo nuovi strumenti per interagire con la natura, fornisce allo stesso tempo strumenti essenziali di conoscenza.

4. *Scienze biologiche (e altre scienze empiriche).* Le scienze biologiche hanno avuto tradizionalmente un rapporto solo indiretto con il metodo ipotetico deduttivo e con la tecnologia scientifica. Esse hanno, infatti, tratto dalla scienza esatta strumenti concettuali (occasionalmente) e tecnologici (sistematicamente), ma non hanno mai usato il metodo ipotetico deduttivo per ottenere i propri risultati, né sono state usate per progettare tecnologia (alla situazione radicalmente nuova creata dalle biotecnologie accennerò più avanti).

Il motivo è facilmente comprensibile: chi vuole capire, ad esempio, la fisiologia dell'udito dei mammiferi o i meccanismi del differenziamento cellulare deve certamente argomentare razionalmente, ma non può individuare poche premesse da cui dedurre univocamente la soluzione di tutti i suoi problemi. Il cultore della scienza esatta può infatti usare questo metodo solo se e in quanto l'oggetto dei propri studi è o una

costruzione intellettuale formata appunto dalle conseguenze delle premesse scelte oppure l'insieme degli oggetti tecnologici virtualmente realizzabili sulla base di poche assunzioni. Il biologo studia invece in ogni caso oggetti a lui preesistenti, prodotti da una lunga evoluzione, dovuta ad un gran numero di cause, che ha condotto anche a risultati del tutto diversi e avrebbe potuto produrne molti altri. Si tratta di una situazione per molti aspetti analoga a quella dello storico.

5. Il problema della verità. Le teorie della scienza esatta sono “vere”? L'idea che esse rispecchino fedelmente la realtà del mondo esterno è difficilmente sostenibile, anche perché tutte le teorie scientifiche riguardanti il mondo esterno finora formulate sono state contraddette da teorie scientifiche successive. La verità assoluta della scienza può quindi essere sostenuta solo da chi pensa che la storia della scienza sia costituita, in ciascun settore, da una serie di errori seguiti da una verità definitiva che pone fine alla ricerca scientifica. Si tratta più o meno dell'idea che aveva, tra gli altri, Newton, e che ai nostri tempi è stata sostenuta da Horgan in un libro di successo, certo superficiale, ma a mio parere interessante proprio per il suo candore (*The end of science*, 1996; vi si sostiene che essendo ormai note tutte le verità, il compito della scienza si è esaurito). Spesso la Verità definitiva è concepita come caratteristica di una teoria non ancora esistente, ma futura ed imminente.

In realtà non è affatto ovvio che il concetto di “verità” possa estendersi senza sostanziali modifiche dal caso delle frasi del linguaggio ordinario, riguardanti circostanze della vita quotidiana (in riferimento alle quali è nato, in opposizione a “falsità”) alle affermazioni della scienza.

Cosa significa, ad esempio, chiedersi se è vero che le onde elettromagnetiche soddisfano le equazioni di Maxwell? Se per “onde elettromagnetiche” intendiamo opportune soluzioni di tali equazioni, la risposta è ovviamente positiva ma tautologica. Con “onde elettromagnetiche” possiamo intendere ciò che provoca le sensazioni visive, è ricevuto dalle antenne televisive, agisce nei forni a microonde, e così via elencando, ma si può obiettare che, poiché qualsiasi elenco di fenomeni sarà necessariamente incompleto, non è possibile fornire una definizione di “onda elettromagnetica” che prescindendo dalla teoria di Maxwell (o da qualche altra teoria). Possiamo riformulare la domanda chiedendoci se le equazioni di Maxwell permettono di descrivere una serie di oggetti naturali, che includono, ad esempio, la luce visibile e i segnali captati dai radiotelescopi e dalle antenne televisive. In questo caso la risposta deve essere parzialmente affermativa, in quanto la teoria, pur permettendo di descrivere questi e molti altri fenomeni, non fornisce una descrizione veramente completa di nessuno di essi: ad esempio ignora l'esistenza dei fotoni. La situazione è analoga a quella di una carta geografica. Se qualcuno ci chiedesse se la carta della Cina contenuta nell'Enciclopedia Britannica è vera o falsa non potremmo scegliere tra le due possibilità: dovremmo rispondergli che essa riproduce alcune caratteristiche della Cina con una certa accuratezza e con determinati scopi. Mentre però nessuno chiede se la carta della Cina è “vera”, questa domanda è spesso posta in riferimento alle teorie scientifiche.

Le considerazioni appena fatte, come quelle precedenti sui modelli, possono apparire tipiche della posizione “strumentalista”. Il termine “strumentalismo” è però usato in diversi significati. Se per “strumentalismo” si intende la tesi che non esista un criterio di validità delle teorie scientifiche che sia indipendente dalla loro coerenza interna e dalla loro potenziale applicabilità, mi sembra che l'unica possibilità di negarlo richieda l'improbabile individuazione di un tale criterio. Per “strumentalismo” si intende invece spesso la posizione di chi accetta qualsiasi costruzione intellettuale, anche incoerente, purché “funzioni”, purché cioè permetta di ottenere risultati pratici.

Nella seconda metà del XX secolo tra i filosofi e storici della scienza (molto meno tra gli scienziati!) si sono diffuse forme di totale relativismo. Si è cioè diffusa la convinzione che l'affermarsi delle teorie scientifiche non sia determinato dalla loro coerenza e capacità di spiegare i fenomeni, ma dipenda dal consenso della comunità scientifica determinato da una serie di complessi fattori culturali e sociali. La scienza è stata così tendenzialmente inclusa tra gli argomenti di pertinenza dei sociologi.

Nella metafora cartografica, il totale relativismo può essere descritto come la posizione di chi, avendo capito che i metodi cartografici, pur essendo basati su teorie geometriche e accurate misure delle coordinate delle località rappresentate, non sono univocamente determinati dalla geografia, ma

dipendono anche da scelte determinate dalle tradizioni culturali, ne conclude che non vi sia differenza tra la cartografia scientifica e le rappresentazioni qualitative e mitiche della realtà geografica.

6. *Divulgazione scientifica e imposture intellettuali.* Credo che le considerazioni precedenti aiutino a capire perché, mentre non è difficile trovare opere di divulgazione che informano anche su risultati recenti di molti argomenti delle scienze empiriche in modo almeno approssimativamente corretto, lo stesso risultato sia quasi impossibile nel campo della scienza esatta. In questo secondo caso il divulgatore non può illustrare argomenti interni ai modelli scientifici, non solo perché spesso non è consapevole della differenza tra modello e realtà modellata, ma soprattutto perché il pubblico non lo seguirebbe, in quanto il discorso “teorico”, per sua natura, non può essere tradotto nel linguaggio ordinario senza essere snaturato. In uno dei best-seller della divulgazione scientifica, che può essere considerato un classico nel suo genere, dovuto peraltro ad un vero “scienziato” (Stephen Hawking, *Dal Big Bang ai buchi neri*) è scritto:

Le teorie delle corde presentano un problema: esse sembrano consistenti solo se lo spazio-tempo ha dieci o venti dimensioni, in luogo delle solite quattro! Ovviamente dimensioni extra dello spazio-tempo sono un luogo comune della fantascienza, dove in effetti esse sono quasi una necessità [per rendere possibili viaggi intergalattici attraverso “scorciatoie” spazio-temporali]. ... Perché non percepiamo tutte queste dimensioni extra, se esistono veramente? ... Il suggerimento è che le altre dimensioni siano arrotolate in uno spazio di dimensioni piccolissime, dell’ordine di un pentilione di centimetro. Si tratta di uno spazio così piccolo che non abbiamo assolutamente alcuna possibilità di percepirlo.

La teoria delle stringhe (o delle corde) è stata elaborata come modello teorico di una complessa fenomenologia, esplorata dai fisici con strumenti tecnologici raffinati. Il divulgatore non può spiegare né la struttura interna della teoria (per le insormontabili difficoltà matematiche) né la fenomenologia di cui costituisce il modello. Egli può solo accennare a singoli elementi della teoria, come le dimensioni extra. Questi elementi, avulsi dalla teoria in cui svolgono il proprio ruolo, vengono presentati come oggetti concreti ma impercipienti. L’unica “fenomenologia” che può essere invocata per aiutare il lettore è quella offerta dalla fantascienza. Si trasmette in questo modo l’esatto opposto dell’antica idea che le teorie servissero a “salvare i fenomeni”. Il profano deve imparare che ciò che esiste veramente può essere appreso solo attraverso la mediazione di iniziati che hanno accesso all’impercipientibile.

Spesso al grande pubblico, che non può entrare nel merito delle teorie scientifiche, arrivano idee suggerite semplicemente dalla terminologia usata. Un tempo si trattava soprattutto di fraintendimenti ingenui (ad esempio di chi immaginava che Einstein avesse sostenuto che “tutto è relativo”). Più recentemente si sono diffuse sia le “imposture intellettuali” (illustrate nell’omonimo libro di Bricmont e Sokal) create da non-scienziati usando un linguaggio pseudo-scientifico per intimidire i colleghi, sia vere teorie scientifiche formulate dai loro autori con una terminologia adatta a prepararne usi impropri ed ideologici.

7. *La crisi attuale.* Badiale suggerisce che la colpa della crisi attuale possa essere del capitalismo. Capisco e condivido l’angoscia di vivere in una società che misura il valore di qualsiasi cosa, conoscenza compresa, in termini del danaro che se ne può ricavare. Non mi sembra però che la categoria “capitalismo” sia utile per interpretare il fenomeno di cui stiamo parlando. I tre secoli in cui abbiamo avuto lo sviluppo esponenziale della scienza che oggi è entrato in crisi sono stati i secoli in cui il capitalismo è sorto e si è sviluppato. Dovremmo concluderne che la scienza è stata per tre secoli un merito del capitalismo prima che la sua crisi divenisse una sua colpa? D’altra parte due catastrofi culturali che abbiamo conosciuto in tempi recenti sono state la rivoluzione culturale cinese (che in Cina ha interrotto ogni attività di produzione culturale e di didattica superiore per decenni) e il crollo della scuola scientifica russa. A chi dobbiamo darne la colpa?

Abbiamo visto che la scienza esatta ha sempre avuto un rapporto essenziale con la tecnologia. Si è trattato però di un rapporto complesso e indiretto. Lo scienziato, in quanto tale, non produceva tecnologia reale, ma esplorava possibilità e limiti di tecnologie virtuali. Debbo fare una parentesi. Può sembrare che le mie affermazioni su quella che ho chiamato “scienza esatta” riguardino la fisica e non la matematica. In realtà la matematica antica non conosceva l’attuale differenza tra le due discipline: non solo Archimede, ma anche Euclide, in geometria come in ottica, era impegnato nella costruzione di modelli di fenomeni reali. Lo stesso si può dire, in epoca moderna, di Fourier o di Poincaré, e oggi dei fisici matematici o dei probabilisti. In altri casi i matematici moderni non hanno avuto un rapporto diretto con la modellizzazione dei fenomeni, ma solo perché hanno studiato caratteristiche comuni a molti modelli; l’esistenza di un filo continuo che lega saldamente, anche se indirettamente, i risultati matematici al mondo reale è dimostrata dalla funzione essenziale svolta dalle applicazioni fisiche nello stimolare anche teorie apparentemente astratte della matematica del XX secolo.

La catena che può essere descritta approssimativamente dagli anelli matematica-fisica-tecnologia-economia ha funzionato bene per più di due secoli, fornendo in una direzione risultati da applicare e nella direzione opposta stimoli alla ricerca.

Il rapporto scienza-tecnologia scientifica non richiede però uno sviluppo sincronico dei due termini. Un periodo storico in cui lo sviluppo scientifico è strettamente collegato allo sviluppo delle applicazioni (come è stato, ad esempio, quello della seconda rivoluzione industriale) può essere seguito da un altro in cui la tecnologia può evolvere autonomamente dalla ricerca di base, essendosi accumulata una riserva sufficiente di teorie scientifiche.

Ciascuno degli anelli della catena precedente tende d’altra parte a crescere esponenzialmente non solo per la crescita degli anelli cui è collegato, ma anche per spinte interne. La scienza, in particolare, tende a crescere non solo per la crescente richiesta di risultati applicabili, ma anche per le autonome esigenze di espansione del ceto dei ricercatori (che negli ultimi decenni è cresciuto tanto da acquistare un notevole peso politico).

Supponiamo che ad un certo punto la ricaduta applicativa non sia riuscita a seguire la crescita esponenziale della scienza esatta. Quest’ipotesi richiederebbe una verifica difficile, perché gli scienziati hanno interesse a negarla, ma vari elementi fanno pensare che essa corrisponda alla realtà. Se ci chiediamo su quale teoria fisica o matematica siano fondati i progressi tecnologici dei nostri giorni, probabilmente nella maggioranza dei casi troviamo conoscenze che erano già note una cinquantina di anni fa (mi riferisco alle basi teoriche, e non agli sviluppi relativi alle particolari applicazioni). Ricordiamo, per fare un solo esempio, che lo sviluppo dell’elettrotecnica aveva invece accompagnato senza iati temporali rilevanti lo sviluppo teorico dell’elettromagnetismo. Il crollo delle iscrizioni ai corsi in matematica e fisica, che da diversi anni riguarda tutto il mondo occidentale, fa pensare che del fenomeno esista una percezione diffusa. Anche la circostanza che uno dei due principali centri della scienza esatta, quello russo, sia stato cancellato d’un tratto (come conseguenza, e non come causa, di una crisi economica e politica) fa pensare che esso fosse sovradimensionato rispetto al suo ruolo economico.

Nell’ipotesi fatta, quale sarebbe stata la risposta della comunità scientifica? È facile immaginare che non sarebbe stata l’autolimitazione volontaria del proprio sviluppo. Ai cultori della “scienza esatta” rimasti privi di sbocchi applicativi si sarebbero aperte essenzialmente tre strade:

1) *mutare il proprio rapporto con la teoria*, divenendo tecnologi, sviluppando cioè applicazioni tecnologiche di teorie scientifiche già note. Si tratta di un’alternativa che è stata effettivamente scelta non solo da fisici, ma anche da molti matematici. Ricordo solo gli algebristi divenuti esperti dei sistemi di sicurezza delle vendite “on line” e i fisici matematici convertitisi al trattamento di immagini.

2) *Continuare a fare ricerca indipendentemente dal venir meno degli sbocchi tecnologici*. Chi ha scelto questa strada ha potuto percorrerla in vari modi che sintetizzo con tre possibilità:

2a) *Con candido disinteresse verso il problema del costo sociale delle proprie ricerche*. Si tratta dell’alternativa apparentemente seguita dalla maggioranza dei ricercatori. In questa categoria (insieme a qualche scienziato serio, che ottiene risultati di interesse generale), rientra infatti la maggio-

ranza degli autori dei lavori scientifici, che, come ha ricordato Marino Badiale, non sono mai letti né citati da nessuno. Si può aggiungere che la quantità di citazioni ottenute da un lavoro è un elemento utile per giudicare il grado di inserimento degli autori nella comunità scientifica e la loro capacità di stimolare la produzione di altre pubblicazioni (due caratteristiche che dipendono *anche* dal valore scientifico), ma non necessariamente la loro utilità sociale. La prassi di giudicare i lavori sulla base del loro *impact factor* (che misura la quantità di citazioni ottenute) costituisce anzi uno stimolo oggettivo a creare “comunità di scambio” e a scrivere lavori facilmente continuabili da altri (ad esempio affrontando problemi relativamente semplici senza risolverli compiutamente).

2b) *Cercando di attirare finanziamenti sostituendo le motivazioni tecnologiche con altri argomenti, scelti soprattutto in base alla loro presa sul grosso pubblico.* La fisica delle particelle elementari, ad esempio, che richiede grossi finanziamenti che erano stati inizialmente assicurati dalle previste applicazioni militari ed industriali, ha tentato di arginare la decurtazione dei fondi enfatizzando la propria utilità nel far luce sulla Genesi dell’Universo. Alcuni astronomi sono riusciti a far finanziare progetti di ricerca della vita extragalattica; altri si sono proposti come controllori degli asteroidi che potrebbero colpire la Terra. Peraltro l’esigenza di disintegrare gli asteroidi pericolosi è stata sostenuta anche nel tentativo di rianimare il mercato delle armi nucleari, entrato in crisi in seguito alla fine della guerra fredda (non senza pesanti conseguenze sui finanziamenti alla ricerca).

2c) *Trovando un mercato per i propri risultati direttamente nel grosso pubblico.* Teorie matematiche come la “teoria delle catastrofi”, i frattali o la complessità (per citare tre esempi che si sono succeduti nel tempo) hanno ottenuto un notevole successo di mercato, generando vari prodotti: non solo libri, ma, ad esempio, nel caso dei frattali, anche poster o software. Questa possibilità può sconfinare nel caso 2b e nel prossimo caso 3.

3) Restava infine agli scienziati la possibilità di *riciclarli come «operatori culturali»*, scrivendo libri e articoli di divulgazione, producendo software dimostrativo, organizzando programmi radiofonici e televisivi, mostre e eventi culturali vari. Questa scelta è stata fatta propria da una percentuale quantitativamente significativa, e soprattutto influente, di ricercatori. Altre opportunità di lavoro sono state procurate dal moltiplicarsi di musei della scienza, scuole per preparare divulgatori scientifici, corsi per preparare organizzatori di musei della scienza, e così via. Si tratta spesso di iniziative utili ed interessanti (ad alcune delle quali ho partecipato), ma credo che la loro crescita quantitativa non offra di per sé troppi motivi di soddisfazione, in quanto temo sia dovuta anche all’esigenza di riciclare personale scientifico sovrabbondante.

Le scelte analizzate finora hanno un importante elemento in comune. Quella che classicamente era stata la caratteristica essenziale del metodo della “scienza esatta”, ossia il metodo ipotetico-deduttivo, che assicurava la coerenza interna delle teorie, diviene in ogni caso un *optional* e spesso è sconsigliabile.

Chi sviluppa una teoria che non sarà mai applicata da nessuno, scrivendo lavori che nessuno leggerà, può ovviamente fare a meno del rigore, che non interessa neppure chi scrive best-seller divulgativi, ma (è questo il punto più interessante!) esso non riguarda nemmeno chi opta per la scelta 1, sviluppando applicazioni particolari di teorie già consolidate. Il metodo tipico di quest’ultima categoria di ricercatori non è quello tradizionale della scienza esatta, ma piuttosto l’applicazione a nuovi casi di “protocolli” convalidati dall’esperienza. All’origine dei protocolli vi sono spesso teorie scientifiche rigorose, ma la loro forma finale è dovuta a una serie di adattamenti suggeriti dall’esperienza.

Il rigore delle teorie classiche era essenziale perché esse, dovendo fornire una base comune ad un insieme potenzialmente illimitato di applicazioni, non potevano tollerare debolezze che, pur essendo irrilevanti in un caso, potevano divenire fatali in un’ applicazione diversa. Chi invece deve sviluppare una singola applicazione può, più economicamente, ottenere il risultato finale con una serie di “prove ed errori”, soprattutto se, come accade oggi, gli elaboratori permettono di gestire un enorme insieme di dati, creando strutture quantitative adattabili ad ogni circostanza con serie sufficientemente lunghe di tentativi. In questo modo metodi tradizionalmente caratteristici delle scienze empiriche sono entrati nei campi una volta riservati alla scienza esatta.

8. *Il nuovo ruolo della biologia: le biotecnologie.* Con un processo simmetrico a quello appena descritto, le scienze empiriche, e in primo luogo quelle biologiche, si sono avvicinate al metodo un tempo riservato alla scienza esatta, acquisendo quelle capacità di progettazione tecnologica che fino a qualche decennio fa era loro precluso. Ho già notato che il metodo classico della scienza esatta, consistente nel ricavare moltissime conseguenze da poche premesse, non consente di descrivere le strutture prodotte da un grande insieme di elementi nel corso di una storia largamente casuale, come sono le strutture viventi o le culture umane. Il nuovo metodo accennato al punto precedente, basato su protocolli adattabili in modo automatico, è molto più duttile e ha potuto essere esteso alla biologia, dando origine alle biotecnologie. Si è così aperto un settore di ricerca con enormi potenzialità di sviluppo, in quanto in questo campo gli oggetti di studio virtualmente suscettibili di applicazioni sono praticamente illimitati. Il prezzo pagato è stata la parziale perdita di controllo sulle procedure realmente seguite. La progettazione di un OGM, ad esempio, non è una “progettazione” in senso classico, in quanto la relazione tra le modifiche apportate al corredo genetico e il risultato fenotipico desiderato non può essere compiutamente “capita”, ma solo ottenuta empiricamente sulla base della raccolta di un’ enorme quantità di informazione.

9. *Complessità.* Lo scarso livello di comprensione sintetica del proprio oggetto di ricerca da parte dei nuovi scienziati impegnati nella gestione dell’elaborazione automatica di enormi banche dati viene spesso percepita e presentata al pubblico come una scoperta fondamentale: quella che il mondo è “complesso” e non è quindi comprensibile: verità che sarebbe sfuggita agli ingenui cultori della scienza esatta tradizionale. Naturalmente, poiché i nuovi metodi permettono di affrontare in modo semi-empirico problemi che la scienza precedente avrebbe accantonato come inaccessibili, vi è realmente una complessità nuova nei problemi affrontati. Essa però non implica né che non sia bene conservare l’uso di modelli semplici e comprensibili in tutte le occasioni in cui funzionano, né che non si debba perseguire l’obiettivo di una comprensione sintetica anche nei casi nuovi. In molti casi bisogna naturalmente elaborare un livello diverso di comprensione, che prescindendo dalla moltitudine di dettagli che oggi sono gestibili automaticamente. Il fatto che le affermazioni ideologiche sulla “complessità” vengano avvalorate con il richiamo a teorie matematiche in cui si usa lo stesso termine costituisce un esempio di un fenomeno già accennato.

10. *Ruolo sociale della scienza.* Credo che il rapporto scienza-tecnologia, e il suo mutamento avvenuto negli ultimi decenni, sia centrale rispetto ai temi sollevati da Badiale. È diffuso il timore che la riduzione del valore della scienza alla sua capacità di produrre tecnologia sia uno dei principali fattori dell’attuale crisi e che occorra combattere questa tendenza recuperando il valore della conoscenza “disinteressata”. Si tratta di una tesi che condivido in larga misura, ma che a mio parere deve essere precisata sotto vari aspetti. Innanzitutto bisogna precisare cosa si intende per conoscenza “disinteressata”. Mi sembra evidente che la contrapposizione non debba essere tra conoscenze utili e conoscenze prive di qualsiasi utilità, ma tra la ricerca miope dell’utilità immediata e la disponibilità ad investire energie per ottenere in cambio strumenti conoscitivi che potranno essere utili indirettamente nel futuro, a noi o agli altri. Naturalmente nel secondo caso l’acquisizione di risultati provoca anche un piacere intellettuale, che è sufficiente per giustificare il lavoro fatto dal punto di vista individuale, ma credo che tale piacere sia connesso, in ultima analisi, alla speranza che la conoscenza ottenuta potrà un giorno servire a qualcosa. Gli studi storici, ad esempio, sono stati sempre coltivati con la speranza che una migliore conoscenza del passato sia utile per vivere più consapevolmente il presente e quindi, indirettamente, per costruire un futuro migliore.

Nel caso della scienza esatta il valore conoscitivo è sempre stato intrecciato in modo inscindibile alla sua capacità di produrre nuova tecnologia. Non è quindi possibile, né auspicabile, contrapporre all’attuale deriva tecnologica l’ideale di una scienza totalmente disinteressata alla tecnologia. La novità nel rapporto tra scienza e tecnologia consiste nell’indebolimento di quel rapporto dialettico tra il livello teorico e il livello applicativo che era stata una caratteristica essenziale del metodo scientifico e la conseguente rapida divergenza tra una scienza appiattita sulla tecnologia e una scienza teorica che continua a sviluppare risultati astratti di cui ha dimenticato le motivazioni. Natu-

ralmente entrambi i settori, per propria natura, tendono a proliferare generando una moltitudine di specializzazioni prive di comunicazione reciproca.

Il nuovo tipo di “scienza applicata” pone in modo del tutto nuovo il problema del suo ruolo sociale. È ancora diffusa l’idea che la ricerca scientifica sia un bene in sé, in quanto accresce la conoscenza, e che quindi non debba essere ostacolata per l’eventuale cattivo uso delle sue applicazioni. Si tratta di un’idea nata in riferimento alle teorie classiche, che non generavano direttamente applicazioni tecnologiche, ma ne rendevano possibili una quantità potenzialmente illimitata. Una generica “libertà di ricerca” non può invece essere invocata nel caso di ricerche che consistono nello sviluppo di una singola applicazione.

Nell’imputare a un eccessivo interesse per la tecnologia la crisi della scienza si compie forse anche un errore di ingenuità. Ciò che realmente interessa i finanziatori della ricerca non è la tecnologia in sé, ma i risultati economici ricavabili dallo sviluppo tecnologico. Come quindi il loro interesse per la scienza di base viene meno quando non è più utile per ricavarne applicazioni tecnologiche, così anche l’interesse per la tecnologia può venir meno se si trovano altri sistemi più efficienti per produrre ricchezza. In molti casi la concorrenza tra aziende non avviene più sulla qualità tecnologica dei prodotti, che sono il più delle volte equivalenti, ma sulle forme di promozione pubblicitaria. Non è un caso se i dirigenti dei settori vendite sono pagati più di quelli dei settori “ricerca e sviluppo”. L’organizzazione del sapere si adegua, privilegiando, più delle conoscenze tecnologiche, le tecniche di marketing e le scienze della comunicazione. A volte lo slittamento dalla tecnologia al marketing può essere mascherato dalla terminologia: ad esempio gli indici di borsa includono tra i titoli “tecnologici” quelli relativi ad aziende che distribuiscono prodotti “on line”.

La dilagante sostituzione dell’argomentazione coerente con la libera associazione di idee ha probabilmente una delle sue sorgenti nell’importanza crescente che nelle aziende hanno assunto i “creativi”, esperti nell’indurre appunto associazioni di idee, rispetto ai tradizionali ingegneri, che difficilmente potevano evitare la coerenza.

11. *Quale futuro?* La crisi della scienza esatta e la diffusione dell’irrazionalismo non implicano necessariamente una catastrofe culturale globale. Dalle scienze biologiche vengono certamente conoscenze nuove con importanti ricadute culturali. La paleoantropologia, ad esempio, sembra avere appurato che l’evoluzione degli ominidi non ha seguito un andamento lineare, ma ha avuto una struttura ad albero, con più ominidi presenti contemporaneamente lungo quasi tutta l’evoluzione. L’idea che si potessero ordinare i vari ominidi in un’unica sequenza, classificandoli semplicemente sulla base della loro “distanza” da noi, che è stata così superata, aveva una chiara, anche se inconsapevole, origine ideologica: era basata sull’assunzione di un’evoluzione teleologica, rivolta verso di noi. Lo stesso pregiudizio ideologico ha giocato probabilmente un ruolo importante nella storia della cultura, facendo ritenere a molti storici che le civiltà del passato fossero classificabili anch’esse determinandone la distanza da noi. Uno dei massimi storici delle civiltà classiche del nostro secolo, Finley, ha sostenuto la primitività dell’economia antica e l’assenza di “razionalità economica” nella civiltà classica. Tra i tanti argomenti a sostegno della sua tesi ha portato anche quello che non è possibile tradurre il termine *broker* in greco antico o in latino. Se si pensa che tutte le civiltà sono incamminate sullo stesso percorso, allora l’effetto delle “catastrofi culturali” non può essere troppo grave: si tratta di rimanere fermi o indietreggiare per qualche secolo, ma poi si ritorna sempre allo stesso punto: si finirà sempre con il riavere i *brokers* (e i geometri differenziali). Se invece l’idea del percorso prestabilito è solo un nostro pregiudizio ideologico, allora la scomparsa definitiva di conquiste culturali diviene possibile. I nuovi risultati della paleoantropologia forniscono quindi un motivo in più per custodire con cura la memoria storica.

Sappiamo cos’è stata la scienza nei secoli scorsi. Non sappiamo se quella del XXI secolo sarà migliore o peggiore. La diseguaglianza $XXI > XX$ non fornisce a questo proposito alcun elemento utile. Per scongiurare il pericolo di un crollo sarebbe certamente sufficiente non perdere la memoria del passato. Su questo punto il mio accordo con Badiale è totale.

Se possiamo cercare di conservare la memoria del passato, dobbiamo però anche cercare di progettare il futuro. In che direzione potremmo costruire la “scienza più adulta” auspicata da Badiale? Mi

sembra che sarebbe essenziale diminuire l'ampiezza della forbice tra ciò che i ricercatori fanno realmente e ciò che credono di fare. Intendo riferirmi sia al problema filosofico di chiarire il reale valore conoscitivo dei risultati scientifici (che credo continui ad essere essenziale nella filosofia della scienza) sia al problema sociale (non indipendente dal precedente) di evitare di ottenere i risultati voluti producendo come esiti collaterali catastrofi impreviste.

LUCIO RUSSO