



HOMO SAPIENS

Titolo

Le rivoluzioni scientifiche

Autore

Evandro Agazzi

Volume edito a cura della

FONDAZIONE ACHILLE E GIULIA BOROLI

Progetto grafico

Studio CREE – Milano

Realizzazione editoriale

REDINT Studio s.r.l.

Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico o altro senza l'autorizzazione scritta dei proprietari dei diritti e dell'editore

info@fondazioneaegboroli.com
www.fondazioneaegboroli.it

On line i libri della collana Homo Sapiens

© 2008 Fondazione Achille e Giulia Boroli

Finito di stampare nel mese di ottobre 2008
a cura di Officine Grafiche Novara 1901 S.p.A.

Edizione fuori commercio

EVANDRO AGAZZI
LE RIVOLUZIONI
SCIENTIFICHE

E LA CIVILTÀ DELL'OCCIDENTE

FONDAZIONE ACHILLE E GIULIA BOROLI

LA FONDAZIONE ACHILLE E GIULIA BOROLI

Nel 1998 Achille Boroli, oggi presidente onorario di De Agostini Editore Spa, ha fondato l'ente che porta il suo nome e quello della moglie Giulia e lo ha dotato di un importante fondo con capitali personali; in questa iniziativa si manifesta la precisa volontà del fondatore di continuare a essere concretamente presente all'interno della società civile con attività di supporto a enti pubblici e privati, laici e religiosi, già operanti nel campo della ricerca scientifica, della charity e della cultura nel senso più ampio del termine. In questo ambito, e più precisamente in conformità con uno degli obiettivi statutari, è nata questa iniziativa editoriale che esprime la volontà di supportare la conoscenza e l'approfondimento dei grandi temi dell'attualità da parte delle più giovani classi di età, al fine di favorire la comprensione del mondo sempre più complesso e problematico in cui viviamo.

Questa iniziativa si affianca a un'altra attività ormai tradizionale della Fondazione, che assegna borse di studio in favore degli studenti meritevoli per favorirne l'iscrizione all'Università.

Editore di successo, animato da una fede intatta nei valori della cultura e della lettura come strumento insuperato di comunicazione, Achille Boroli ha fortemente voluto che la Fondazione realizzasse la collana di libri che oggi presentiamo ai giovani, fiduciosi che l'informazione, la libera riflessione e il pensiero contribuiranno alla formazione dei cittadini del futuro.

SOMMARIO

- Introduzione: a proposito del concetto di rivoluzione**
- 13 1. L'uso analogico del concetto di rivoluzione
14 2. La rivoluzione che dette inizio alla civiltà occidentale:
l'invenzione della scienza
- La concezione classica della scienza**
- 19 1. Il concetto greco di scienza come sapere pieno,
in cui la verità è affermata con l'ostensione
delle sue ragioni
20 2. La struttura assiomatico-deduttiva della scienza
classica
22 3. La molteplicità delle scienze
24 4. Grandezze e limiti della scienza greca
- La rivoluzione rinascimentale e la nascita
della scienza moderna**
- 27 1. Gli inizi dell'età moderna
29 2. La "rivoluzione scientifica"
30 3. I tratti fondamentali della rivoluzione galileiana
33 4. La nascita della fisica matematica
35 5. La metafisica implicita nella rivoluzione scientifica
37 6. Il dualismo cartesiano
37 7. La consacrazione kantiana della nuova scienza
come paradigma del sapere
- Scienza e tecnologia: la civiltà delle macchine**
- 41 1. Dalla tecnica alla tecnologia
43 2. La macchina come modello di intelligibilità
46 3. La rivoluzione industriale
50 4. La dilatazione senza precedenti del mondo
artificiale
52 5. La seconda rivoluzione industriale
59 6. La civiltà delle macchine

Specializzazione e teorizzazione nel campo delle scienze

- 67 1. La specializzazione scientifica
68 2. La filosofia come ricerca dei fondamenti delle scienze

L'affacciarsi di nuove discipline scientifiche

- 74 1. Sviluppi scientifici della chimica
77 2. I nuovi orizzonti della biologia
79 3. L'evoluzione e le relative teorie
79 3.1 *L'evoluzione come concetto e come fatto*
82 3.2 *Le diverse teorie dell'evoluzione*
85 3.3 *Le metafisiche di sfondo*
86 3.4 *Il caso contro la finalità*
91 3.5 *L'immagine dell'uomo*
96 3.6 *Dalle teorie dell'evoluzione all'evoluzionismo*
98 4. La costituzione delle "scienze umane"
98 4.1 *L'allargamento dello scientismo positivista allo studio dell'uomo*
100 4.2 *Scienze della natura e scienze dello spirito*
102 4.3 *La disputa circa le scienze storico-sociali*
108 5. Dalla scienza economica alla rivoluzione

L'indagine sui fondamenti nella scienza ottocentesca

- 116 1. La rigorizzazione dell'analisi infinitesimale
118 2. L'aritmetizzazione dell'analisi
120 3. Dall'aritmetica alla teoria degli insiemi
123 4. La nascita della logica matematica
125 5. La rivoluzione insiemistica
128 6. Il progetto riduzionista del meccanicismo ottocentesco

La crisi delle scienze esatte tra fine Ottocento e inizi Novecento

- 131 1. La vicenda delle geometrie non euclidee
133 2. La crisi delle antinomie nella teoria degli insiemi
134 3. La nuova concezione del metodo assiomatico
136 4. La crisi del meccanicismo
138 5. Lo studio degli inosservabili e la crisi dell'intuizione in fisica

Le rivoluzioni concettuali della scienza moderna

- 141 1. I tentativi di superamento delle antinomie e il programma formalista
142 2. Il teorema di Gödel e le sue conseguenze
148 3. Le grandi rivoluzioni in fisica: relatività e quanti

L'ampliarsi del panorama delle scienze nel Novecento

- 152 1. I nuovi orizzonti delle scienze biologiche: la biologia molecolare
157 2. Le tematiche della complessità
157 2.1 *Complessità computazionale e declino del determinismo*
159 2.2 *La non linearità e il caos deterministico*
163 2.3 *Complessità e prospettiva olistica: il tutto e le parti*
166 3. La scienza come conoscenza "fallibile"
171 4. La teoria generale dei sistemi
177 5. La cibernetica e la teoria dell'informazione
177 5.1 *La cibernetica*
181 5.2 *Applicazioni dell'informatica: informatica e scienza del vivente*
182 5.3 *Applicazioni dell'informatica: l'intelligenza artificiale*
185 6. L'interdisciplinarietà
192 7. Alcune nuove scienze
193 7.1 *La cosmologia*
200 7.2 *La climatologia*
206 7.3 *Nuovi materiali*
208 7.4 *Le nanotecnologie*
210 7.5 *Il laser*

La tecnoscienza come sistema globale

- 213 1. L'intreccio inestricabile fra scienza e tecnologia
216 2. L'autonomizzarsi del sistema tecnologico
219 3. La tecnoscienza come nuova unità sistemica della civiltà attuale
221 4. Dalla civiltà delle macchine alla civiltà tecnoscientifica
221 4.1 *A proposito di civiltà*
223 4.2 *Le difficoltà di intervento sul sistema tecnoscientifico*
226 4.3 *Un nuovo senso del problema della neutralità*
228 4.4 *Verso una civiltà globale*
229 4.5 *Come conferire un senso alla globalizzazione*

**Gli impatti della tecnoscienza sulla visione del mondo,
dell'uomo e della società**

- 230 1. L'eredità scienista del positivismo ottocentesco
- 230 2. Le scienze e la conoscenza di tutti gli aspetti
della realtà
- 236 3. La tecnoscienza e l'immagine attuale dell'uomo
- 236 3.1 *La "naturalizzazione dell'uomo"*
- 241 3.2 *L'intelligenza artificiale*

Gli impatti della tecnoscienza sul "mondo della vita"

- 249 1. Il problema della "neutralità della scienza"
- 251 2. La tecnoscienza in una prospettiva sistemica
- 251 2.1 *L'ideale della libertà della scienza e i suoi limiti*
- 252 2.2 *I costi della tecnoscienza*
- 253 2.3 *Il problema del "controllo sociale" della tecnoscienza*
- 254 2.4 *La responsabilità della tecnoscienza in una prospettiva
sistemica*
- 260 2.5 *Dalla prospettiva sistemica alla razionalità prudentiale*
- 261 3. Tecnoscienza e politica
- 262 3.1 *Il "principio di responsabilità"*
- 264 3.2 *Il principio di precauzione*
- 267 3.3 *Un esempio concreto: il problema dell'ambiente*

Scienza e religione

- 271 1. Considerazioni storiche
- 274 2. La religione e il "problema della vita"
- 276 3. Il "conferimento di senso" al mondo della vita
- 278 4. I diversi "mondi" compresi nel "mondo della vita"
- 281 5. Il problema dell'Assoluto
- 283 6. La fede e le fedi
- 287 7. Fede religiosa e razionalità

291 Conclusione

295 Indice dei nomi

A Lulù

INTRODUZIONE: A PROPOSITO DEL CONCETTO DI RIVOLUZIONE

1. L'uso analogico del concetto di rivoluzione

Il termine “rivoluzione” ha un’etimologia latina diretta nel nome *revolutio*, il quale significa dal più al meno un “girare attorno”, un “ruotare attorno” a qualcosa, e tale significato si conserva ancor oggi quando, parlando dei movimenti della terra, distinguiamo un movimento di “rotazione” attorno al proprio asse da un secondo movimento, quello appunto di “rivoluzione” attorno al sole. Questa terminologia è la pura e semplice prosecuzione di un uso linguistico il cui documento più famoso è il titolo stesso dell’opera di Copernico, *De revolutionibus orbium coelestium* (“Sulle rivoluzioni delle orbite celesti”), vale a dire dell’opera che ha “rivoluzionato” l’astronomia e in un certo senso ha dato inizio alla vicenda che ha condotto alla nascita della scienza naturale moderna. È del tutto ovvio, peraltro, che quando diciamo che quell’opera ha “rivoluzionato” l’astronomia diamo a questo termine un significato ben diverso da quello di un moto attorno a qualche cosa; intendiamo, infatti, che l’astronomia è stata sconvolta nelle sue concezioni fondamentali, che è stata riorientata in un senso profondamente diverso. Non si coglie alcun nesso apparente fra il primo significato di tipo fisico e il secondo significato di tipo concettuale del termine “rivoluzione” e infatti un tale nesso di natura logica o concettuale non esiste. Il secondo significato è una derivazione piuttosto tardiva di un cambiamento di denotazione che il termine “rivoluzione” ha registrato a partire dalla fine del Seicento, vale a dire quando esso fu usato per denotare uno sconvolgimento socio-politico di grande portata e risonanza, il cui esempio paradigmatico è costituito dalla *rivoluzione francese*. Proprio in ragione di questo riferimento privilegiato il vocabolo “rivoluzione” ha finito col restringere il suo significato diretto, all’ambito politico, designando mutamenti dell’ordine costituito realizzati in modo rapido, brusco, spesso violento, e comunque sfociati in un ordinamento radicalmente nuovo. Per que-

sto fa parte ormai dell'uso corrente parlare di rivoluzione americana e di rivoluzione inglese, entrambe anteriori alla rivoluzione francese, così come di rivoluzione russa, rivoluzione messicana, rivoluzione fascista, rivoluzione cubana e via dicendo. Ciò indica che quella di rivoluzione è diventata una categoria storiografica dai contorni un po' sfumati, ma sostanzialmente delineata. L'uso analogico di questo concetto si è intensificato con l'applicazione a processi di durata piuttosto lunga e riguardanti cambiamenti profondi a livello sociale e culturale piuttosto che politico-istituzionale. Gli esempi più notevoli sono quello di "rivoluzione industriale" e quello di "rivoluzione scientifica". Se ne potrebbero citare molti altri, ma non avrebbe molto senso, dal momento che l'eccessivo proliferare dei fenomeni chiamati "rivoluzioni" nei campi più disparati ha finito, come spesso accade, col rendere "equivoco" piuttosto che "analogico" il significato di questo concetto. Riteniamo pertanto più ragionevole conservarne la portata analogica, riconoscendo l'opportunità di qualificare come "rivoluzionario", in campi anche molto diversi, un processo di cambiamento profondo e relativamente rapido, dotato di una complessità di aspetti, ramificazioni e conseguenze, che sia sfociato in un modo sostanzialmente diverso di concepire o costituire l'ambito entro cui si è prodotto. In particolare, poi, quei mutamenti che hanno avuto ripercussioni tangibili anche in ambiti più vasti che non quello in cui si sono verificati, e specialmente ambiti di tipo culturale e sociale.

2. La rivoluzione che dette inizio alla civiltà occidentale: l'invenzione della scienza

Non è facile ritagliare, nel grande corso della storia, "civiltà" distinte, anche perché tali distinzioni si basano su criteri alquanto diversi e talora sovrapposti, da quello cronologico a quello geografico, etnico, linguistico, politico, religioso e via dicendo. È un fatto, comunque, che lo studio della storia ci fa individuare le civiltà passate come entità concrete e non come costrutti convenzionali (si pensi alle civiltà egizia, greca, romana, cinese, indiana, maya, azteca, incaica, per fare solo qualche esempio). Fra queste civiltà si annovera in particolare quella che chiamiamo *occidentale* e che si è venuta costruendo lungo una storia più che bimillenaria il cui corso non si è mai interrotto per il semplice fatto che esso è stato registrato e di esso si è conservata la memoria in seno a una concreta

tradizione. La storia di questo corso è quella che ancor oggi si studia nelle nostre scuole e che (dopo una sorta di preludio dedicato alla preistoria e una rapida introduzione dedicata alle antiche civiltà del Mediterraneo orientale) inizia in modo esplicito con la storia del mondo greco, poi di quello romano che assorbe e prosegue il primo e innesca la storia d'Europa, le cui vicende si intrecciano e ramificano in funzione dei popoli che assumono in quel contesto un ruolo sociale, politico e militare preponderante. Questo mondo non si qualificò come occidentale agli inizi, e tuttavia già in epoca romana chiamava Oriente il complesso dei territori che si affacciavano sul Mediterraneo orientale e, a maggior ragione, quelli quasi del tutto sconosciuti che si incontravano ancor più a est. Con la scoperta e la successiva conquista dell'America il mondo europeo si aggregò l'immensità di questo continente, di questo Nuovo Mondo, che si ubicava a occidente dell'Europa e, a partire da quel momento, l'asse della storia europea si spostò dal Mediterraneo all'Atlantico, ossia verso occidente. I territori d'oltre Atlantico venivano rapidamente assumendo le caratteristiche fondamentali della cultura europea, oltre che adottare le lingue delle potenze europee che li avevano colonizzati e, dopo aver conquistato nel corso dell'Ottocento la propria indipendenza rispetto agli antichi colonizzatori, finirono con il costituire assieme all'Europa una civiltà abbastanza omogenea che, non essendo appropriato chiamare europea, risultò naturale chiamare occidentale.

Sono molte le caratteristiche che distinguono questa civiltà occidentale dalle altre che hanno avuto rispetto a essa storie quasi completamente separate fino al Novecento, e che se ne differenziano per usi, costumi, tradizioni, credenze religiose, concezioni del mondo, istituzioni sociali e politiche, espressioni artistiche e letterarie. Ebbene, fra le caratteristiche più marcate dell'Occidente, che non hanno avuto l'equivalente presso altre civiltà, dobbiamo annoverare specialmente *la scienza*, concepita nel modo con cui noi oggi la consideriamo in tutto il mondo e che ormai ha acquisito una dimensione planetaria. Essa non solo è nata in Europa nella sua forma moderna, e di lì è passata ad altre parti dell'Occidente, ben prima di essere assorbita anche altrove, ma le sue radici si incontrano proprio alle origini della civiltà occidentale e si può dire che rappresentino quell'elemento "rivoluzionario" – rispetto al mondo mediterraneo in cui questa civiltà nasceva – che ne ha subito contrassegnato l'originalità e l'identità.

Queste affermazioni richiedono alcuni chiarimenti. In primo luogo dobbiamo renderci conto che quando indaghiamo la scienza del passato, o di altre civiltà, lo facciamo inevitabilmente sulla base del nostro modo attuale di concepire la scienza e, più concretamente, considerando questa come un repertorio di discipline che include sostanzialmente le scienze matematiche e le cosiddette scienze naturali, ciascuna delle quali contiene un vasto campionario di “conoscenze”. In base a questo criterio non è difficile riconoscere, per esempio, che i Babilonesi possedevano un numero rispettabile di “conoscenze” astronomiche e matematiche, che avevano permesso loro di costruire calendari molto precisi e di apprestare regole di computo corrette per numerosi problemi concreti, e lo stesso si deve ripetere per gli antichi Egizi (ma anche, per esempio, per i Maya, gli Aztechi o i Cinesi). Analogamente possiamo rilevare conoscenze afferenti alla biologia, alla botanica e zoologia, alla medicina. La loro caratteristica per altro è generalmente quella di conoscenze particolari utilizzate nella soluzione di problemi pratici di vario tipo. Ciò non vuol dire che fossero rudimentali; anzi, le straordinarie realizzazioni architettoniche di tante civiltà del passato, ottenute con mezzi materiali assai poveri, presuppongono una genialità ingegneristica e la capacità di dominare e combinare tante conoscenze anche astratte che hanno indotto seri studiosi a vedere in esse le vestigia di competenze teoriche assai avanzate (e non pervenuteci perché tenute segrete e tramandate solo per tradizione orale poi estintasi).

Questa prospettiva non è scorretta, ma sorvola su un aspetto fondamentale della scienza quale noi la intendiamo e conosciamo, quello della sua *costruzione teorica*, che si aggiunge alla componente della *constatazione di fatto* e permette poi di spingere la conoscenza molto al di là di quanto è semplicemente constatabile. È proprio su questo punto che la civiltà greca ha introdotto quella “rivoluzione” da cui è nata la filosofia e, con essa, la scienza nel senso occidentale che ancor oggi persiste ed è diventata patrimonio comune dell’umanità, e ciò semplicemente per il fatto che i Greci hanno elaborato un nuovo ed originale *modello del sapere*.

Tale modello può essere brevemente schematizzato così: quando aspiriamo a conoscere nel modo più pieno e adeguato una certa realtà, non possiamo limitarci ad appurare *che* essa esiste e a descrivere accuratamente *come* è fatta, ma dobbiamo anche cercare di comprendere *perché* esiste ed è fatta così come ci appare. Per rag-

giungere questo ulteriore obiettivo non è più sufficiente attenerci a quanto ci fornisce l’*esperienza* immediata delle cose, ma dobbiamo far intervenire la ragione, la quale in qualche modo chiarisce che quanto constatiamo non è casuale, bensì rientra in un quadro generale entro cui risulta *spiegabile*. L’esigenza di comprendere e spiegare è connaturata all’uomo ed è conseguenza del suo essere un “animale ragionevole”; pertanto tutte le civiltà hanno cercato di soddisfarla, di solito producendo miti cosmogonici o proponendo concezioni animistiche di singole realtà o eventi. Ciò che, invece, incomincia a manifestarsi nell’Ellade a partire dal VI secolo a.C. è l’esigenza di rendere esplicite le “ragioni” attraverso una *dimostrazione*, la quale sia capace di rifarsi a *principi universali* e non più a raffigurazioni o storie singole, per lo più soltanto immaginate. In tal modo la spiegazione dei modi di apparire delle cose fu ricercata nel *che cosa* esse sono, cioè nella loro *natura* o *essenza*, e nelle cause che le pongono in essere. Venivano così poste esplicitamente a tema, accanto alle esigenze dell’*empiria*, anche quelle del *logos*.

In questa ricerca di ragioni generali al posto di spiegazioni *ad hoc* escogitate caso per caso, e di un metodo *dimostrativo* per stabilirle, possiamo riconoscere i tratti distintivi che separano il sapere prescientifico da quello scientifico. Pertanto possiamo osservare che (come già si è detto) Babilonesi ed Egizi conoscevano parecchi esempi pratici di soluzione corretta per problemi aritmetici e geometrici, ma soltanto i Greci hanno fornito la dimostrazione delle proprietà *generali* dei numeri e delle figure di cui quegli esempi non erano che casi particolari, e con ciò fornirono anche la *ragione* della loro correttezza. Dovrebbe pertanto esser chiaro in quale senso, pur riconoscendo senza esitazione che parecchie “conoscenze” che oggi chiamiamo scientifiche erano state acquisite da varie civiltà, nessuna di queste era pervenuta alla creazione della *scienza* in senso vero e proprio.

Questa creazione è un evento storico “rivoluzionario” di enorme portata, che incomincia a prodursi agli inizi della civiltà greca ma che, proprio per il fatto di aver inaugurato una nuova *forma di sapere e di pensare*, è rimasto come caratteristica costante di tutta la civiltà *occidentale* che a partire da essa si è sviluppata. Già in seno alla civiltà greca questa rivoluzione condusse ben presto alla costituzione di alcune discipline che possiamo chiamare *scienze* anche nel senso moderno; è questa la ragione per cui dedicheremo ora una certa attenzione alla presentazione delle caratteristiche di quel modello

di scienza che chiameremo “classico”. Vedremo infatti, nel seguito, che le rivoluzioni che si sono prodotte in seno alla scienza occidentale, a partire da quel modello classico, sono altrettante tappe fondamentali per meglio comprendere la storia dell’Occidente.

LA CONCEZIONE CLASSICA DELLA SCIENZA

1. Il concetto greco di scienza come sapere pieno, in cui la verità è affermata con l’ostensione delle sue ragioni

Un fatto di capitale importanza è che le caratteristiche indicate in precedenza come requisiti specifici della scienza greca non emergono come risultato di un’analisi compiuta dai posteri, e in particolare dai filosofi della scienza, bensì furono pienamente enunciate e riconosciute proprio dai filosofi greci dell’epoca, i quali misero in risalto la differenza che sussiste fra il semplice possesso della verità e l’autentico sapere. Non si tratta di un’analisi di poco conto. Infatti è del tutto spontaneo identificare il sapere con il possesso della verità, e in particolare far consistere il sapere in una collezione di “conoscenze”, ossia di proposizioni vere. Tuttavia sin dai primordi del pensiero greco emerse l’esigenza di “garantire” il possesso della verità e, in tal senso, Parmenide (nato nel 540 a.C.) distinse tra *verità* e *opinione*, affermando che la prima si conquista soltanto applicando i rigorosi argomenti del *logos*, i quali possono obbligarci a respingere quanto sembrerebbe evidente ai nostri sensi, affidandosi ai quali si rimane nel regno fallace delle opinioni. Così, per esempio, la verità consiste tipicamente – secondo questo filosofo – nel negare la molteplicità degli enti e il divenire (ossia il mutamento), alla cui esistenza viceversa credono coloro che si affidano alla testimonianza dei sensi. Tuttavia appare evidente che non tutte le opinioni sono false e che, pertanto, il vero problema è quello di distinguere tra *opinione* (anche vera) e *sapere*. Questo problema è affrontato da Platone (428-348 a.C.), che ne dà una soluzione poi ripresa e approfondita da Aristotele (384-322 a.C.). Una volta definito vero un discorso che dice come stanno realmente le cose, e riconosciuto che fra le opinioni ce ne sono molte di vere in questo senso, Platone osserva (nel dialogo *Menone*) che il loro possesso non è qualcosa di stabile nella mente (si può facilmente cambiare opinione), a meno che venga rinsaldato da “un ragionamento che ne mo-

stra la ragione". Il termine greco *epistème* (che è quello usato anche da Platone e Aristotele in questo contesto) viene di solito tradotto con "scienza", ma al giorno d'oggi noi diamo a questo termine un significato ristretto, mentre nella filosofia greca significava, appunto, *sapere* nel senso più pieno e genuino, ma indipendentemente dai contenuti cui tale sapere si applichi. Un'altra osservazione: nel greco degli antichi filosofi appare molto spesso il termine *aitia* (con i suoi derivati), che viene usualmente tradotto con "causa". In realtà esso ha, come il precedente, un significato assai più ampio, che noi dovremmo tradurre oggi con l'espressione "la ragione per cui", e tale ragione solo in certi casi può esser costituita da una "causa" come la pensiamo noi (ossia come un qualcosa che "produce" un qualcosa d'altro come suo effetto). Tutto questo chiarisce pertanto che, secondo il modello di conoscenza esplicitamente teorizzato dalla filosofia greca, il *sapere* autentico si raggiunge solo quando, dopo aver appurato una verità, si è anche in grado di darne la ragione, ossia di darne *il perché*. Non è esagerato quindi sostenere che con i Greci si introduce nella civiltà "l'invenzione del perché", la quale costituisce a un tempo la nascita della filosofia e della scienza, dal momento che, in particolare, viene direttamente applicata anche in quei settori che noi chiamiamo scientifici nel significato moderno del termine.

2. La struttura assiomatico-deduttiva della scienza classica

In che consiste il "dare le ragioni", il "mostrare perché"? I Greci diedero a queste domande una risposta precisa: significa offrire una *dimostrazione*. Il sapere autentico è un sapere dimostrativo, ossia argomentato e fondato in base a ragionamenti corretti. In questa scelta si radica quel *razionalismo* greco che è poi rimasto il carattere distintivo (anche se non esclusivo) dello stile intellettuale dell'Occidente: immaginazione mitica, rivelazioni, autorità, emozioni e sentimenti non sono garanzie di sapere, anche se possono entrare a far parte di certe condizioni concrete del sapere. Tuttavia questa impostazione lascia aperte, o addirittura pone, alcune domande: "in che consiste una dimostrazione?", ossia una concatenazione *logica* (cioè conforme alle esigenze del *logos*) di ragionamenti? "E in che modo può una dimostrazione garantire la verità della conclusione di tale catena?"

A entrambe le questioni dedicarono molte riflessioni i filosofi e il loro risultato più maturo è stato codificato da Aristotele. Una dimo-

strazione, o ragionamento corretto, consiste in una concatenazione di proposizioni nella quale la verità delle premesse si trasmette necessariamente anche alle conclusioni. I filosofi e i matematici svilupparono e affinarono una lunga pratica di simili ragionamenti, ma fu solo con Aristotele che essi divennero oggetto di un'esauriente teoria, la *logica*, nella quale si identificavano le forme di alcuni schemi deduttivi corretti e si mettevano in luce anche tante forme scorrette di ragionamento. Utilizzare lo strumento dimostrativo per "dare la ragione" di una proposizione vera, pertanto, significava trovare alcune premesse vere da cui questa potesse esser dedotta come conseguenza logica necessaria, ma è chiaro che in tal modo si ripresenta il problema di come garantire la verità di tali premesse, problema che non si risolve né regredendo all'infinito, né muovendosi in circolo, poiché allora non si potrebbe garantire la verità di nessuna proposizione. Pertanto ogni dimostrazione deve partire da *premesse indimostrate e indimostrabili* e, se a questa condizione formale aggiungiamo l'ulteriore requisito che una dimostrazione non vuole essere soltanto una deduzione formale, bensì il modo per *fondare* un sapere e garantire la verità dei suoi contenuti, si dovrà anche dire che le premesse primitive e indimostrabili debbono essere *vere di per sé*, ossia, come pure si dice, *evidenti*. Esse devono apparire tali alla nostra *intuizione intellettuale* (al *nous*, che è diverso dal *logos* argomentante) e, per distinguerle dalle premesse assunte in modo soltanto ipotetico, sono spesso chiamate *principi*. In conclusione, quindi, per i Greci un sapere autentico è quello che si fonda su principi evidenti, universali e necessari, dai quali sono dedotte con ragionamenti corretti conclusioni vere, e se capita che le conclusioni dedotte rigorosamente dai principi entrino in collisione con quanto attestato dall'esperienza, non saranno mai i principi a essere smentiti, ma semmai il valore di verità delle risultanze di osservazione (come Parmenide aveva affermato). Tuttavia la strada feconda, seguita in particolare da Aristotele, sarà quella di trovare interpretazioni dei dati di esperienza che si accordino con i principi.

Quello qui abbozzato in modo intuitivo è il *metodo assiomatico*, presentato come struttura canonica del sapere. In un dato ambito di ricerca si tratta di organizzare le conoscenze in modo che, individuati alcuni enunciati primitivi (chiamati *assiomi opostulati* a seconda del loro grado di generalità piuttosto che specificità), le rimanenti proposizioni risultino rigorosamente dimostrabili a partire da essi. La scelta di tali enunciati primitivi si basa sulla loro evidenza. In forza

di questa struttura, un'autentica scienza (ossia un autentico sapere) risulta dotata di universalità, necessità e certezza. L'applicazione più celebre di questo modello del sapere è costituita dagli *Elementi* di Euclide, che sono appunto costruiti secondo tale metodo assiomatico, ma di esso è stata tentata l'applicazione in molteplici campi, sia pure con gradi di successo assai diversi. Esso ha costituito la spina dorsale della costruzione della matematica occidentale fino ai nostri giorni (pur andando incontro a mutamenti profondi di cui diremo a suo tempo), ma ha trovato ampia applicazione anche nelle scienze fisiche. Per esempio, è adottato nei *Principia* di Newton ed è usato in diverse presentazioni di altre teorie fisiche attuali, quali la meccanica quantistica. Ma forse ancor più essenziale è il fatto che, anche quando si lascino cadere i requisiti dell'evidenza e persino della verità (come accade nelle epistemologie contemporanee), le *teorie scientifiche* continuano a esser concepite come costrutti ipotetico-deduttivi aventi il fine di *spiegare*, ossia di "dar ragione" dei fenomeni che esse studiano; ma su questo punto si dovrà tornare a tempo debito.

3. La molteplicità delle scienze

Proprio perché il concetto classico di scienza altro non era che quello di un sapere inteso in senso pieno, non era vincolato alla trattazione di contenuti di un certo tipo (come accade invece per il concetto moderno di scienza), ma aspirava a investire tanti contenuti diversi, pur dovendo registrare eventualmente livelli di applicazione più o meno perfetti a seconda delle materie trattate.

Una prima ripartizione, che troviamo in Aristotele, riguarda le *finalità* per le quali si ricerca un sapere e, secondo questo filosofo, esse sono tre. La prima si dà quando si cerca di sapere unicamente con il fine di conoscere come stanno le cose; le scienze che perseguono questo fine sono chiamate *teoretiche* e sono tre: la fisica (che studia gli enti materiali), la matematica (che studia entità astratte ricavate dalla considerazione degli enti concreti) e la metafisica (che studia la realtà in quanto tale, ossia i principi primi che valgono per qualunque tipo di realtà e che, in particolare, arriva anche a stabilire l'esistenza di realtà non materiali e che non si possono conoscere mediante i sensi). La seconda si dà quando si ricerca un sapere in vista dell'agire correttamente, ossia per conoscere come si deve condurre la propria esistenza: le scienze che perseguono questo fine sono det-

te *pratiche* e sono l'etica (che studia le regole della buona vita individuale) e la politica (intesa come scienza della maniera corretta di vivere nella collettività). Finalmente si ricerca molto spesso un sapere in vista del fare e produrre risultati o oggetti concreti; le scienze che si propongono tali fini sono dette *poietiche* o anche *arti* in un senso tuttavia diverso da quello attuale. I Greci infatti chiamavano *téchne* l'arte di produrre qualcosa in modo efficace e conoscendo le ragioni di tale efficacia, e quindi applicavano tale concetto a diverse attività produttive di particolare levatura e anche alla medicina, all'arte oratoria, a diverse "professioni", come diremmo oggi, senza che ciò implicasse relazioni con la bellezza, come invece è stata intesa da noi l'arte a partire dall'età romantica.

Di fronte a questo elenco non è difficile rendersi conto che il concetto moderno di scienza si è ristretto quasi esclusivamente a due sole fra le scienze classiche, la matematica e le scienze fisiche, il che sarebbe in fin dei conti un fenomeno storico senza conseguenze negative se non fosse stato accompagnato anche dal fatto che tutto il restante ambito delle scienze classiche, che come abbiamo più volte ripetuto coprivano l'ambito generale del sapere, viene escluso, da parte di molti moderni, dal campo del sapere. Insomma, è oggi diffusa la tendenza a non ammettere che esistano dei veri e propri saperi al di fuori dei molti saperi scientifici, e questa è un'autentica perdita, dal momento che finisce col restringere ingiustificatamente quell'impianto di *razionalità* che la civiltà classica aveva istituito come stile intellettuale dell'Occidente. Talvolta si sente giustificare un simile atteggiamento affermando che, al di fuori delle scienze fisico-naturali, non si riescono a raggiungere adeguati livelli di rigore dimostrativo e oggettività, ma questa osservazione ignora che le caratteristiche della scientificità (e in generale del sapere) non sono ricalcabili su un unico modello, ancorché particolarmente ben riuscito. Lo stesso Aristotele, per esempio, nelle pagine iniziali dell'*Etica a Nicomaco* osservava che nella scienza etica non è possibile, data la natura della materia trattata, conseguire il medesimo grado di rigore dimostrativo che si raggiunge in matematica (e che del resto non si raggiunge neppure nella fisica), ma aggiunge subito che chi pretendesse un tal rigore in etica sarebbe altrettanto stolto che colui che, invece, si accontentasse in geometria di dimostrazioni soltanto probabili e non necessarie.

Merita di essere sottolineata la profonda identità di struttura fra *epistème* e *téchne*, che viene spesso oscurata dalla distinzione moderna

fra il *conoscere* e il *fare*. È ben vero che l'*epistème*, ossia la scienza, il sapere pieno, si caratterizza per il possesso della verità accompagnato dalla conoscenza delle "ragioni" (dei "perché" e delle "cause", per usare la terminologia classica), ma è altrettanto vero che la *téchne* non è il semplice *saper fare* (ossia il possesso di un'abilità esecutiva, affinata da esperienza e addestramento), ma deve anche accompagnarsi con la conoscenza delle "ragioni" per le quali tale fare è efficace, e tali ragioni sono indicate con gli stessi termini ("conoscere il perché e la causa") anche nel caso della *téchne*. Anzi, i discorsi circa l'*epistème* e la *téchne* sono talmente analoghi, per esempio in Platone e Aristotele, che sembrano quasi indistinguibili, ma ciò non deve stupire, poiché, come si è visto, anche le "arti" rientrano fra le scienze, sono le scienze del fare e produrre.

4. Grandezze e limiti della scienza greca

Vogliamo ora considerare, all'interno della cultura greca, le scienze intese nel senso ristretto che noi diamo a questo concetto e non è difficile rendersi conto che, in alcune di queste, essi raggiunsero altezze sbalorditive, e in altre viceversa conseguirono progressi piuttosto modesti. Paradossalmente, la ragione di questo fatto risiede nell'eccesso di perfezione cui si ispirava il modello della ricerca di un sapere assolutamente certo, universale e necessario, sicuro nei suoi fondamenti grazie a un impianto rigorosamente deduttivo. Un ideale del genere finiva col precludere la strada a quelle che noi oggi chiamiamo "scienze sperimentali". Ciò accadeva perché, come si è visto, tra l'*empiria* e il *logos* esso finiva col privilegiare in misura troppo cospicua il secondo, anche a scapito della prima. La cosa si può cogliere facilmente analizzando il ruolo svolto dalla *deduzione* logica nello schema classico del sapere e in quello delle scienze empiriche moderne. Nel primo, il compito della deduzione era quello di *partire* dalle proposizioni più evidentemente vere, per farne poi discendere la verità alle proposizioni dedotte, che trovavano nelle prime il loro fondamento e avevano, in genere, un carattere subordinato. Nel caso delle scienze empiriche quali oggi le riconosciamo, invece, il cammino è inverso: in esse le proposizioni che si possono ritenere immediatamente vere e meglio garantite sono quelle che descrivono singoli fatti d'esperienza. Quando poi vogliamo "spiegarle", è ben vero che escogitiamo ipotesi e cerchiamo di mostrare deduttivamente che da esse discendono come "conseguenze

logiche" le proposizioni empiriche note, ma non deve sfuggirci che le proposizioni immediatamente vere si trovano *alla fine* della deduzione e, ben lungi dal ricevere dalle ipotesi la garanzia della loro verità, sono esse che danno alle ipotesi un certo grado, per altro sempre rivedibile, di plausibilità.

Tenendo conto di questo fatto si può comprendere perché la civiltà greca abbia prodotto una splendida e ricca matematica, ma una fisica quasi trascurabile. Per le matematiche, infatti, lo schema classico era perfettamente applicabile (in quanto in esse gli assiomi si potevano ritenere "verità primitive" in base a cui si giustificano i teoremi) mentre, per le ragioni anzi dette, esso appare una camicia di forza poco adatta alle scienze empiriche. Di fatto, tentando di applicare tale modello anche alla scienza della natura, sia gli antichi sia i medioevali cercarono di fondarla sulla determinazione di essenze, di principi e di cause universali, le cui verità e certezza fossero più forti e più garantite che non quelle delle singole conoscenze empiriche, che avrebbero dovuto risultare come loro corollari. Ne è venuta una scienza naturale aprioristica, metafisicizzata, largamente arbitraria e dogmatica, rispetto alla quale doveva prodursi soltanto nel Rinascimento la rivoluzione scientifica. L'unica eccezione in questo campo era costituita dall'astronomia, il cui vantaggio consisteva nel prestarsi a essere una sorta di grande applicazione della geometria e del calcolo matematico. Non è comunque cosa da poco che matematica e astronomia costituissero due scienze autonome, con i tratti fondamentali che hanno conservato in tutta la storia dell'Occidente, già in seno alla civiltà greca.

LA RIVOLUZIONE RINASCIMENTALE E LA NASCITA DELLA SCIENZA MODERNA

Ogni periodizzazione storica è in qualche misura convenzionale e, per quanto riguarda la storia dell'Occidente, diverse proposte sono state avanzate per fissare una data, sia pure essenzialmente simbolica, per segnare il passaggio dal Medioevo all'età moderna. Ciascuna di queste trova una giustificazione in seno al particolare punto di vista adottato.

1. Gli inizi dell'età moderna

Fra le periodizzazioni ha finito col prevalere quella che colloca l'inizio dell'età moderna nel 1492, ossia con la scoperta dell'America da parte di Colombo. Ecco l'esempio di un evento assai improbabile e quasi fortuito, che non può certo essere qualificato come rivoluzionario, ma in seguito al quale il corso della storia prese in breve tempo un andamento totalmente diverso, dando inizio, come già abbiamo accennato in precedenza, a una storia politica veramente "occidentale" (e non più soltanto europea o eurocentrica), caratterizzata dalla decadenza del Mediterraneo e dall'assurgere al rango di protagonisti dei paesi che si affacciavano sull'Atlantico. Il vantaggio di tale data è anche quello cronologico di cadere comodamente quasi alla fine di un secolo e di segnare, sempre sul piano politico, l'esordio di una nuova fase storica caratterizzata dal rapido costituirsi dei primi stati nazionali (Francia, Spagna, Inghilterra) e dal tramonto delle concezioni universalistiche del potere (imperiali e feudali) che avevano caratterizzato il Medioevo.

Quando ci si eleva al di sopra della semplice considerazione della storia politico-militare, per spostarsi sul piano più ampiamente culturale, questa transizione viene generalmente presentata come il passaggio dal Medioevo al Rinascimento, passaggio estremamente complesso che alcuni storici hanno interpretato come una rottura, altri come un'evoluzione rapida ma senza soluzioni di continuità, e

che include anche una sorta di preludio, chiamato Umanesimo. È significativo che questa svolta rivoluzionaria venga presentata come una rinascita (un ri-nascimento), e ciò è giustificato dal fatto che la nuova atmosfera culturale fu caratterizzata da un fervoroso sforzo di recupero e riappropriazione della cultura classica greca e latina, attingendo nelle sue fonti originali.

Come conseguenza di questo fatto, l'idea del Rinascimento tuttora prevalente presso il grande pubblico è quella di un'epoca di straordinaria fioritura letteraria e artistica, iniziata in Italia e giunta qui alla sua massima fioritura nel Cinquecento, diffusasi poi in tutta Europa, dove conobbe il suo apice nel secolo successivo, accompagnata dal sorgere di nuove filosofie e da profondi sconvolgimenti sul piano religioso (la Riforma protestante e le sue conseguenze). Da questo crogiolo di varie componenti scaturì la civiltà che oggi chiamiamo moderna. Benché non falsa o superficiale, tale visione manca di uno degli elementi fondamentali che entrano a costituire la grandezza del Rinascimento e che, in particolare, fanno di tale età lo spartiacque da cui inizia l'età moderna. Si tratta del fatto che il Rinascimento ha recato alla storia dell'umanità il contributo grandissimo della creazione della scienza, nel senso di una specifica e ben individuata attività conoscitiva e pratica dell'uomo quale ancor oggi noi la concepiamo e pratichiamo: non è eccessivo affermare che essa è il vero marchio distintivo dell'età moderna, non soltanto perché non trova adeguato riscontro in epoche precedenti, ma anche e soprattutto perché ha contribuito a determinare il volto di questa età (nel bene e nel male) in misura preponderante rispetto ad altri, pur non trascurabili, fattori. Questa affermazione può suscitare perplessità, collocandosi dopo che si è trattato della storia plurisecolare della scienza in epoche antecedenti a questa sua presunta "nascita" rinascimentale, ma non deve sorprendere se si tiene conto di quanto affermato nell'introduzione, ossia che noi facciamo storia della scienza proiettando nel passato il nostro modo attuale di concepire la scienza e chiamiamo scientifiche certe discipline che sono tali ai nostri occhi, isolandole da contesti in cui erano saldamente inserite e che noi non saremmo disposti a considerare scientifiche. In base a tale criterio si riconosce facilmente che matematica e astronomia si erano costituite come scienze autonome già nell'antichità classica (come già si è sottolineato), e la novità del Rinascimento è costituita dalla nascita della scienza naturale. Con ciò, tuttavia, il discorso rimarrebbe monco, perché si potrebbe pensare che si trattò soltanto di "aggiungere" un settore al catalogo tradizio-

nale delle scienze, un settore sul quale in passato non si era incentrato un particolare interesse. In realtà il fenomeno è ben più complesso: la nascita della *scienza naturale* fu possibile grazie a un *ripensamento radicale ed esplicito* del concetto classico di scienza, che condusse a proporre, nel campo dello studio della natura, un nuovo *modello di conoscenza*. Questo continuò a essere chiamato "scienza" ma differiva non poco dal modello classico e finì abbastanza rapidamente col diventare il paradigma di riferimento del concetto di scienza.

2. La "rivoluzione scientifica"

Un criterio che si rivela prezioso ogni volta che si vogliono individuare origini o priorità in campo storico è quello di non illudersi di poter stabilire quando una certa idea, affermazione, prassi si siano presentate *di fatto* "per la prima volta", poiché ci sarà sempre la possibilità di suggerire che, per lo meno in modo implicito, o magari in modo esplicito ma puramente casuale, le stesse cose sono state dette o pensate o applicate ancor prima. Molto meno problematico (anche se non sempre facile) risulta invece stabilire quando cose del genere siano emerse nella storia *in modo esplicito e consapevole*; solo quello può essere considerato, in senso pieno, il momento della loro nascita storica. Questa avvertenza risulta ancor più opportuna quando la "novità" di cui si tratta venga considerata come l'esito di una certa *rivoluzione*, dal momento che le rivoluzioni *si consumano* – ossia si esprimono in eventi decisivi – entro un intervallo di tempo abbastanza breve (ovviamente, misurato con il metro degli eventi storici), ma sono *preparate* da una gestazione storica di solito tanto più lunga e complessa quanto più profonda e significativa è la rivoluzione stessa. Gli storici non hanno difficoltà ad ammetterlo a proposito delle rivoluzioni politiche (per esempio, nel caso della rivoluzione francese o di quella russa), ma lo stesso vale, in particolare, anche a proposito della nascita della scienza moderna, nascita che è ormai entrata nell'uso considerare come il risultato di una rivoluzione. Da quando è stato diffuso il termine "rivoluzione scientifica" (ossia con la pubblicazione del libro *The scientific revolution* di Rupert Hall nel 1954) si sono moltiplicati gli studi dedicati a mostrare quanto lunga sia stata la preparazione (durata almeno due secoli) di questa rivoluzione, ed è ovvio che la descrizione di tale preparazione dipenda molto dalla scelta di quelle che si considerano le caratteristiche specifiche fondamentali della "nuova" scienza. Ci limitiamo a in-

dicare quelle più rilevanti e comunemente riconosciute, le quali corrispondono ad altrettante “cause” della nascita della scienza moderna che i diversi autori sostengono. Per alcuni il motore principale della rivoluzione scientifica è stata la critica alla fisica aristotelica; per altri è stato il diffondersi di uno spirito naturalistico in seno alla cultura rinascimentale; per altri ancora si tratta dell’abbandono della metodologia deduttiva, a favore di quella induttiva, nello studio dei fenomeni naturali; per altri, infine, il passo essenziale è stato l’adozione di strumenti matematici nell’indagine degli aspetti quantitativi delle realtà fisiche, con esplicita esclusione delle caratteristiche qualitative. Ciascuna di queste indicazioni coglie correttamente un aspetto importante di quel complesso fenomeno che è stato il costituirsi della scienza moderna, ma nessuno di essi merita il riconoscimento di fattore decisivo o determinante che gli viene talora assegnato.

Analizzandoli singolarmente infatti (cosa che qui non faremo) è facile mostrare che ciascuno di essi era stato sviluppato in modi e misure ragguardevoli già in epoche anteriori, o da parte di studiosi rinascimentali che tuttavia non avevano prodotto alcuna scoperta o teoria scientifica, come Bernardino Telesio (1509-1588), Giordano Bruno (1548-1600), Tommaso Campanella (1568-1639) e lo stesso Francesco Bacone (1561-1626), che infatti nessuno considera “scienziati”, ma piuttosto filosofi. Ed è giusto chiamarli in questo modo, dal momento che essi, pur volgendo il loro interesse allo studio della natura, continuavano a proporsi un *tipo di conoscenza* non dissimile da quello della tradizione classica e che, per comodità, chiameremo conoscenza “filosofica” della natura.

Perché la scienza naturale moderna nascesse era necessario che in modo *esplicito e consapevole* venisse superato questo modello della conoscenza a proposito della natura materiale, dopo di che anche tutti gli altri fattori sopra menzionati avrebbero potuto confluire in una sintesi unificante. Questo passo fu compiuto da Galileo Galilei (1564-1642) che, proprio per questo, occupa una posizione di primissimo piano nella fondazione della scienza moderna.

3. I tratti fondamentali della rivoluzione galileiana

Galileo è in perfetto accordo con la tradizione nel considerare la scienza come sinonimo di sapere, di conoscenza, ma afferma esplicitamente che almeno in un caso particolare, ossia in quello

delle “sostanze naturali” (ossia dei corpi fisici), tale impresa conoscitiva non può aver successo se si pretende di cogliere la loro essenza intima, mentre può conseguire risultati se ci si accontenta di conoscere alcune proprietà (“affezioni”) di tali sostanze. Questa precisazione è espressa in forma talmente esplicita e concisa che vale la pena di riportarla integralmente. Scrive Galileo nella terza lettera a Marcus Welser sulle macchie solari:

“[...] o noi vogliamo specolando tentar di penetrar l’essenza vera ed intrinseca delle sostanze naturali; o noi vogliamo contentarci di venire in notizia di alcune loro affezioni. Il tentar l’essenza l’ho per impresa non meno impossibile e per fatica non men vana nelle prossime sostanze elementari che nelle remotissime e celesti [...]. Ma se vorremo fermarci all’apprensione di alcune affezioni, non mi par che sia da desperar di poter conseguirle anco nei corpi lontanissimi da noi, non meno che nei prossimi.”¹

In questo breve passo è possibile cogliere la consapevolezza di una svolta *epistemologica* proposta per la conoscenza della natura, ossia la rinuncia a quella ambizione di cogliere l’essenza che era sembrata sino ad allora fondamentale per istituire un vero sapere, ripiegando sull’obiettivo più modesto di conoscere soltanto alcuni “accidenti” (avrebbero detto i filosofi con terminologia scolastica) delle realtà fisiche, e tuttavia continuando a considerare questa come una *conoscenza*, una conoscenza dunque di altro tipo rispetto a quella che sopra abbiamo chiamato “filosofica”.

Per quanto decisiva ed epocale, una simile scelta non avrebbe condotto alla nascita della scienza naturale moderna se non si fosse accompagnata anche ad altre scelte decisive. In primo luogo occorre che le proprietà dei corpi scelte come oggetto di studio non fossero qualsiasi, bensì di un tipo particolare, e Galileo opta decisamente per quelle che sono quantificabili e matematizzabili, dando un paio di ragioni distinte di questo privilegiamento. La prima è che, fra le qualità che noi attribuiamo ai corpi, ve ne sono alcune legate strettamente ai sensi del soggetto che le percepisce (colori, odori, sapori, suoni e via dicendo) e altre che, viceversa, sono tali che nessun oggetto fisico può esser pensato senza di esse (la figura, il numero, la posizione nello spazio e simili). Queste ultime sono dunque qualità oggettive o “accidenti reali” ed è facile vedere che sono quelle quan-

¹ Galileo Galilei, *Edizione Nazionale delle Opere di G.G.*, Barbera, Firenze 1929-1939, 20 voll., vol. V, pp. 187-188.

tificabili, misurabili, matematizzabili. Per questo Galileo potrà asserire, in un altro famoso passo, che il libro della natura è scritto in caratteri matematici e che non è possibile leggerlo senza possedere tale linguaggio. La seconda ragione è che nella matematica si consegue la certezza delle dimostrazioni in un grado che è solo di poco inferiore alla certezza che in proposito raggiunge l'intelletto divino. Quindi una scienza della natura orientata allo studio delle caratteristiche quantitative dei corpi e capace di leggerle, esprimerle e trattarle matematicamente era destinata a dire cose vere circa la realtà, e anche a raggiungere quella certezza che l'antico ideale di scienza esigeva.

Il rischio era che, in tal modo, si proponesse una scienza naturale aprioristica, dedotta da puri assiomi matematici (come accadrà poco dopo a Cartesio). Galileo invece è consapevole della decisiva importanza, accanto alle "matematiche dimostrazioni", delle "sensate esperienze", ossia del ruolo imprescindibile svolto dalla conoscenza sensibile, erede in ciò dello spirito aristotelico che aveva trovato continuità anche in seno alla tradizione scolastica. Solo che egli completa e supera l'induttivismo di Bacone, in quanto non sostiene che le proposizioni in cui si formula la conoscenza scientifica si raggiungono raccogliendo e vagliando numerosi e differenziati risultati di osservazione, bensì che esse vengono dapprima formulate come *ipotesi* (egli dice "supposizioni") e poi controllate mediante *esperienze*. Con ciò egli imposta la scienza naturale su una nuova base metodologica, introducendo consapevolmente ed esplicitamente il *metodo sperimentale* come suo strumento principe. Grazie a esso viene salvaguardato l'aspetto del rigore deduttivo della conoscenza scientifica. Infatti lo scienziato, muovendo da una conoscenza empirica, formula un'ipotesi che dovrebbe essere in grado di cogliere il fenomeno nella sua generalità e da questa deduce un certo enunciato di tipo empirico che ne sarebbe una conseguenza logica. Passa poi a produrre artificialmente la situazione così dedotta (esperimento) e, se questa si realizza effettivamente, l'ipotesi viene confermata e si ritiene di aver conseguito una conoscenza vera di quel dato aspetto della realtà. Se viceversa la situazione risultante dall'esperimento non collima con quanto è dedotto dall'ipotesi, quest'ultima deve essere modificata. O meglio, Galileo osserva finemente che l'ipotesi come tale continua a valere come un modello matematicamente possibile di un qualche fenomeno fisico, ma non può essere considerata come descrizione di quanto realmente accade in natura.

Da ultimo va sottolineato che Galileo supera esplicitamente anche il tradizionale concetto di osservazione, intesa come uso diretto dei sensi. Sia nella pratica sia nella teoria, egli ricorre sistematicamente agli *strumenti*, che gli servono tanto per compiere le osservazioni quanto per predisporre gli esperimenti. Con ciò si inaugura la consapevolezza che l'osservazione scientifica è normalmente un'*osservazione strumentale*, con tutte le conseguenze epistemologiche che ciò comporta (consapevolezza ancor oggi assente presso non pochi filosofi della scienza che hanno ritenuto di ridurre al contenuto delle percezioni sensibili il momento "osservativo" delle scienze). L'uso dello strumento non solo è indispensabile per effettuare certe "scoperte" fattuali (come quelle ottenute mediante l'uso del cannocchiale e annunciate da Galileo nel *Sidereus nuncius*, e che Keplero non era stato in grado di controllare "osservando" il cielo semplicemente perché non era riuscito a fabbricarsi un cannocchiale adeguato), ma anche per raggiungere la necessaria accuratezza negli esperimenti e per effettuare le *misurazioni* indispensabili per passare dalle qualità alle quantità e alle vere e proprie *grandezze* fisiche. Con ciò si inaugura pure quel connubio fra scienza e tecnologia che diventerà sempre più stretto con l'avanzare della scienza moderna.

In conclusione, con Galileo nasce esplicitamente la scienza moderna in base a certe condizioni chiaramente delineate: essa riguarda specificamente la natura corporea; di essa indaga solo alcuni attributi, che sono quelli quantificabili, misurabili e matematizzabili; le sue affermazioni vengono garantite da un intreccio di matematica ed esperienza che si articola nel metodo sperimentale; il suo accesso alla realtà avviene mediante l'uso di appositi strumenti. Né Galileo né i suoi immediati successori pensarono che tale modello di scienza dovesse applicarsi a tutti i campi del sapere, ma questa consapevolezza epistemologica è venuta diluendosi proprio man mano che si sviluppava la cultura moderna.

4. La nascita della fisica matematica

Oltre a quanto già osservato va detto che Galileo ha applicato il suo nuovo metodo scientifico in concreto non tanto allo studio dei corpi fisici, quanto in sostanza a un solo problema, quello del moto dei corpi materiali (il cosiddetto "moto locale"), iniziando in tal modo la disciplina scientifica della *meccanica*. I suoi successori approfondirono questo solco e nel volgere di un paio di se-

coli portarono questa disciplina ai massimi fastigi, tanto da suscitare la convinzione (come vedremo) che essa fosse in grado di trattare tutti i fenomeni fisici, il che equivaleva a ritenere che materia e movimento fossero sufficienti per comprendere e spiegare l'intero mondo naturale.

Il primo grande scienziato che raccolse l'eredità di Galileo (richiamandosi anche esplicitamente a lui) fu Isaac Newton (1642-1727) che già nel 1687 – ossia solo una cinquantina d'anni dopo la pubblicazione dell'opera scientifica maggiore di Galileo, i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638) – pubblicava un trattato mirabilmente completo e articolato della “nuova scienza”, i *Principi matematici della filosofia naturale*² nei quali materia e moto costituiscono entità primitive che si conservano, mentre è introdotta la forza come causa della variazione del moto (accelerazione). Le forze considerate sono in numero molto ridotto: oltre a quella del rimbalzo elastico fra corpi che si urtano, quella della pressione che un corpo esercita su un altro per contatto e le forze centrifughe e centripete, la nuova forza introdotta da Newton e che governa i più svariati moti dei corpi fisici è quella di gravitazione. Con questi pochi elementi, e utilizzando una rigorosa trattazione matematica, Newton riuscì a costruire, rispettando la struttura assiomatica prediletta dalla scienza classica, un quadro del mondo fisico in cui rientravano correttamente una grande varietà di fenomeni, dalla caduta dei gravi, al moto del pendolo, alle orbite dei pianeti del sistema solare, mentre nell'altra sua importante opera, l'*Ottica*, applicava i principi meccanici allo studio dei fenomeni luminosi. Anch'egli, come Galileo, accompagnava le sue trattazioni tecnicamente scientifiche con riflessioni di tipo epistemologico e metodologico nelle quali si nota, accanto a una sostanziale adesione alle prospettive galileiane, un più accentuato spirito empirista, un ruolo maggiore attribuito all'induzione, mentre l'invito galileiano a non “tentare l'essenza” diviene la prescrizione di rifuggire dal ricorso a “qualità occulte” nella spiegazione dei fenomeni, attenendosi soltanto a quanto è manifesto in esperienza o può essere reso tale.

Nell'ultimo scorcio del Seicento e durante il Settecento la meccanica conobbe sviluppi rigogliosi, coprendo ambiti sempre più ampi e differenziati di fenomeni fisici, non soltanto grazie a scoperte, osser-

² Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, London 1687, tr. it. *Principi matematici della filosofia naturale*, UTET, Torino 1965.

vazioni ed esperimenti, ma soprattutto grazie a un crescente livello di trattazione matematica. Non va infatti sottovalutato il fatto che la costruzione e soprattutto gli sviluppi della meccanica (che ancor oggi viene detta talora “razionale”) poterono e anzi dovettero giovare di progressi nel calcolo infinitesimale, alla cui esplicita fondazione contribuirono in modo largamente indipendente Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) e al cui sviluppo si dedicarono i più grandi matematici del Settecento i quali lo applicarono anche continuamente alla trattazione dei problemi della fisica. Il culmine di questa traiettoria può essere considerato il trattato di Giuseppe Luigi Lagrange (1736-1813), *Meccanica analitica* (1788), che unifica in forma originale tutta una serie di impostazioni e contributi dovuti a molti autori che avevano tradotto in problemi e teoremi di analisi infinitesimale tutta una serie di leggi, principi e metodologie della meccanica, cosicché si può dire che, alla fine del Settecento, la scienza naturale per eccellenza (giacché anche altre scienze avevano cominciato a svilupparsi) era la *fisica matematica* ed è proprio questa, come vedremo, che finì con l'incarnare il paradigma della scientificità in quanto tale.

5. La metafisica implicita nella rivoluzione scientifica

Auguste Comte (1798-1857), padre del positivismo ottocentesco, ha enunciato uno schema secondo il quale, a suo giudizio, si articola la storia di un settore di conoscenza che pervenga a piena maturità. Si inizia con uno “stadio teologico” in cui i fenomeni sono spiegati come effetto di cause soprannaturali, si passa a uno “stadio metafisico” in cui i fenomeni vengono compresi e spiegati in base a principi universali e astratti e si culmina con lo “stadio positivo” (ossia quello scientifico) in cui ci si limita alla scrupolosa registrazione dei dati empirici e, al massimo, di certe regolarità nel presentarsi dei fenomeni, senza avventurarsi in interpretazioni e spiegazioni. Questo schema non corrisponde affatto a un'effettiva ricostruzione dell'evoluzione storica delle scienze, ma è diventato un modo di pensare diffusissimo presso il grande pubblico. Ma la concezione positivista ignora un aspetto fondamentale della conoscenza (che vale anche per la conoscenza scientifica): ogni conoscenza di qualcosa di nuovo è resa possibile dalla presenza di un precedente quadro di riferimento conoscitivo che costituisce lo “sfondo implicito” grazie al quale il fatto nuovo appare *intelligibile*, ossia comprensibile all'in-

telletto. Questo quadro di riferimento che ci permette di “interpretare” i *dati* grezzi in modo che diventino *fatti* costituisce il momento *ermeneutico* (ossia interpretativo) preliminare a ogni discorso assertorio ed è corretto chiamarlo un orizzonte *metafisico* in uno dei due sensi fondamentali che questo concetto ha conosciuto lungo la storia del pensiero. In un senso particolare, la metafisica è una dottrina degli aspetti o dimensioni della realtà che non rientrano nel mondo dell’esperienza sensibile (ed è in questo senso che la scienza *naturale* moderna esclude il ricorso alla metafisica come appello a realtà soprasensibili per spiegare i fenomeni naturali). In un altro senso, già esplicitato da Aristotele, la metafisica è lo studio delle caratteristiche della “realtà in quanto tale”, e dunque dei concetti e principi più universali del reale, quelli che si incontrano in qualunque realtà e che, pertanto, sono all’opera in qualunque tipo di conoscenza. Non solo, ma questo discorso si deve ripetere anche per lo studio di settori o tipi più particolari della realtà: per ciascuno di essi esistono concetti e principi caratteristici che costituiscono il quadro ermeneutico generale di riferimento per quel dato studio e questi concetti e principi, pur potendosi ritenere ottenuti a partire dall’esperienza, non hanno natura empirica o sensibile.

Queste due condizioni valgono anche per la costituzione della scienza naturale moderna. Non solo essa utilizza, specializzandoli, principi metafisici *general*i come quello della permanenza della sostanza (la massa, il moto, lo spazio e il tempo) e dell’azione di cause (le forze), ma accanto a questi ne utilizza altri *particolari*, che si possono ricondurre alla visione dell’antico *atomismo* di Democrito ed Epicuro, secondo cui tutti i corpi naturali sono costituiti da atomi materiali indivisibili sottoposti unicamente alle forze di reciproca collisione durante il loro cadere nel vuoto per effetto del proprio peso. Già Galileo enuncia occasionalmente la sua adesione a questa metafisica della natura, che viene accolta in modo del tutto esplicito da Newton e da una larga schiera di suoi immediati predecessori e successori, diventando il quadro ermeneutico di riferimento “invisibile” di tutta la meccanica newtoniana, che è in sostanza una meccanica *corpuscolare*, o del “punto materiale” (ente ideale dotato di massa e privo di dimensioni spaziali) sottoposto all’azione di varie forze che ne mutano il moto.

Grazie a manipolazioni matematiche rese possibili dal calcolo infinitesimale, questa meccanica potrà essere estesa anche ai sistemi di punti, costituenti in particolare i solidi e i fluidi.

6. Il dualismo cartesiano

Sarebbe troppo facile, ma anche superficiale e scorretto, affermare che questa metafisica implicita nella rivoluzione scientifica era *materialista*. Infatti che cosa è più razionale che postulare principi materiali per spiegare i fenomeni della natura materiale? Galileo e la maggior parte dei suoi successori mantennero chiaro che questa scienza riguardava soltanto il mondo fisico. Tuttavia è innegabile che il fascino della nuova scienza inclinava altri intellettuali a sostenere *ch’ tutto il reale* fosse spiegabile ricorrendo a tali principi, e questa era per davvero un’extrapolazione verso una *metafisica materialista* che preoccupò non pochi ambienti culturali e che, in particolare, spinse René Descartes o Cartesio (1596-1650) a proporre un ben noto “compromesso”, distinguendo *due sostanze* separate, la materia, caratterizzata secondo lui dall’estensione nello spazio (*res extensa*) e lo spirito immateriale (*res cogitans*); la scienza è totalmente competente nel primo campo e non tocca il secondo, che è il settore esclusivo di competenza della metafisica e della teologia.

Non interessa per ora discutere i limiti e gli inconvenienti di questo “dualismo”. Sta di fatto che lo stesso Cartesio costruì modelli meccanici del vivente, compreso l’uomo nei suoi aspetti non strettamente spirituali, ma diversi autori non accettarono le sue cautele e restrizioni e, in particolare, negarono ogni realtà spirituale e diedero dell’uomo stesso una lettura totalmente materialista; si pensi alla famosa opera di Julien Offray de La Mettrie (1709-1751), *L’uomo macchina* (1748). Da quel momento la possibilità e il rischio di extrapolazioni fatte a partire dalla scienza nella direzione di una metafisica materialista si sono ripetute nella storia e continuano anche oggi, pur non essendo giustificate dalla scienza, ma riposando soltanto su una *metafisica implicita* i cui titoli debbono essere discussi e vagliati con argomenti, appunto, metafisici e non ristrettamente scientifici.

7. La consacrazione kantiana della nuova scienza come paradigma del sapere

Iniziando la Prefazione alla seconda edizione della *Critica della ragion pura* (1787), Immanuel Kant (1724-1804) chiarifica quali debbano essere le caratteristiche di un autentico sapere, che egli continua a chiamare “scienza” in conformità con la terminologia tradizionale. Esse sono il requisito della cumulatività (ossia il fatto di re-

gistrare effettivi progressi e acquisizioni) e quello dell'accordo fra gli specialisti del relativo campo d'indagine. La disciplina che, tradizionalmente, era stata ritenuta come il paradigma della scientificità era la metafisica, ma è proprio a proposito di questa "regina di tutte le scienze" che la storia del pensiero ha mostrato l'assenza dei due requisiti sopra enunciati, cosicché la domanda fondamentale cui si propone di dar risposta la *Critica della ragion pura* è una sola: "se sia possibile la metafisica come scienza". L'avvio alla ricerca di una risposta è dato da una *constatazione di fatto*: ci sono almeno due discipline che hanno raggiunto lo statuto sicuro di scienza, la matematica e la fisica; la prima sin dall'antichità, la seconda molto più tardi poiché (dice Kant scrivendo nel 1787) "non è passato più di un secolo e mezzo circa" da quando, dopo gli stimoli di Bacone, uomini come Galileo, Torricelli e Stahl hanno iniziato la nuova scienza sperimentale della natura. Per quanto concerne la metafisica, invece, nulla di tutto questo è accaduto.

Pertanto, nel caso di matematica e fisica, non si domanda se siano possibili come scienze: *che* esse lo siano è posto fuori dubbio e quindi si tratterà di vedere *come* sono possibili, nella speranza di trarre da tale studio indicazioni di carattere generale che valgano per ogni "scienza" possibile e, in base a esse, comprendere *perché* la metafisica (tradizionalmente intesa) non sia riuscita a conseguire un simile statuto scientifico. L'esito di questa indagine è che si ha conoscenza soltanto se l'intelletto applica ai contenuti delle intuizioni sensibili le forme pure (o categorie) che lo costituiscono. Il risultato di questo incontro è la "sintesi a priori" che costruisce gli *oggetti* della conoscenza, i quali sono solo fenomeni e non le cose in se stesse, ma possono essere conosciuti in modo universale, necessario e certo. Non ha qui interesse esporre come Kant elabora, sia nella prima *Critica* sia in altre opere, l'ulteriore sviluppo di questo modello conoscitivo mostrandone l'applicazione dettagliata alle scienze naturali, né come in base a esso giunga ad affermare che in ogni tipo di conoscenza v'è tanto di scienza quanto vi è di matematica. Non ci soffermiamo neppure a precisare come egli giustifichi l'insopprimibile adesione dell'uomo alle "idee" metafisiche tradizionali, riducendola a una "fede" di tipo morale, mentre recupera un senso tutto suo di "metafisica come scienza" concependola non più come studio delle caratteristiche più universali dell'essere, bensì delle caratteristiche più universali e a priori del conoscere. Quanto ci interessa è semplicemente constatare il fatto che, con Kant, la scienza fisico-matematica moderna as-

surge a paradigma della conoscenza e del *sapere in generale*, e ciò segna in modo esplicito la transizione alla *modernità* che proprio per questo si caratterizza per un suo modo specifico di concepire la *razionalità*. Non è un caso che Kant viva nell'età dell'Illuminismo e abbia addirittura dedicato uno scritto al tema "che cos'è l'Illuminismo". Fa parte del comune modo di pensare considerare l'Illuminismo come l'epoca della celebrazione della ragione, ma raramente ci si rende conto che il tipo di razionalità più influente era quello newtoniano, ossia quello della nuova scienza. Voltaire (1694-1778), uno dei padri riconosciuti dell'Illuminismo, pubblicava nel 1718 gli *Elementi della filosofia di Newton*, mentre la sua amante, la marchesa di Châtelet, traduceva in francese i *Principia* del grande scienziato inglese. Si determinava così nella stessa Francia la vittoria del newtonianesimo sul cartesianesimo, che ebbe comunque anche fondamenti di natura strettamente scientifica. Anche se non sarebbe corretto ridurre la razionalità dei "lumi" alla semplice razionalità scientifica, è fuori dubbio che il culto del cosiddetto "spirito scientifico" era generale e si accompagnava pure a un impegno nella diffusione della cultura scientifica, anche di tipo divulgativo.

Possiamo dire in conclusione che, pur non annoverando il Settecento, sul piano strettamente scientifico, figure eccezionali e contributi originali come quelli dovuti nel Seicento a Galileo, Cartesio, Fermat, Newton, Leibniz, Harvey, Malpighi (ed essendo caratterizzato dall'opera di notevoli continuatori e sistematori dei cammini da costoro aperti), è nel Settecento che si consolida una vera e propria cultura scientifica e si plasma in maniera definitiva il volto della civiltà moderna, così come del resto accade sul terreno politico (dopo la "preparazione" del Cinquecento, nel Seicento si consolidano le forme degli stati moderni, ma solo nel Settecento si compie la rottura definitiva con le strutture medioevali e le loro eredità e sorgono gli stati veramente moderni). Come si è visto, la "rivoluzione scientifica" ha recato un apporto notevolissimo (e tuttora non sufficientemente valutato) alla costituzione di questa civiltà moderna, apporto di cui non tardarono a manifestarsi effetti profondi anche sulla vita della società civile.

SCIENZA E TECNOLOGIA: LA CIVILTÀ DELLE MACCHINE

1. Dalla tecnica alla tecnologia

È utile impiegare una distinzione terminologica, quella fra *tecnica e tecnologia*, distinzione facilitata lessicalmente dal fatto che entrambi questi sostantivi esistono in italiano e nelle lingue neolatine, mentre in inglese, per esempio, il sostantivo astratto *technology* copre entrambe le accezioni, pur esistendo i due aggettivi distinti *technical* e *technological*³. La distinzione che intendiamo proporre è ovviamente convenzionale ma, come tutte le convenzioni, si giustifica in base alla sua ragionevolezza e utilità.

Senza entrare in troppe sottigliezze, diremo che la tecnica corrisponde a quella caratteristica fondamentale della specie umana per cui essa sopravvive e progredisce adattando l'ambiente esterno a se stessa, invece che adattandosi all'ambiente, come accade per le altre specie animali. Secondo un altro modo di esprimersi, si vuol dire che ciò corrisponde al fatto che l' *homo sapiens* è anche *homo faber* (e, si può aggiungere, che è *faber* in quanto *sapiens*, non meno di quanto sia *sapiens* in quanto *faber*). Tutte cose ben note e sottolineate, in base alle quali si riconosce che l'uomo, sin dalle sue origini, è stato inventore di *strumenti*, di *utensili*, di *artefatti*, cosicché il suo *ecosistema* – ossia il sistema *nel quale vive e del quale vive* – è sempre stato un intreccio di naturale e artificiale (o, come talora si dice, di “natura” e “cultura”). Chiamiamo invece tecnologia quella forma particolare di tecnica che l'umanità ha sviluppato utilizzando e applicando le conoscenze della *scienza naturale moderna*. Si tratta quindi di una sottoclasse della tecnica che ha potuto svilupparsi da principio presso quelle popolazioni che avevano dato inizio alla scienza naturale moderna e che, per lungo tempo, ne sono rimaste le cultrici pressoché esclusive (ossia le popolazioni dell'Occidente)

³ Si veda in particolare il capitolo quarto dell'opera: Evandro Agazzi, *Il bene, il male e la scienza*, Rusconi, Milano 1992.

e si è poi estesa, ma in modo solo parziale, ancorché ampio, ad altre regioni del pianeta.

La tecnica primitiva e quella antica erano molto inserite nel “mondo della vita” e possono essere viste come il ritrovamento di strumenti sempre più perfezionati ed efficaci per soddisfare i bisogni fondamentali dell’uomo, sia quelli più strettamente biologici e materiali, sia quelli di ordine più elevato, legati alla sua convivenza civile e alle manifestazioni della sua attività simbolica, del suo sentimento religioso, della sua creatività artistica e intellettuale. Col Rinascimento, la nascita della nuova scienza naturale fa subito sorgere il sogno, divenuto rapidamente autentico progetto, di sfruttare la scoperta delle leggi naturali per dominare la natura stessa. Da questo punto di vista, per altro, l’uso della nuova scienza non si discosterebbe troppo dai progetti di alchimia e magia, che pure miravano a dominare la natura sfruttando la conoscenza dei suoi “segreti” (e alcuni studiosi hanno insistito su questi elementi di affinità e continuità). Tuttavia è proprio il carattere astratto e matematico della nuova scienza che conferisce a tale progetto una veste nuova. Il dominio della natura, infatti, non è perseguito cercando, per così dire, di “piegarla” ai bisogni dell’uomo, sfruttando astutamente i suoi segreti ormai svelati (potremmo considerare questo come il “progetto baconiano” della nuova scienza), bensì *sostituendola* mediante costrutti artificiali: le *macchine*. La macchina moderna, infatti, non è il puro ricavo di esperienza ed osservazione, bensì il frutto di un progetto inizialmente astratto, è la concretizzazione di un modello razionale, di cui “si sa già” come dovrà funzionare e perché funzionerà in quel dato modo prima ancora di averla costruita e “vista”, in quanto sfrutta in condizioni ottimali e idealizzate quelle leggi di natura che nel mondo naturale non riescono mai ad agire allo stato puro. La macchina, in altri termini, non è né “ritrovata”, né “scoperta”, bensì *inventata*. Il passaggio su larga scala dall’utensile alla macchina non comporta soltanto una complessificazione dello strumento materiale (che con la macchina diviene sempre più intriso di intellettualità, di astrattezza, di “scientificità”), ma anche un mutamento del rapporto dell’uomo con la tecnica. L’utensile serve di solito a soddisfare un bisogno univoco e piuttosto elementare, permane una sorta di mediazione diretta rispetto alla natura, e per di più chi possiede l’utensile è anche colui che lo usa e conosce il fine per cui lo usa. Nel caso della macchina, già il suo costo elevato ne rende accessibile la proprietà solo a pochi, e costoro non sono in generale coloro che effettivamente la

usano. Inoltre, per quanto il suo scopo apparente sia quello di produrre qualcosa, tale produzione non ha più il fine e il senso di soddisfare bisogni umani, ma semplicemente quello di assicurare un *profitto* che ripaghi abbondantemente il denaro investito dal proprietario della macchina nel suo acquisto e nella sua manutenzione. In tal modo la tecnologia si avvia a servire un fine astratto, il profitto appunto, al quale risulta indifferente “che cosa” si produce, purché il bene prodotto si venda vantaggiosamente. Se esso serve a soddisfare autentici bisogni, tanto meglio, ma se il soddisfacimento di un certo reale bisogno non risultasse remunerativo, lo si lascerà insoddisfatto e si cercherà invece di far sorgere nella collettività bisogni artificiali, il cui soddisfacimento rechi un profitto più rapido, sicuro e abbondante. È questo, dal più al meno, il quadro ben noto della *civiltà industriale* e del consumismo che la caratterizza. Esso non è comunque lo stadio definitivo dello sviluppo della civiltà tecnologica, come vedremo più avanti.

2. La macchina come modello di intelligibilità

Le caratteristiche della macchina moderna sopra descritte, ossia il suo essere essenzialmente un’applicazione di conoscenze scientifiche esplicite, che ne rendono comprensibile e spiegabile la struttura e il funzionamento addirittura prima che essa venga concretamente costruita, possono venir espresse dicendo che in essa non c’è nulla di “misterioso”. Le leggi naturali consapevolmente utilizzate e applicate a parti coordinate secondo un disegno o progetto intenzionalmente predisposto fanno sì che tutto quanto in essa accade e le funzioni di cui essa è capace risultino chiaramente comprensibili e spiegabili, per quanto apparentemente stupefacenti per chi guardi la macchina “dal di fuori”. Un fatto del genere non ha cessato di valere anche a proposito delle macchine più complesse e straordinarie che è capace di produrre la tecnologia contemporanea. In forza di questo fatto è lecito affermare che proprio la tecnologia moderna costituisce la realizzazione più riuscita dell’antico ideale greco della *téchne*, ossia dell’operare efficace fondato sulla conoscenza delle *ragioni* (del perché) della sua efficacia. Tali ragioni non sono più offerte da una conoscenza teorica di tipo metafisico generale, bensì dal sapere teorico della scienza naturale. Grazie a questo suo essere profondamente intrisa di teoria, la macchina moderna si prestò sin dagli inizi a svolgere una formidabile

funzione di tipo *intellettuale e teorico* nella conoscenza del mondo naturale, che possiamo delineare nel modo seguente: quando ci troviamo di fronte a un oggetto naturale complesso e cerchiamo di comprenderne e spiegarne il comportamento, è spontaneo che tentiamo di rappresentarlo idealmente come una macchina, ossia come un insieme organizzato di parti che funziona in conformità con leggi naturali note. Se questa rappresentazione ideale ha successo (nel senso che riteniamo “inessenziali” le caratteristiche di quell’oggetto che non abbiamo rappresentato dentro tale schema idealizzato), saremo convinti di averne adeguatamente spiegato il comportamento, di aver “compreso tutto” di esso. In tal modo il *modello meccanico* escogitato svolge, per un verso, la funzione concettuale del *modello matematico* che viene solitamente offerto da una spiegazione teorica di tipo strettamente scientifico, con l’aggiunta, per altro verso, di un supplemento di concretezza derivante dal fatto che la macchina (ancorché soltanto immaginata) è un’entità materiale dello stesso tipo dell’oggetto materiale che si sta studiando, essa ne è un *modello ontologico* certamente semplificato, ma abbastanza vicino a quanto viene *reso intelligibile* (ossia comprensibile all’intelletto) mediante la modellizzazione.

Come già accennato nel capitolo precedente, l’utilizzazione della nuova scienza della meccanica per costruire modelli meccanici di oggetti naturali (ossia per rappresentarli come altrettante macchine) iniziò ben presto applicandosi allo studio degli organismi viventi. Già Galileo fornì i primi abbozzi di questa lettura del vivente, che si sviluppò rapidamente nelle teorie dell’animale-macchina e dell’uomo-macchina già dettagliatamente elaborate da Cartesio e poi da molti altri studiosi. L’organismo e le sue *parti* venivano presentati come complessi sapientemente predisposti di leve, molle, vasi, tubi, ingranaggi, pompe, che davano luogo a una vasta serie di *movimenti* fra loro collegati, secondo le leggi della meccanica dei solidi, dei fluidi, dei gas, e si postulava che questi “meccanismi”, più o meno chiaramente individuabili a livello delle parti visibili dei corpi, si ritrovassero anche nelle parti più riposte e invisibili poiché, si diceva, la natura è infinitamente più sapiente e abile dell’uomo, che pure è in grado di produrre per diletto stupefacenti “automi” che esibiscono comportamenti molto complessi e addirittura assai simili a quelli di alcuni animali.

Questo ulteriore aspetto merita un’attenzione speciale. Infatti esso accresce in modo notevole la plausibilità *ontologica* del modello

meccanico: un conto è dire semplicemente che *si può immaginare* una macchina capace di riprodurre determinati comportamenti e funzioni di un dato ente naturale (si tratta pur sempre di una “rappresentazione”), un altro conto è *produrre concretamente* una macchina di tal genere. Certamente, si tratterebbe pur sempre di un modello, di una rappresentazione, però a quel punto ci si pone la domanda: “Ma che cosa c’è *in più* nell’oggetto che non rientra nel modello e che lo rende *diverso per natura* dal modello e non soltanto per qualche inessenziale serie di dettagli?” È la domanda attraverso la quale si fa strada il *riduzionismo*, ossia la prospettiva filosofica secondo cui le diverse realtà naturali *non sono altro che* macchine di un tipo più o meno complesso.

In effetti, limitandoci all’interpretazione degli organismi viventi, man mano che nuove scienze naturali venivano sviluppandosi accanto alla meccanica, il vivente nel suo complesso o certe sue parti venivano interpretati come macchine di nuovo tipo: chimiche, termodinamiche, elettromagnetiche, cibernetiche, che si integrano fra loro. Quanto questo modo di pensare si sia dilatato risulta dalla considerazione di espressioni assai comuni nel nostro modo di parlare: quante volte diciamo, per esempio, che ci piacerebbe conoscere i “meccanismi” del nostro cervello, delle spinte emotive, del mercato, della concorrenza, della politica, della struttura sociale e via dicendo. Sotto l’uso di questo termine si cela inconsciamente la concezione secondo cui questi diversi sistemi sono assimilabili a delle macchine e che potremmo comprenderli e padroneggiarli se riuscissimo a cogliere il loro modo di funzionare come macchine.

A questo uso “modellistico” della macchina come strumento interpretativo delle più disparate realtà è venuta aggiungendosi, oggi, anche una imponente proliferazione di macchine che *imitano* (o, come si dice spesso impiegando un cattivo anglicismo, “simulano”) non poche funzioni “naturalistiche”, ossia che sono in grado di eseguire le medesime operazioni che esegue un organo, come il rene, il cuore o il cervello e ciò sta favorendo il diffondersi dell’opinione che tali organi *non siano altro che* macchine di un certo tipo. Avremo modo di discutere approfonditamente su questo tema in seguito, ma è opportuno segnalarlo sin d’ora, dal momento che in esso sono implicati alcuni aspetti di rilievo, quali il graduale attenuarsi dei confini tra naturale e artificiale e l’assurgere dell’artificiale a categoria di lettura dell’intera realtà. In conformità con questo sviluppo, come vedremo, l’epoca contemporanea ha introdotto parecchie “scienze dell’artifi-

ziale” e la tecnologia sta in tal modo diventando non più essenzialmente uno *strumento* della ricerca scientifica, ma addirittura un suo *oggetto*. Ma ciò è conseguenza del fatto che la tecnologia (non meno di quanto si è rilevato a proposito della scienza) rischia di trasformarsi *da sistema autonomo a sistema chiuso*, con una serie di pericoli sui quali dovremo soffermarci.

3. La rivoluzione industriale

La creazione delle macchine moderne introduce gradualmente un notevole cambio di prospettiva rispetto al modo in cui l'artificiale si inserisce nel mondo dell'attività umana. Come già abbiamo sottolineato in precedenza, l'artificiale ha caratterizzato sin dai primordi la civiltà umana e una sua espressione tipica è stata la creazione di strumenti e utensili via via più perfezionati ed efficaci per l'esecuzione di una vasta gamma di operazioni materiali connesse alla sopravvivenza e alla soddisfazione di parecchie esigenze anche di tipo spirituale. L'utensile e lo strumento possono esser considerati come una specie di “prolungamento” e “potenziamento” delle naturali capacità umane, poiché non operano se non sono direttamente impiegati e sapientemente diretti dalla mano dell'uomo che, appunto per questo, viene qualificato come *faber*, ossia come artigiano; essi non hanno una capacità di operazione autonoma. Anche le macchine premoderne conservavano in larga misura questa caratteristica, pur esibendo in molti casi una certa indipendenza dall'intervento diretto dell'operatore umano (si pensi ai mulini ad acqua o a vento già introdotti in epoca medioevale).

Possiamo riassumere tutto questo dicendo che la macchina tradizionale continuava a essere uno “strumento” che aiutava l'attività dell'uomo *moltiplicando* le sue capacità di prestazione. La macchina moderna, invece, è tipicamente un artefatto piuttosto complicato che *sostituisce* l'opera dell'uomo nell'esecuzione di una ben precisa e delimitata operazione che, in un primo tempo, è semplice e banale ma che, col passar dei decenni, diventa sempre più complessa. Ovviamente l'utilizzo di una macchina per uno scopo tanto elementare e delimitato deve avere una giustificazione, e questa si rivela subito di tipo economico: la sostituzione di una mano d'opera umana mediante una macchina deve risultare vantaggiosa perché consente un notevole aumento quantitativo del prodotto finale ottenuto a parità di costi. Non si tratta, quindi, di una semplice conseguenza di un'af-

finamento della tecnologia, bensì di una diversa organizzazione del lavoro e della produzione. L'affinamento della tecnologia, effettivamente, ci fu durante il Seicento e il Settecento e si manifestò mirabilmente nella costruzione di *strumenti scientifici*, grazie a cui venne sempre più rinsaldandosi quell'intreccio fra progresso scientifico e progresso tecnologico di cui già si è detto. Per circa un secolo e mezzo, invece, l'ingresso della macchina come sostituto dell'opera dell'uomo avvenne gradualmente come conseguenza di profondi mutamenti nella produzione di alcuni beni di consumo e sfociò in quella che gli storici chiamano *rivoluzione industriale*.

Come la “rivoluzione scientifica”, così anche quella industriale conobbe un lungo periodo di preparazione e, anche in questo caso, dobbiamo notare che il termine è stato introdotto in epoca relativamente recente, ossia verso la metà dell'Ottocento (lo si incontra in Engels, Mill, Marx a ridosso del 1850 ed è consacrato nel titolo dell'opera di Arnold Toynbee, *Conferenze sulla rivoluzione industriale in Inghilterra* del 1884). Ciò è anche conseguenza del fatto che il termine “industria” ha radici antiche e ha assunto lungo i secoli significati molto diversi e abbastanza lontani dal riferimento attuale che noi facciamo a un particolare tipo di attività economica e produttiva (si pensi alla differenza ancor oggi del tutto ovvia tra il significato degli aggettivi “industrioso” e “industriale”). In sostanza, il riferimento attuale spontaneo del termine “industria” è la “fabbrica”, anche qui intesa in un senso molto nuovo rispetto alla tradizione, ossia intesa come luogo in cui lavorano *operai* addetti a far funzionare *macchine*. È in seguito a queste mediazioni storiche che la macchina è venuta a simbolizzare la sostanza della rivoluzione industriale, ma ciò non deve farci trascurare quella componente non meno essenziale che è costituita dalla diversa organizzazione del lavoro e della produzione.

Per ricostruire un simile sviluppo preparatorio serve proprio rintracciare le prime cospicue presenze di istituzioni che corrispondono abbastanza bene a quanto intendiamo noi oggi per “fabbrica”. Si tratta di strutture chiamate talvolta “opifici”, talvolta “manifatture” e che si moltiplicarono in paesi nei quali aveva assunto notevole importanza economica la produzione su larga scala di alcune merci, quali i tessuti in Inghilterra e la vetreria in Francia (già nel corso del Seicento, giustificando l'asserzione che, in quei paesi, pur restando l'agricoltura la maggior fonte di ricchezza, si stava imponendo accanto a essa anche l'“industria” dei tessuti e del vetro). Anche se le

tecniche usate non differivano da quelle impiegate dagli artigiani nelle loro botteghe, in queste istituzioni incominciarono sempre più a lavorare schiere di operai addetti a mansioni specifiche e delimitate e a far funzionare delle macchine.

Questo modo di produzione richiede l'investimento, per ogni persona addetta, di un capitale molto maggiore di quello necessario per far lavorare la terra, ma in compenso può fornire in breve tempo una grande quantità di prodotti da mettere sul mercato, consentendo di realizzare profitti di gran lunga superiori a quelli garantiti dall'agricoltura. Sono gli inizi del capitalismo industriale che si sviluppa con modalità e rapidità diverse nei vari paesi d'Europa e trova nell'Inghilterra di fine Settecento la sua terra di maggior rigoglio. In questa fase le macchine contano già parecchio, ma non si può dire ancora che si tratti di macchine che incarnano i progressi delle scienze naturali. In sostanza si tratta di ingegnose scoperte di "inventori" che proseguono il corso millenario della tecnica, fatto di sagacia, intelligenza, spirito d'osservazione, perizia pratica (questo corso si svolge parallelo allo sviluppo della scienza e per molti aspetti ne è indipendente, tant'è che ancor oggi continua a fiorire non senza fecondi interscambi con il mondo della scienza e della vera e propria tecnologia).

Viceversa è la "parcellizzazione" del lavoro che già si staglia come caratteristica saliente del modo di produzione industriale e che è cosa diversa dalla "divisione del lavoro" instauratasi sin dagli albori della civiltà. La divisione del lavoro significa che ogni persona dentro una comunità è deputata a compiere un lavoro ben determinato e in sé compiuto (contadino, fabbro, guerriero, medico, scrivano, avvocato, insegnante e via dicendo). Secondo alcune celebri dottrine – per esempio quella di Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) – tale divisione del lavoro è stata la base delle ineguaglianze sociali e della divisione delle società in classi sociali. La parcellizzazione del lavoro, invece, consiste nel fatto che una certa lavorazione viene suddivisa in tante *operazioni elementari* e che una data persona viene incaricata, entro un ciclo produttivo complesso, di eseguire sempre e soltanto una sola di tali operazioni. La rivoluzione industriale attua proprio questo procedimento ed è interessante notare come autori illustri del tempo vi trovassero una ragione fondamentale della superiorità di quel tipo di produzione rispetto alla produzione artigianale.

Si vede facilmente, da quanto detto, che la rivoluzione industriale, per quanto salutata con ottimismo da molti intellettuali che oggi di-

remmo "progressisti", conteneva già in radice alcuni elementi destinati a sovvertire profondamente la struttura delle società occidentali (del resto, è questa la ragione per cui è corretto qualificarla come "rivoluzione"), con conseguenze in parte positive e in parte negative, che avrebbero rapidamente condotto al sorgere di quella che si suole chiamare la *questione sociale*, ossia il problema della protezione dei diritti dei lavoratori che risultavano semplicemente sfruttati nell'ottica strettamente capitalistica della prima industrializzazione. Queste conseguenze negative e la ribellione nei loro confronti, di fatto, si manifestarono molto presto, ossia proprio in coincidenza con il decollo della rivoluzione industriale in Inghilterra alla fine del Settecento. La "questione sociale" era destinata ad agitare profondamente tutto l'Ottocento, dando luogo alla nascita delle dottrine e dei movimenti socialisti, nonché delle dottrine marxiste e innescando nel Novecento la rivoluzione russa. Esorbita dai limiti di quest'opera, per altro, occuparci di questi impegnativi temi.

Accenneremo viceversa, in breve, ai veri e propri sviluppi della rivoluzione industriale, della quale abbiamo per ora soltanto considerato gli esordi. Limitandoci al Settecento, possiamo dire che, sorvolando su tutta una serie di invenzioni e miglioramenti tecnici di macchine impiegate specialmente nel settore tessile e in quello minerario e metallurgico, la maggiore novità è rappresentata dall'invenzione della *macchina a vapore*. Prodromi della sua realizzazione si riscontrano negli ultimi anni del Seicento e nei primi anni del Settecento (Savary, Papin, Newcomen), con macchine che fungevano essenzialmente da pompe aspiranti ed erano utilizzate per prosciugare l'acqua di infiltrazione nelle miniere e per il sollevamento d'acqua con diverse finalità pratiche.

Nel 1769 James Watt (1736-1819) brevettò la prima macchina a vapore che sfruttava pienamente la trasformazione del calore in lavoro meccanico e che, grazie a ulteriori perfezionamenti e in particolare all'introduzione di opportuni rotismi, traduceva altresì il movimento rettilineo dello stantuffo in movimento circolare. La nuova macchina venne rapidamente sostituendo in molte applicazioni la ruota idraulica, che per secoli era stata (unitamente al mulino a vento) l'unico tipo di sfruttamento di una fonte di energia diversa dal lavoro umano e animale a disposizione dell'uomo. Essa trovava applicazione anche in nuovi settori della produzione industriale ma, soprattutto, aveva un rendimento assai maggiore cosicché è corretto affermare che costituì uno dei fattori propulsivi più notevoli della rivoluzio-

ne industriale e assurde in certo senso a simbolo di questa. Nonostante tutto ciò, comunque, va riconosciuto che neppure con la macchina a vapore si può parlare di un significativo impatto della nuova scienza sulla tecnologia; la macchina a vapore, infatti, fu il risultato di ingegnose invenzioni e affinamenti squisitamente *tecnici*, che non si avvalevano se non in misura molto marginale di conoscenze teoriche. Lo studio scientifico dei processi di trasformazione del calore in lavoro sarà infatti tipico dell'Ottocento e, anzi, sarà proprio stimolato dalla presenza della macchina a vapore, dando luogo alla nuova branca della fisica nota come termodinamica. Tuttavia tale processo non si produsse né per caso né all'improvviso. Esso fu preparato da una sorta di impregnazione della cultura europea da parte di molteplici elementi della conoscenza e della prassi scientifica che si diffusero capillarmente già verso la fine del Settecento.

4. La dilatazione senza precedenti del mondo artificiale

Come si è già sottolineato, la nuova scienza si avvaleva essenzialmente di appositi *strumenti* di osservazione e misura, e questi non tardarono a trovare applicazione anche al di fuori dei laboratori scientifici, per esempio, direttamente nel campo della navigazione o come componenti (costosi ma vantaggiosi) che miglioravano l'efficienza di varie macchine. La chimica stava ancora incamminandosi sulla strada della scientificità, ma già forniva applicazioni tecnologiche nel campo della lavorazione dei metalli e della preparazione degli esplosivi, contribuendo in tal modo agli sviluppi di quella che potremmo già chiamare un'industria militare. Ma forse l'indice più interessante di questo familiarizzarsi del pubblico con la divulgazione e la strumentazione scientifica è costituito dal fatto che si venne formando un non banale mercato di strumenti scientifici a uso essenzialmente dimostrativo, venduti in eleganti cassette e adatti a illustrare le leggi della meccanica e del magnetismo, oppure lastre e oggetti per l'uso del microscopio da parte del dilettante, nonché modelli concreti di figure geometriche utilizzabili per l'apprendimento della geometria solida. Insomma, possiamo asserire che in questo secolo si era venuta formando quella che diremmo unacultura scientifica accanto alla *cultura letteraria* ereditata dalla tradizione e il fatto notevole (del quale purtroppo oggi dobbiamo lamentare la scarsa presenza) è che queste "due culture" dialogavano e si integravano con molta naturalezza.

La concezione tradizionale del corso delle vicende umane, che si ritrova in moltissime culture, è quella secondo cui lo stato di perfezione, felicità, saggezza, benessere era quello in cui l'umanità si trovava alle *origini* (come narrano miti presenti presso le più diverse civiltà del pianeta). Il seguito è storia di decadenza, della quale vengono fornite giustificazioni quasi sempre relazionate con qualche colpa degli uomini. Pertanto lo sforzo per migliorare lo stato dell'umanità deve essere una qualche forma di "ritorno alle origini". L'età moderna europea inaugura una visione opposta: l'umanità si sforza di progredire e di avanzare verso un futuro che sarà migliore del passato, non solo perché è in grado di conservare quanto di buono il passato ha prodotto, ma soprattutto perché può superarne limiti ed errori. Ciò grazie all'impegno delle forze autonome di cui l'uomo dispone, costituite dalla sua ragione e dalle sue capacità operative, di cui proprio la scienza e la tecnologia sono l'espressione più potente e cospicua.

Una concezione di questo genere, già esplicitamente enunciata nel Settecento, diventa dominante nel secolo successivo, nel quale, in particolare, si assiste al massiccio sviluppo dell'applicazione tecnologica delle scienze, con una serie impressionante di conseguenze sul modo di vivere degli uomini e sulla struttura della società. L'impegno bellico imposto a tutta Europa dalle campagne napoleoniche aveva imposto con urgenza lo sviluppo di molta tecnologia, ma questo impulso non cessò neppure in seguito, poiché ormai la borghesia aveva imboccato la strada del capitalismo industriale nei più diversi settori, con effetti non riducibili all'aumento del suo profitto e alla disoccupazione di cui abbiamo parlato in precedenza. Per esempio, in Inghilterra la produzione del filo di cotone passò in circa quarant'anni (1788-1830) da dodici scellini a uno scellino per libbra, grazie all'impiego di telai meccanici sempre più perfezionati, e ciò produsse non già una crisi, ma un'espansione enorme della domanda, che si decuplicò nel medesimo periodo, consentendo l'acquisto di prodotti del cotone anche a strati della popolazione che prima non potevano permetterselo. La progressiva applicazione della macchina a vapore alle diverse industrie (per esempio a quelle tessili) rese possibile il loro dislocamento anche lontano dai corsi d'acqua, e quindi lo spostarsi delle fabbriche dalla campagna alla città, con conseguenti problemi di migrazioni interne delle popolazioni.

In quei medesimi anni d'inizio secolo era diventata sempre più chiara l'importanza dei trasporti (e Napoleone l'aveva particolarmente

avvertita), cosicché si pone mano alla costruzione di strade, ponti, canali con tecniche sempre più aggiornate, e anche in questo campo l'introduzione della macchina a vapore apportò l'innovazione più radicale quando nel 1814 fu costruita da Georges Stephenson (1781-1848) la prima locomotiva da cui derivò nel volgere di pochi anni la nascita delle strade ferrate, potentissimo ausilio al movimento di uomini e merci, il cui effetto fu anche una modificazione importante della stessa nozione di distanza fra i luoghi.

In questa prima metà dell'Ottocento incomincia anche a prender concretamente corpo il progetto di un utilizzo non soltanto occasionale, ma programmato e orientato, delle conoscenze scientifiche all'applicazione tecnologica. È il proposito con cui sorse a Parigi l'*École polytechnique*, il cui esempio fu seguito con l'istituzione di politecnici in molti stati europei. In queste istituzioni la scienza veniva studiata in modo rigoroso e sistematico, volto a spiegare teoricamente il funzionamento e i successi di tante macchine realizzate su base empirica e come frutto di ingegnosità da vari inventori, ma anche e soprattutto con lo scopo di elaborare conoscenze capaci di dar luogo a nuove o più avanzate applicazioni tecnologiche. Lo sviluppo della termodinamica, come già si è accennato, è un esempio significativo in proposito. Poco più tardi esempi non meno cospicui saranno dati dalla chimica industriale e dall'elettrotecnica e verrà in tal modo maturando la nuova concezione della tecnologia che già il fondatore della filosofia positivista, Auguste Comte, caratterizzava come scienza applicata.

5. La seconda rivoluzione industriale

Una scansione storica normalmente accettata è quella tra diverse fasi della rivoluzione industriale, che per altro vengono contraddistinte in base a criteri non uniformi da parte dei vari studiosi. Anche la cronologia di tali fasi non è univoca, specialmente se si prendono in considerazione paesi diversi. Così, per esempio, mentre è comune riconoscere che la rivoluzione industriale iniziò (come si è visto) in Inghilterra e si concentrò nel settore tessile, minerario e metallurgico, in altri paesi è non meno evidente che l'industrializzazione iniziò più tardi e fu innescata e trascinata dalla diffusione della macchina a vapore. Il riferimento privilegiato all'Inghilterra induce a indicare come "prima rivoluzione industriale" l'intervallo di tempo 1780-1850, facendolo seguire dalla "seconda rivoluzione industriale"

che abbraccia grosso modo il cosiddetto "periodo vittoriano" ed è effettivamente caratterizzata da un imponente sviluppo dell'industrializzazione. Quando si cercano altri fattori caratterizzanti meno legati alle vicende della storia politica, si incontra talora il riferimento alle *fonti di energia* diventate essenziali. Così la prima rivoluzione industriale si impernia sull'utilizzo del carbone, mentre la seconda si avvale anche di nuove fonti come il petrolio e l'elettricità. Oggi si parla anche di una "terza rivoluzione industriale", iniziata dopo la seconda guerra mondiale a metà del Novecento e caratterizzata non soltanto dal grande sviluppo di nuove industrie (spaziale, elettronica, telematica, informatica), ma specialmente dal fatto che in esse il progresso non è più garantito dal possesso di particolari fonti di energia o materie prime (come carbone, acciaio, petrolio), bensì dalla capacità di dominare e coordinare "logicamente" i più disparati aspetti della vita economica e sociale, mediante l'impiego di calcolatori nei quali l'ingegnosità dei programmi (il *software*) è non meno essenziale della raffinatezza dei nuovi materiali utilizzati (l'*hardware*). Per questo potremmo dire che al posto dell'energia, la risorsa più preziosa si sta rivelando la *mente* e la *conoscenza*. Ciò non significa che le esigenze energetiche dell'umanità siano diminuite, anzi vale proprio il contrario, e non è un caso che il soddisfacimento di queste dovrà essere assicurato già in un futuro prossimo dallo sfruttamento di una nuova forma di energia, quella nucleare, messa a disposizione dell'umanità proprio grazie alle scoperte scientifiche del Novecento e ottenuta artificialmente nelle centrali nucleari. Quando arriveremo a parlare di questi fenomeni storici, constateremo che, in questa terza fase della rivoluzione industriale, l'industria non è più l'attività economica principale. Se la prima e la seconda industrializzazione avevano comportato la diminuzione dell'importanza del settore "primario" (agricoltura) rispetto al "secondario" (industria), oggi anche questo è sopravanzato dal "terziario" (il grande ambito dei cosiddetti "servizi"). Riprendiamo un discorso già abbozzato quando abbiamo notato che le macchine della prima rivoluzione industriale (sino alla macchina a vapore inclusa) furono il prodotto di intelligenti inventori che conservavano la tipica "intelligenza pratica" degli *artigiani*, con contatti molto marginali con le scienze naturali e le matematiche. Viceversa, verso la metà del secolo divenne sempre più sistematica e alla fine preponderante la trasformazione della tecnologia in *scienza applicata*, che richiedeva l'acquisizione da parte dei tecnologi di una solida preparazione scientifica di carattere teorico, accompagnata dall'e-

splicito orientamento verso la sua utilizzazione in ben precisi settori pratici e produttivi. In altri termini, la figura tipica del nuovo tecnologo, del nuovo inventore, è quella dell'*ingegnere* che (come si è visto) si educava specificamente in quelle "scuole professionali" di ordine superiore (il cui statuto era di livello paragonabile a quello delle università), che erano i politecnici.

Per dare un'idea di quanto tale formazione scientifica teorica fosse elevata ed esigente sarà sufficiente ricordare che la famosa opera a cui si fa risalire la prima sistemazione logicamente rigorosa del calcolo infinitesimale, fondata sul concetto di limite, è il *Corso di analisi della Scuola Politecnica* pubblicato nel 1821 da Augustin-Louis Cauchy (1789-1857), che aveva iniziato la sua educazione e la sua carriera proprio come ingegnere e solo in un secondo tempo si era convertito alla matematica pura, insegnando in diverse università in Francia e fuori, ma senza mai trascurare gli importanti nessi tra matematica e scienze fisiche che lo condussero a ottenere importanti risultati nel campo della fisica teorica.

Se questo discorso vale già a proposito dei rapporti fra la più astratta delle scienze (ossia la matematica) e le scienze fisiche, a maggior ragione vale quando si considerino i rapporti fra le scienze fisiche e le loro concrete applicazioni tecnologiche e industriali. A questo proposito possiamo dire che i contributi non provennero soltanto dai politecnici, ma anche dalle università e dai loro laboratori. Il modello ottocentesco dell'università, delineato in modo particolarmente esplicito nell'ambito della cultura tedesca e rapidamente estesosi ai diversi paesi occidentali, era quello di un'istituzione in cui si coltivavano congiuntamente la ricerca scientifica e l'insegnamento. La conseguenza di questo fatto è che la maggior parte degli scienziati finì con l'essere costituita da professori universitari e che le più importanti ricerche scientifiche e i relativi risultati furono conseguiti all'interno delle università (o istituzioni analoghe), grazie anche al fatto che queste erano venute dotandosi anche degli strumenti tecnologici necessari, come laboratori e istituti di ricerca. La copiosa messe di risultati così raggiunti aveva eminentemente le caratteristiche della "scienza pura", ma era inevitabile che essa venisse poi utilizzata in una vasta gamma di applicazioni pratiche, in particolare di tipo industriale, così come era nell'ordine delle cose che l'aspirazione a corrispondere a esigenze applicative e industriali finisse con l'influenzare la stessa ricerca scientifica universitaria, per non parlare dell'opera di singoli scienziati anche molto illustri.

Non è possibile offrire in questa sede altro che un quadro estremamente sommario di queste applicazioni delle conoscenze scientifiche, ottenute in campi "nuovi" delle scienze naturali, al mondo della produzione industriale. I pochi esempi che daremo vogliono soltanto suffragare l'affermazione fatta all'inizio, ossia che la seconda rivoluzione industriale si caratterizza proprio per l'impatto diretto che su di essa ha esercitato lo sviluppo delle scienze. Fra queste una delle più nuove era, come già si è detto, la termodinamica, ma forse ancor più significativo è il caso dell'elettrotecnica. La inattesa disponibilità di una fonte presso che inesauribile di energia (l'energia elettrica) fu una diretta conseguenza di una scoperta scientifica, quella che la variazione di un campo magnetico produce un campo elettrico (diremo per brevità una corrente elettrica). La dinamo offriva questa possibilità: per quanto i primi esemplari fossero stati prodotti nel 1832 e migliorati subito dopo il 1850, il passo decisivo fu la dinamo costruita nel 1858 da Antonio Pacinotti (1841-1912) che, oltre a un rendimento particolarmente elevato, presentava la doppia caratteristica di essere anche un "motore elettrico", ossia di poter servire per ottenere corrente elettrica utilizzando energia meccanica, ma anche movimento meccanico utilizzando energia elettrica. Questo era un motore a corrente continua. Alcuni decenni dopo, Galileo Ferraris (1847-1897) e alcuni altri scienziati realizzavano gli alternatori che producevano corrente alternata che non solo fu largamente usata nella realizzazione di motori, ma offriva anche il vantaggio di poter essere "trasformata", ossia portata a tensioni diverse, il che ne consentiva il trasporto con cavi ad alta tensione su lunghe distanze e il successivo abbassamento di tensione nelle reti di utilizzazione privata.

Non è il caso di soffermarci a parlare di invenzioni come quelle del telegrafo, del telefono, della lampadina elettrica a incandescenza, tutte applicazioni dell'elettrologia che hanno profondamente cambiato le condizioni di vita dell'umanità. Neppure possiamo soffermarci sui vantaggi arrecati dalle applicazioni dell'elettricità in altri campi industriali, come l'elettrochimica (che, per esempio, permise di ottenere con i metodi elettrolitici quantità ad alta purezza di elementi come il rame o l'argento).

Con questo veniamo a toccare una scienza diversa dalla fisica, ossia la chimica, che a partire dalla fine del Settecento aveva assunto ben definite caratteristiche di scienza sperimentale e aveva conosciuto poi notevoli elaborazioni anche di carattere teorico. Volendo indica-

re una caratteristica di spicco delle applicazioni di questa scienza potremmo dire che poche altre hanno contribuito ad allargare in pari misura il mondo dell'artificiale, nel senso non tanto di produrre molti e complessi "artefatti", ma addirittura di aver moltiplicato enormemente il numero delle "sostanze" rispetto a quelle spontaneamente reperibili in natura.

Le conseguenze più immediate comparvero nella fabbricazione di molti prodotti "sintetici" (ossia ottenuti per sintesi chimica), quali i coloranti e gli esplosivi, fra i quali assunse importanza notevole per gli impieghi non esclusivamente bellici la dinamite inventata nel 1867 da Alfred Nobel (1833-1896). La chimica industriale intervenne anche nell'industria metallurgica, per esempio nella produzione dell'acciaio, e anche nella produzione di una materia prima di ampia utilizzazione, come la soda (col passaggio dal metodo Leblanc al metodo Solvay). Che tutti questi progressi abbiano avuto un forte impatto sull'economia e sulle condizioni di vita di molti paesi è ovvio e anche sufficientemente noto (in particolare, l'industria chimica costituì un fattore di notevole peso nell'assurgere della Germania al rango di grande potenza). In questa sede, per altro, ci interessa un altro aspetto di grande rilevanza concettuale e culturale, ossia il sorgere della chimica organica.

La stessa denominazione "chimica organica" (che si trova impiegata per la prima volta nel 1777) è il residuo di una classificazione per noi remota e diventata quasi incomprensibile, quella secondo cui le sostanze chimiche si distinguono in due classi: quelle di cui sono fatti gli organismi viventi e che solo da questi sono prodotte (le sostanze dette appunto "organiche") e quelle che costituiscono la materia inanimata o non vivente (le sostanze "inorganiche"). Alla base di questa partizione stava la convinzione che la materia organica è la materia in cui si realizza la vita e solo da questa può essere prodotta. Per un certo tempo questa tesi sembrava sorretta dal fatto che non si era riusciti a sintetizzare sostanze organiche, ma la situazione mutò dopo il 1828 quando il chimico tedesco Friedrich Wöhler (1800-1882) ottenne per sintesi, a partire da un composto inorganico come il cianato d'ammonio, un prodotto organico come l'urea, dando così inizio alla *biochimica* (anche se tale termine entrò nell'uso molto più tardi). In un primo tempo alcuni difensori del *vitalismo* (ossia della concezione secondo cui solo una forza specifica dei viventi, ossia la *vis vitalis*, è in grado di produrre la vita e le sue condizioni anche materiali) obiettarono che si era ottenuta per sintesi soltanto una "sco-

ria", uno scarto dei processi vitali, ma cose del genere non poterono esser ripetute, per esempio, quando nel 1845 Hermann Kolbe (1818-1884) sintetizzò l'acido acetico, ossia una sostanza che indubbiamente aveva conosciuto sin dall'antichità utilizzazioni economiche in vari tipi di produzione (e ne avrebbe conosciuto moltissime a livello industriale anche in seguito nei campi più disparati), ma che è anche un fattore importante nel metabolismo degli organismi viventi. Quindi questa sostanza chimica, che sino a quel momento era stata ricavata per distillazione o con altri metodi sempre operando su materiale organico (e avrebbe continuato a esser spesso ottenuta in modi simili anche in lavorazioni successive), appariva chiaramente come qualcosa che non era necessariamente legato alla vita. Dopo di allora la sintesi di sostanze organiche è diventata un fenomeno di proporzioni enormi, che abbraccia la produzione di fibre tessili, plastica, polimeri e altri materiali di interesse industriale, non meno che tante sostanze direttamente coinvolte nei processi vitali, come vitamine, aminoacidi, proteine, molecole medicinali, antibiotici.

Oggi si continua convenzionalmente a parlare di chimica organica, intendendola come lo studio delle "molecole organiche", ma queste in sostanza si identificano con i composti del carbonio (con l'eccezione degli ossidi e dei loro sali), cui si aggiungono pochi altri elementi. Se teniamo presente che anche il petrolio è un miscuglio di composti organici (idrocarburi), si vede subito che tutta la variegatissima petrolchimica rientra fra le applicazioni della chimica organica, cosicché quest'ultima si mostra veramente come uno dei fattori più significativi di quella diretta "applicazione" della scienza alla tecnologia e all'industria di cui stiamo parlando, e si vede non meno chiaramente come essa abbia potentemente influito sulle condizioni di vita delle società attuali.

Ma ancor più chiaramente questa funzione propulsiva della chimica risulta se ci si sofferma un istante sugli esempi di sostanze strettamente legate alla vita degli organismi poco sopra menzionate: è ovvio che esse costituiscono il campo specifico di interesse della *chimica farmaceutica*, ossia di quella branca della chimica che studia la sintesi delle sostanze di uso terapeutico o diagnostico, i loro meccanismi e siti d'azione negli organismi, il loro metabolismo, il loro ruolo nell'insorgere delle malattie e nella loro cura. Si tratta, in senso lato, di *farmaci* prodotti artificialmente e che hanno dato rapidamente luogo al sorgere di una tra le industrie più potenti del mondo, l'industria farmaceutica, la cui prima ditta di spicco può essere consi-

derata la Bayer, fondata in Germania nel 1863. In questo modo una scienza naturale si mostrava capace di recare notevoli apporti alla medicina (accanto a quelli che le provenivano dai progressi delle discipline più specificamente biologiche, di cui diremo in seguito), e ciò indubbiamente contribuiva a favorire a livello di senso comune l'identificazione dell'idea di progresso con quella di sviluppo della scienza e della tecnologia. Tuttavia, senza andare troppo lontano, e limitandoci a considerare l'esempio della Bayer, possiamo osservare che questa casa rimase celebre per aver inventato e commercializzato l'aspirina (1899), ossia il farmaco di maggior successo nella storia, così come più tardi il metadone (un potente analgesico in seguito utilizzato anche nelle terapie di recupero dalla droga) e la ciprofloxacina (un antibiotico), ma fu anche quella che durante la prima guerra mondiale inventò e produsse i gas nervini e l'iprite, così come produsse alcuni decenni dopo il tristemente famoso Zyklon B usato nelle camere a gas dei campi di sterminio nazisti. Anche l'eroina fu inventata da questa casa, inizialmente come sedativo per la tosse, ma diventata in seguito una delle droghe più note e pericolose. Questo esempio potrebbe facilmente esser seguito da molti altri, e ci impone la consapevolezza che gli sviluppi di scienza e tecnologia non sono di per sé fonte di progresso per l'umanità, ma che possono esserlo soltanto se vengono orientati entro un adeguato quadro di scelte e di valori: è il grande tema della gestione responsabile della tecnoscienza a cui dedicheremo in seguito la dovuta attenzione.

Per concludere questo rapido accenno alla chimica osserviamo che questa scienza ha offerto un contributo assai notevole e in certo senso un po' peculiare a quell'aspetto fondamentale della scienza naturale moderna che consiste nel suo avvalersi di *strumenti* artificiali. In un senso ristretto, lo strumento è un artefatto, un dispositivo, una macchina, che si utilizza per osservare e misurare. Tuttavia in un senso un po' più allargato si possono considerare strumenti anche altri prodotti artificiali, come quei composti chimici che vengono utilizzati su larga scala nelle ricerche scientifiche, per esempio, in campo biologico e medico. Si pensi a tutti i *reagenti chimici* di cui si avvale non soltanto la produzione industriale, ma la stessa ricerca pura e si rifletta, per esempio, che un grande biologo come Lazzaro Spallanzani (1729-1799), ancora alla fine del Settecento, per svolgere le sue ricerche sulla fisiologia della digestione doveva procurarsi l'acido cloridrico estraendolo dal proprio stomaco mediante l'ingestione di pezzi di spugna legati a un filo.

6. La civiltà delle macchine

Il concetto di civiltà è usato in molti sensi, ma possiamo dire che con esso si intende sempre qualcosa di positivo, di nobile, di valido e quando lo utilizziamo per definire una determinata epoca storica in qualche regione del mondo intendiamo alludere a una sorta di identità, di unità caratterizzata da valori, regole, costumi, tradizioni, ideali, oltre che da tante "forme di vita" concrete. Pensiamo, insomma, a un "mondo della vita" che ha saputo nello stesso tempo darsi delle strutture materiali, dei metodi di produzione e scambio, delle strategie per addomesticare l'ambiente naturale, e nello stesso tempo ha inquadrato tutto questo in un corpo di idee, in una prospettiva di fondo capace di dare un senso e un valore a tale suo mondo della vita. Per queste ragioni non soltanto le espressioni delle arti plastiche e figurative, della letteratura e della musica, dei riti e delle regole sociali, ma anche le svariate espressioni della tecnica hanno sempre presentato caratteristiche peculiari di quella civiltà cui appartenevano: riconoscere loro un valore "universale" è stata un'operazione intellettualistica solo tardiva, di stampo moderno.

Anche per la civiltà industriale, o delle macchine, dobbiamo riconoscere un fatto del genere: essa sembra di portata universale agli occidentali, poiché, come abbiamo visto, fu dapprima in Europa e poi in America che, al seguito della diffusione delle conoscenze della nuova scienza naturale, venivano diffondendosi anche le macchine, e la presenza delle macchine, o meglio la rivoluzione che accompagnò il loro imporsi, mutò davvero in profondità il mondo della vita delle nazioni occidentali, ma lo cambiò, appunto, in modo abbastanza attagliato alle caratteristiche di civiltà di ognuna di esse. La tecnologia industriale che si sviluppò in Inghilterra non fu la medesima di quella che si sviluppò in Francia, Germania o Italia, poiché questo mondo delle macchine veniva gradualmente, anche se rapidamente, crescendo all'interno di un "mondo della vita" di cui assorbiva e rispettava molte caratteristiche, anche se nello stesso tempo ne poneva in crisi molti aspetti. Ma proprio questo rapporto dialettico testimoniava che lo sviluppo tecnologico appariva come un mezzo per assicurare un *progresso* caratterizzato in termini di ideali, specialmente etico-politici, e quindi ne riceveva un senso.

Per questo è corretto parlare di civiltà industriale o civiltà delle macchine, poiché si trattò per davvero di una civiltà, con i suoi splendori e le sue miserie, con i suoi slanci e le sue frustrazioni, come è sem-

pre accaduto per qualunque civiltà. Ma, nonostante la crescente omogeneizzazione da essa assunta all'interno dell'Occidente, si trattava per davvero di una civiltà *globalizzabile*? Gli occidentali lo crederono e, avendo tacitamente identificato il loro mondo della vita e il loro stile di vita con la stato di *progresso*, si trovarono inevitabilmente spinti a considerare come "arretrate" le culture che non avevano raggiunto tale stato (e questo, come è noto, costituì un alibi morale per il colonialismo, che amò presentarsi come una missione di "civilizzazione" nei confronti di popolazioni arretrate).

Dopo la seconda guerra mondiale, quando il mondo parve investito da un qualche sussulto umanitario e si lanciò sul piano internazionale la campagna per aiutare i paesi "sottosviluppati" a raggiungere lo "sviluppo", apparve cosa ovvia che quest'ultimo consistesse nell'approssimarsi quanto più possibile agli standard di vita occidentali, e come metro per valutare il grado di sviluppo venne assunto il parametro più semplice, ma anche più rozzo, che si usa spesso per stimare la crescita economica di un paese, ossia il *reddito medio pro capite*. Essendo evidenti le diversità abissali esistenti, rispetto a questo parametro, fra le diverse popolazioni del mondo, la ragione del grande vantaggio goduto dall'Occidente fu vista nel fatto di aver realizzato la rivoluzione industriale, di esser diventato una civiltà delle macchine e, come conseguenza, il progetto di aiutare il resto del mondo a raggiungere lo sviluppo fu visto come quello di farlo passare al livello di una *civiltà delle macchine*, per giungere poi anche al livello di una *civiltà industriale* quando avesse saputo costruirsi le macchine e il sistema di produzione e di vita che ciò comporta. Era appunto la convinzione che la civiltà industriale fosse un modello di civiltà *globalizzabile*.

In realtà non fu così e il noto fallimento dei programmi di "aiuto allo sviluppo" ne fu la prova concreta, ma non sempre le analisi di questo fallimento ne colsero le ragioni più profonde e, in particolare, questa: non si può artificialmente "impiantare" un tipo di civiltà entro un'altra, semplicemente modificandone, per esempio, le modalità di produzione di beni e servizi (come, in fondo, fa l'industrializzazione).

In realtà si verificano mutamenti in certo senso *ontologici*, conseguenti al passaggio da modi di operare pre-tecnologici a modi tecnologici. Quando in una società vengono introdotti procedimenti tecnologici capaci di sostituire attività che fino a quel momento si praticavano in modo pretecnologico, questi tipi di attività gradual-

mente scompaiono e, con essi, scompaiono anche tutta una serie di capacità, abilità, ingegnosità, atteggiamenti mentali e perfino affettivi, relazioni umane, che le accompagnavano. È questo il senso della distruzione dell'identità culturale in seguito all'introduzione della tecnologia di cui tanto si preoccupano oggi i paesi del Terzo Mondo, e questa distruzione si presenta per l'appunto come qualcosa di inevitabile, a causa dell'inevitabilità dello scalzamento delle forme di vita pretecnologiche con il sopravvenire della tecnologia. Le reazioni a questo fenomeno sono note: dapprima delusione di fronte al fatto che l'agognato "sviluppo" economico non è stato conseguito, seguita poi da inevitabile frustrazione e ricerca di altre "rivincite" capaci di risollevarlo il morale e l'autostima, che molto spesso consistono nella rivendicazione di altre "superiorità", che nascono ripescando orgogliosamente nella storia passata, rinverdendo e rinforzando le radici spirituali della propria cultura, fino a farne le ispiratrici estremizzate dell'organizzazione civile, della condotta personale, della politica dei vari stati (fondamentalismo, fanatismo ecc.).

A ogni modo non c'è bisogno di approfondire questo tipo di analisi (del resto ben noto). Infatti nello stesso Occidente quello della civiltà industriale appare ormai come un mito o un ideale appassito, bersaglio di critiche della più diversa provenienza, che vanno dall'attacco filosofico alla stessa tecnica e tecnologia, agli allarmi catastrofici sul pericolo di una estinzione della specie umana, alle sempre più radicali rivendicazioni ecologiche. Tutto ciò sta a indicare che la civiltà industriale non è riuscita a soddisfare pienamente le esigenze del "mondo della vita" all'interno di quelle stesse regioni del mondo in cui si è sviluppata e che la sua impossibilità di presentarsi come *sistema globale* emergono specialmente dal fatto che le critiche sopra menzionate si basano proprio sulla considerazione di effetti e conseguenze a livello planetario, che finora l'Occidente aveva ignorato e che ora gli vengono imposte da una specie di ribellione morale che parte da tutto il mondo. Ciò è nello stesso tempo effetto e sintomo che siamo entrati in una *civiltà tecnologica* di secondo livello, che non è più identificabile con la civiltà industriale.

Di questa profonda transizione ci occuperemo esplicitamente più avanti, mentre vogliamo dedicare ora qualche ulteriore cenno alla delineazione di questa "civiltà delle macchine" che si venne costruendo durante l'Ottocento e raggiunse il suo culmine tra la fine di tale secolo e lo scoppio della prima guerra mondiale (1914). Nella seconda metà dell'Ottocento, infatti, in concomitanza e connessione

organica con la seconda rivoluzione industriale, le grandi figure emblematiche cessano di essere quelle dei filosofi, dei letterati e degli artisti, e vengono sostituite da quelle di grandi scienziati che emergono da una schiera sempre più numerosa di valorosi colleghi sparsi in tutti i paesi dell'Occidente. Anche se, come vedremo, la ricerca scientifica tenderà sempre più decisamente ad assumere le caratteristiche della specializzazione, alcuni grandi personaggi sembrano ripetere nel campo delle scienze quella poliedricità di interessi e competenze che aveva contraddistinto alcuni tra i maggiori filosofi del passato. Basti qui accennare a due soli esempi.

Il primo è quello di Hermann von Helmholtz (1821-1894) cui si devono contributi fondamentali nel campo della medicina, della fisiologia del sistema nervoso, dell'occhio e dell'udito, della fisica (termodinamica, principio di conservazione dell'energia, ricerche nei campi dell'elettromagnetismo, dell'idrodinamica, della meteorologia scientifica), ma anche della geometria e dei suoi fondamenti. Egli progettò e costruì anche alcuni strumenti, come l'oftalmoscopio, l'oftalmometro e il telestereoscopio ed espresse anche competenti considerazioni epistemologiche. Il secondo è quello di William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), per certi aspetti ancor più significativo. Infatti egli utilizzò la sua perizia matematica in fondamentali studi di idrodinamica, nonché nell'elaborazione di parecchie teorie che posero i fondamenti di nuove branche della fisica, come i suoi contributi alla termodinamica (precisazione della legge di conservazione dell'energia, determinazione del concetto di temperatura assoluta, teoria dinamica del calore), all'elettromagnetismo (analisi matematica dei fenomeni elettromagnetici, contributi alla nascita della teoria elettromagnetica della luce) e alla determinazione geofisica dell'età della terra. In aggiunta a tutto ciò egli svolse un'intensa attività di ingegnere e inventore, progettando, costruendo e brevettando una grande quantità di strumenti, ed entrando attivamente (con studi teorici non meno che con invenzioni pratiche) nell'impresa della realizzazione e collocazione dei primi cavi telegrafici transatlantici. Grazie a questi meriti (che furono di notevole aiuto per la Gran Bretagna nella conquista del primato delle comunicazioni telegrafiche mondiali durante l'Ottocento) egli ricevette dalla regina Vittoria il titolo nobiliare di Lord Kelvin, oltre a costituirsi una ragguardevole fortuna personale. Per altro, egli non rifuggì dalle discussioni di tipo anche filosofico, per esempio combattendo il darwinismo in base a calcoli di tipo fisico-cosmologico circa l'età

dell'universo. Per queste ragioni una figura come la sua, che mostra nello stesso tempo i caratteri del matematico provetto, del fisico teorico originale e innovatore, dello scienziato applicativo, dell'ingegnere, del manager, dell'uomo impegnato anche culturalmente e politicamente, può simboleggiare bene la civiltà delle macchine di cui stiamo parlando.

Mentre non è difficile comprendere che l'influenza culturale sul grande pubblico tradizionalmente esercitata da filosofi, letterati e artisti potesse avvenire in modo relativamente agevole, grazie alla diffusione di scritti e opere a stampa, è chiaro che meno accessibili si presentavano i risultati delle scienze e le stesse realizzazioni tecnologiche (se non quelle più vistose). Tuttavia la civiltà industriale aveva da tempo trovato le sedi adatte per divulgare i suoi messaggi e far conoscere i suoi prodotti. Si tratta delle *esposizioni*, i cui prodromi a livello locale e nazionale risalgono addirittura al Settecento, e che con la seconda rivoluzione industriale non solo si moltiplicano prodigiosamente di numero, ma assumono anche il carattere di periodici eventi internazionali, ossia di *esposizioni universali*.

La prima si tenne a Londra nel 1851 e numerose altre la seguirono in Europa e Stati Uniti, con particolare frequenza a Parigi. Esse fungevano da vetrine del progresso culturale e tecnico, ed erano anche luoghi in cui si veniva formando una comunità mondiale sempre più integrata e interdipendente non solo sul piano economico, ma anche a livello di rapporti personali, di gusti, di abitudini, di mentalità. In esse vennero presentate per la prima volta novità tecniche di notevole impatto (come la telegrafia nel 1851, l'ascensore idraulico nel 1867, il telefono nel 1876, la luce elettrica nel 1878 e più tardi l'automobile, la radio e via dicendo). Si potrebbe pensare che a esse concorresse un numero relativamente modesto di visitatori, tenendo conto delle difficoltà delle comunicazioni del tempo, e invece non fu così: se l'Esposizione universale di Londra del 1851 registrò la presenza (già non trascurabile) di circa 6 milioni di visitatori, quella di Parigi dell'anno 1900 superò i 50 milioni e rimase in un certo senso la più famosa ed emblematica, poiché aveva l'ambizione di presentare una specie di bilancio dell'enorme progresso scientifico e tecnologico del secolo appena concluso e aprire un orizzonte radioso su quello che stava iniziando. Questo carattere simbolico e – diremmo oggi – pubblicitario e propagandistico delle esposizioni universali si rispecchiava anche nello stile sontuoso o comunque eccezionale degli edifici: l'esempio più famoso è la torre Eiffel co-

struita per l'Esposizione universale del 1889 a Parigi e rimasta poi addirittura come contrassegno della città (ma questo non fu l'unico esempio).

Quanto detto può ritenersi sufficiente per affermare che la rivoluzione industriale aveva realmente prodotto un nuovo tipo di società, un nuovo "mondo della vita" caratterizzato da gusti, idee, abitudini, mentalità proprie, oltre che da condizioni materiali sempre più profondamente strutturate dai progressi delle scienze e delle tecnologie. Effettivamente esiste un'espressione con cui spesso si denota la civiltà di questo periodo storico; la si chiama *belle époque* e con questo termine francese (che significa alla lettera "epoca bella", ma che viene significativamente impiegato tale e quale in tutte le lingue europee) si è soliti abbracciare il periodo della storia europea compreso fra il 1870 e lo scoppio della prima guerra mondiale nel 1914, ossia poco meno di mezzo secolo in cui l'Occidente non aveva conosciuto guerre sul suo territorio (ma solo guerre di conquista coloniale) ed era stato caratterizzato da un crescente benessere materiale largamente propiziato dagli sviluppi della tecnologia. L'espressione fu coniata poco dopo la conclusione della prima guerra mondiale e dei suoi cruenti orrori e contiene una vena di nostalgia. In questo senso è abbastanza analoga a un'altra espressione rimasta famosa, quella di *ancien régime* coniata dai rivoluzionari francesi per denotare negativamente il sistema politico-sociale contro i cui privilegi si erano sollevati, ma in seguito utilizzata dagli storici con significato non polemico, riconoscendo in essa piuttosto tutto un "cosmo" di idee, valori e istituzioni razionalmente strutturato e caratterizzante la civiltà europea dei secoli XVI-XVIII nel suo complesso, al di là delle differenze religiose e delle forme statuali.

Ebbene il famoso cardinale Talleyrand (che aveva servito come ministro e diplomatico la monarchia di Luigi XVI, poi la rivoluzione francese in varie fasi, indi Napoleone Bonaparte e infine il restaurato re di Francia Luigi XVIII, ed era stato assieme al cancelliere austriaco Metternich uno dei registi del Congresso di Vienna del 1815), pur essendo uomo che seppe vedere con notevole anticipo il corso degli eventi storici, ebbe a dire che "non ha conosciuto la gioia di vivere chi non è vissuto sotto l'*ancien régime*". Certamente, questa gioia di vivere era probabilmente ristretta agli appartenenti alle classi privilegiate, ma in questa dichiarazione nostalgica non c'è soltanto questo, bensì il senso di un "mondo della vita" ormai irrecupera-

bile, ma dotato delle sue "bellezze". Anche per la *belle époque* vale un discorso analogo: se vogliamo rilevarne i tratti caratteristici non possiamo indicare nulla di particolarmente profondo, ma un vasto insieme di fattori che si traducono in una diffusa atmosfera di spensieratezza, euforia e ottimismo fondati sulla constatazione di un fortissimo sviluppo delle scienze e della tecnologia che diminuiva, per esempio, i timori nell'affrontare le malattie (erano state debellate, grazie ai progressi della medicina, le epidemie e si potevano curare molte malattie un tempo quasi senza scampo, mentre la vita media in Occidente si era notevolmente allungata). Ma si fugavano anche i timori dell'ignoto, a causa del forte ottimismo riposto nelle possibilità dell'uomo al quale nulla sembrava precluso, e che sembrava avviato sulla via di un crescente indefinito benessere (solo tra il 1896 e il 1913 il volume della produzione industriale e del commercio mondiale era raddoppiato). Quello stile di vita piuttosto frivolo e godereccio che ai tempi dell'*ancien régime* era privilegio delle classi nobiliari era diventato, in questa *belle époque*, qualcosa alla portata di un'ampio settore della borghesia anche piccola che, grazie all'illuminazione pubblica, prendeva l'abitudine di uscire dopo cena, di affollare i caffè e i *cabaret*.

Progresso, benessere e pace sembravano raggiunti e destinati a perpetuarsi, poiché nessuna delle potenze europee era interessata a rompere questa situazione, ma tutte tendevano a conservarla mediante una saggia politica di equilibrio. In questo spirito prese vita e si realizzò un progetto molto significativo, ossia la ripresa dell'antica tradizione delle Olimpiadi, la cui prima edizione moderna ebbe luogo nel 1896: era per l'appunto un simbolo di pace universale e, almeno in apparenza, di eguaglianza fra tutti i popoli. In realtà, tuttavia, questo clima spirituale e questo stile di vita trovavano la loro maggiore concentrazione in Francia (dove si accompagnavano anche al sorgere di nuove forme artistiche come l'impressionismo e l'*art nouveau*) e dilagavano in Europa, mentre conferenze e pubblicazioni di viaggiatori, militari e missionari sottolineavano l'abisso che separava le condizioni e le forme di vita dei popoli asiatici e africani rispetto agli standard occidentali, contribuendo a fomentare quell'orgoglio dell'Occidente che in fondo giustificava le imprese e le dominazioni coloniali in corso di attuazione come missioni in qualche modo "civilizzatrici". Come già abbiamo osservato, questa deformazione è perdurata a lungo ed è sopravvissuta sia alla prima sia alla seconda guerra mondiale.

SPECIALIZZAZIONE E TEORIZZAZIONE NEL CAMPO DELLE SCIENZE

1. La specializzazione scientifica

Una caratteristica che abbiamo avuto occasione di sottolineare discutendo gli inizi della rivoluzione industriale era stata quella della parcellizzazione delle attività lavorative dentro le manifatture, ossia il fatto che nella manifattura ogni operaio eseguiva per tutta la vita sempre la stessa operazione elementare. Senza alcuna pretesa di tracciare arrischiati parallelismi, possiamo notare che qualcosa del genere si stava producendo anche nel campo delle scienze e sarebbe venuto via via accrescendosi durante l'Ottocento e ancor più in seguito. L'uomo di scienza versato in molti campi, o quanto meno interessato a molti settori delle matematiche e delle scienze naturali (anche se capace di recare contributi cospicui specialmente in alcuni di essi), è una figura secentesca e settecentesca, mentre nell'Ottocento – con l'eccezione di alcune grandi personalità – il “lavoro scientifico” si fa sempre più specializzato, e ciò non senza alcuni vantaggi. Per esempio, esso consente indagini più penetranti e controllate, idonee a cogliere anche dettagli riposti del settore di ricerca in cui si svolgono. Esclusi quasi per principio interessi generali, il nuovo tipo di ricercatore poteva concentrare tutte le sue energie su un argomento rigorosamente delimitato, nel cui ambito poteva acquisire in breve una preparazione pressoché perfetta e quindi porsi in grado di impostare in termini molto esatti i pochi problemi affrontati, utilizzando altresì i risultati più aggiornati conseguiti da altri ricercatori nel medesimo settore. In tal modo era abbastanza probabile che, anche senza possedere una particolare genialità e originalità, egli sarebbe riuscito a ottenere qualche “risultato” (piccolo ma sicuro) arrecando il suo contributo alla soluzione di quel dato problema, soluzione che sarebbe poi scaturita in seguito all'accumularsi di altri contributi pazientemente arrecati da altri specialisti. Tale privilegio della specializzazione doveva alimentare negli scienziati una certa diffidenza nei confronti della filosofia, che trova vi-

ceversa nell'indagine dei temi più generali la sua ottica più tipica, e ciò si riflette anche nel fatto che la filosofia che più si preoccupò di valorizzare le scienze, ossia il positivismo, marginalizzò buona parte dei problemi genuinamente filosofici. D'altro canto questa separazione tra *filosofia* e *scienza* fu incoraggiata dalle correnti idealistiche e romantiche che, pur senza essere esclusive, furono certamente predominanti nel pensiero ottocentesco. Non si possono tuttavia ignorare o sottovalutare alcune prese di coscienza e alcuni sforzi posti in atto da figure di grande rilievo intellettuale per non disgiungere queste due fondamentali sfere del pensiero.

2. La filosofia come ricerca dei fondamenti delle scienze

La filosofia "teoretica" di Kant, ossia la parte del suo pensiero dedicata a rispondere alla domanda "che cosa possiamo conoscere?", era stata in effetti una chiarificazione delle condizioni e delle modalità con cui le scienze esatte (matematica e fisica matematica) realizzano la loro impresa conoscitiva. Kant si era spinto anche più in là del semplice discorso di teoria generale della conoscenza e aveva cercato di offrire nei *Principi metafisici della scienza della natura* (1786) un quadro in cui cercava di far discendere dalle considerazioni generali sulle possibilità della conoscenza (nuovo senso di "metafisica" da lui accettato), più dettagliate conseguenze circa i principi e le leggi fondamentali della fisica teorica. Anche l'idealismo trascendentale succeduto al criticismo kantiano, e di solito presentato come il responsabile della separazione tra scienza e filosofia e della sottovalutazione del sapere scientifico, in realtà non perseguì affatto un simile programma: pur interessandosi anche a diverse altre manifestazioni dello spirito umano oltre alla scienza, i suoi maggiori rappresentanti cercarono di inquadrare la scienza stessa fra le imprese importanti della ragione di cui la filosofia deve saper dar conto e giustificare la portata (pur superandole in quanto a fondatezza e rigore). In realtà fu l'insuccesso concreto di simili "fondazioni" deduttive dei contenuti delle scienze naturali a partire da grandi principi metafisici che screditò le costruzioni idealistiche ed ebbe come effetto anche quello di far ritenere dannoso per le scienze ogni commercio con la filosofia e far considerare la filosofia come un complesso di ragionamenti astratti e confusi, di fronte al quale si pone l'esercizio umile, ma fecondo di apporti conoscitivi, delle singole scienze specializzate.

Tuttavia un interesse di tipo fortemente teorico, che rispecchiava in qualche misura preoccupazioni filosofiche, veniva prendendo corpo all'interno delle stesse scienze. In senso lato possiamo dire che, mentre il Settecento era stato soprattutto caratterizzato dall'interesse preminente per la raccolta di dati e il conseguimento di risultati e scoperte, cui corrispondeva spesso un'elaborazione teorica piuttosto approssimativa, nell'Ottocento primeggia invece lo sforzo per la creazione di teorie unitarie e rigorose, capaci di fornire un inquadramento criticamente vagliato e logicamente solido delle conoscenze raggiunte nei vari ambiti disciplinari.

Dedicheremo in seguito un'attenzione particolare a questo lavoro di rigorizzazione e fondazione teorica per quanto concerne la matematica e la fisica, ossia le due scienze già ben consolidate nella loro struttura moderna. Per la chimica il discorso è più paradigmatico, nel senso che essa incomincia proprio in questo secolo a ricevere sistemazioni teoriche compiute. Senza voler nulla togliere, infatti, alla rilevanza che ebbe per questa scienza la settecentesca teoria del flogisto, è innegabile che soltanto nell'Ottocento incominciano a instaurarsi *teorie chimiche* dotate dei caratteri della scienza moderna, cioè capaci di spiegare esaurientemente i fatti noti, di dar luogo alla formulazione di leggi, di dare largo spazio al trattamento quantitativo e matematico delle questioni teoriche e applicative, di consentire la messa in opera di veri e propri esperimenti per il controllo delle ipotesi, di formulare previsioni, di produrre un'imponente cascata di applicazioni tecniche e industriali.

La biologia costituisce un'altra scienza in cui questo nuovo modo di procedere si rivela particolarmente incisivo. Dal punto di vista scientifico, infatti, il Settecento è ancora soprattutto un secolo di raccolta di dati, di classificazioni, accompagnata certamente da alcune grandi intuizioni interpretative che incominciano a fare intravedere le linee più generali dell'unità del mondo vivente; chi potrebbe, infatti, sottovalutare l'importanza di Carlo Linneo (1707-1778) o di Georges-Louis Leclerc conte di Buffon (1707-1788) sotto questo profilo? Su questo vasto lavoro di ricerca empirica si sovrappone indubbiamente, già nel XVIII secolo, un impegnato travaglio di pensiero riflesso, ma questo non assume ancora la configurazione del vero e proprio *teorizzare scientifico*, bensì segue ancora le linee più tradizionali della *filosofia del vivente*. Naturalmente, non si può ritenere che queste dispute filosofiche (che, si badi, si ritrovano nelle opere e negli scritti dei biologi non meno che in quelli dei filosofi propria-

mente intesi) siano senza interesse e senza effetto sullo svolgimento della ricerca scientifica intesa in senso più stretto, ma un tale effetto diverrà visibile, appunto, specialmente nel secolo successivo.

In breve, ciò che costituirà il segno del passaggio a un nuovo spirito di scientificità in questo settore di ricerca sarà il superamento di un generico atteggiamento *empirico* attraverso un vero e proprio spirito *sperimentale* (che differisce dal primo, notoriamente, per il fatto che l'esperienza non viene semplicemente raccolta e catalogata, bensì provocata in condizioni di osservazione standardizzate, precostituite e, in genere, *controllate*). Allo stesso modo l'esigenza di chiarificazione razionale non verrà più perseguita sulla linea di una interpretazione globale dei caratteri essenziali della vita, bensì soddisfatta attraverso la creazione di vere e proprie *teorie scientifiche*, fondate sulla restrizione del campo d'indagine, sulla ricerca del reperto sperimentale esatto, sul lavoro di verifica, conferma, previsione, sul tentativo di spiegazione corretta delle anomalie e via dicendo. La teoria cellulare o la teoria dell'evoluzione, tanto per limitarci a due esempi di particolare notorietà, si presenteranno con tratti metodologici ed epistemologici abbastanza affini a quelli delle grandi teorie fisiche e chimiche, pur dando luogo anche a dispute filosofiche accese ed essendo a loro volta il riflesso di alcune concezioni filosofiche generali (come, del resto, era accaduto per l'astronomia e la fisica moderna nel Rinascimento).

Non vorremmo, con i discorsi precedenti che sottolineano l'esigenza di teorizzazione che caratterizza la scienza del XIX secolo, lasciar filtrare l'impressione di una certa svalutazione dell'aspetto empirico della ricerca e della sistemazione scientifica. Nulla sarebbe meno esatto: la componente empirica non solo continua a sussistere, ma addirittura si affina e si potenzia, solo che, come si è sottolineato poco sopra, assume i caratteri precisi della sperimentaltà, intesa come osservazione condotta non soltanto in condizioni controllate, ma anche attraverso l'uso crescente di strumenti scientifici appositamente progettati, costruiti e migliorati. Proprio questo ricorso agli strumenti era stato alla base dei grandi sviluppi della fisica (ma era stato anche alle sue origini, come si è visto trattando della "rivoluzione galileiana"). Ebbene, questa diviene ormai una condizione generalizzata, che si estende anche alle altre discipline naturalistiche. In pagine anteriori, del resto, abbiamo visto che un fatto del genere non è casuale, bensì inaugura quell'intreccio inestricabile fra scienza e tecnologia di cui abbiamo già detto a sufficienza.

In conclusione, questa rapida carrellata sulla rilevanza assunta dalla dimensione teorica nella costruzione del sapere scientifico è sufficiente a mostrare che una parte non trascurabile delle esigenze intellettuali dell'uomo (e non soltanto delle sue esigenze pragmatiche e concrete) trovava nelle scienze una sua soddisfazione, secondo caratteristiche di generalità e sforzi di comprensione globale e unificazione molto vicini allo stile della riflessione filosofica, fino a entrare in contatto diretto con dibattiti filosofici veri e propri. Ciò spiega perché questo "mondo della scienza" potesse rivelare un'indubbia vitalità *culturale*, anche se era illusorio ritenere che a esso potesse ridursi il "mondo della vita" con tutta la complessità delle sue esigenze, dei suoi interrogativi, delle sue dimensioni relative alla sfera dei valori, delle libere scelte, del senso della vita stessa. L'aver distolto l'attenzione da queste dimensioni avrebbe provocato, come già si è discusso, la crisi di quella civiltà industriale che pure albergava in sé una non superficiale concezione della portata conoscitiva e delle capacità di autoriflessione della scienza, capacità che sarebbero emerse in misura ancor maggiore proprio in occasione della *crisi* in cui incorsero le scienze esatte alla fine dell'Ottocento. Prima di trattare di questo tema vogliamo abbozzare un quadro dell'ampliamento eccezionale del campo della scientificità che si verificò nel corso di quel secolo.

L'AFFACCIARSI DI NUOVE DISCIPLINE SCIENTIFICHE

È molto delicato, nella storia, parlare di “novità”, dal momento che anche ciò che è nuovo per certi aspetti si inserisce, per altri aspetti, in una tradizione. Questo discorso vale a maggior ragione quando ci si riferisce a grandi creazioni dello spirito umano come le scienze (anche intese nel senso “occidentale” già chiarito all’inizio di quest’opera).

È del tutto ovvio, per esempio, che scienze come la matematica, l’astronomia, la biologia e la medicina esistettero fin dall’antichità greca e annoverarono grandi rappresentanti lungo i secoli anche prima della nascita della scienza “moderna”. È non meno ovvio, d’altro canto, che all’interno di queste medesime scienze si sono prodotti mutamenti molto significativi per quanto riguarda i metodi e le impostazioni generali, e che al loro interno si sono aperti capitoli nuovi che hanno assunto il carattere di vere e proprie discipline (si pensi per esempio, all’interno della matematica, al costituirsi di discipline “nuove” come l’analisi infinitesimale, la geometria proiettiva, l’algebra, la topologia, il calcolo delle probabilità; o all’interno della fisica al costituirsi, accanto alla meccanica e all’ottica esistenti sin dall’antichità, dell’elettrologia e della termodinamica, per non parlare di discipline contemporanee come la fisica atomica e la meccanica quantistica).

Tutto ciò è stato una conseguenza del dilatarsi del volume e dei campi del sapere (che, in particolare, ha prodotto quel fenomeno di forte specializzazione di cui abbiamo già discusso) e costituisce un processo del tutto naturale e che sembra destinato a proseguire in misura sempre più accelerata; offrirne una descrizione è compito della storia delle scienze. A noi interessa soltanto porre in evidenza alcuni fatti salienti di questo sviluppo storico che, nel corso dell’Ottocento, hanno avuto un impatto particolarmente decisivo e “rivoluzionario” all’interno di alcune scienze e anche fuori di esse, a livello di “cultura” generale.

1. Sviluppi scientifici della chimica

È significativo che Kant, nella Prefazione alla seconda edizione della *Critica della ragion pura*, menzioni come esempi paradigmatici di discipline che si erano “poste sulla via sicura di una scienza”, accanto alla matematica e alla fisica, anche la chimica. Per l'esattezza, parlando della fisica, egli cita accanto a Galileo e Torricelli anche Stahl che “trasformò i metalli in calce e questa di nuovo in metallo, togliendovi o aggiungendovi qualche cosa”. Ernst Stahl (1660-1734) viene oggi considerato come uno dei maggiori rappresentanti della chimica settecentesca la quale, a sua volta, aveva alle spalle un lungo percorso che gradualmente l'aveva portata a staccarsi dal contesto originario dell'alchimia.

Già nel 1661 Robert Boyle (1627-1691) aveva pubblicato *Il chimico scettico*, opera in cui introduce esplicitamente concetti e metodi della nascente meccanica atomistica nella trattazione dei problemi riguardanti la composizione dei corpi materiali. In questo modo la chimica incominciava a lasciarsi alle spalle le molte correlazioni con dottrine magiche, misteriche, o anche semplicemente metafisiche, nonché il carattere di attività iniziatica che avevano caratterizzato l'alchimia, e si avviava ad assumere i tratti di una scienza sperimentale, anche se non poteva sottrarsi all'inquadramento entro alcune cornici metafisiche di fondo. In particolare, non sfuggiva al contrasto fra meccanicismo e vitalismo (di cui già abbiamo detto qualche cosa, e che ritroveremo con una certa frequenza anche in seguito). Così, mentre è meccanicista l'impostazione di Boyle, verso la fine del Seicento e gli inizi del Settecento riprenderanno vigore le prospettive vitalistiche di Paracelso (1493-1541) proprio nell'opera di Stahl, rimasto noto per la sua teoria del flogisto (un elemento impercettibile ai sensi, ma presente in tutti i corpi naturali e portatore della capacità di combustione, degli odori e dei colori, che in particolare si libera dai metalli nella calcinazione e rientra in essi nella riduzione). Per quanto spesso citata come esempio di affermazione di un'entità teorica dimostratasi inesistente, l'ipotesi del flogisto ebbe un notevole valore di unificazione dei fenomeni chimici e indicò appunto l'imporsi di una prospettiva teorica con funzione esplicativa di fenomeni effettivamente osservati. Pertanto ben si accompagna con una copiosa serie di contributi concreti, di osservazioni ed esperimenti per cui questo scienziato è rimasto giustamente famoso e a segnalare la cui importanza è significativo il titolo della sua ulti-

ma opera, *Esperimenti ed osservazioni chimiche* (1731).

Nonostante quanto detto, è tesi comunemente accolta dagli studiosi che la vera e propria chimica scientifica in senso moderno nasce da una “rivoluzione” (certo non improvvisata né senza preparazione, come nel caso della rivoluzione galileiana) dovuta a un solo scienziato, Antoine Lavoisier (1743-1794), con il quale la chimica assunse esplicitamente la veste di una costruzione teorica rigorosa, verificata da molteplici esperienze e dotata di un linguaggio specifico. A lui non si devono grandi scoperte empiriche, ma egli comprese subito, a differenza di altri suoi contemporanei, l'importanza rappresentata dall'ammissione di un terzo stato della materia (lo stato aeriforme o gassoso), che implicava una rifondazione dell'intera chimica.

Così nel 1772 egli poteva annunciare all'Accademia delle Scienze di Parigi l'esperimento che refutava l'ipotesi del flogisto: nella calcinazione non si libera flogisto dal corpo portato a incandescenza, bensì avviene una fissazione di ossigeno presente nell'aria, e nella riduzione invece si libera ossigeno e non avviene un recupero del flogisto. Pesando il corpo prima e dopo questi processi si riscontra rispettivamente un aumento e una perdita di peso in accordo con la nuova ipotesi e incompatibili con quella del flogisto. Come si vede, la stretta osservanza del metodo sperimentale, strumentale e quantitativo si stava mostrando come il nuovo fondamento epistemologico della chimica e, applicata coerentemente dallo scienziato francese in parecchie ricerche, non soltanto doveva condurre alla definitiva scomparsa della teoria del flogisto, ma anche consentirgli di affermare che ossigeno e azoto sono gas specifici e non prodotti di flogistizzazione dell'aria, che i fenomeni di combustione, calcinazione e respirazione sono processi di fissazione di ossigeno, il quale si rivelava anche come il componente fondamentale degli acidi (Lavoisier riteneva che lo fosse di tutti).

In questa che possiamo quindi a buon diritto chiamare la “nuova chimica” giocano un ruolo fondamentale due fattori teorici, la *legge di conservazione della massa* e il concetto di *elemento chimico*. La prima viene ammessa come postulato fondamentale, secondo cui in ogni reazione chimica nulla si crea e nulla si distrugge, cosicché il peso dei reagenti in ogni reazione chimica deve risultare eguale a quello dei prodotti ottenuti (da qui il ruolo capitale dei metodi ponderali). Quanto al concetto di elemento, esso non si discosta molto dalla definizione tradizionale (è una sostanza che non si

scomponere in ulteriori sostanze, ma può entrare nella composizione di altre), e in base a essa Lavoisier poté classificare come elementi i metalli che, nei processi di calcinazione, non si scindono, bensì si combinano con l'aria. Ma nello stesso tempo risultava che i quattro elementi della millenaria tradizione (aria, acqua, terra e fuoco) non sono elementi in senso chimico. Essi furono spazzati via dalla chimica assieme al flogisto ma quello che più conta è che Lavoisier stabilì il principio scientifico che il numero degli elementi non si può stabilire a priori, in base a considerazioni speculative, ma deve essere determinato empiricamente, ossia *scoperto* mediante analisi ed esperimenti. Con tutto ciò non vogliamo sottacere che anche Lavoisier ammise un fluido, il *calorico*, nello studio dei fenomeni termici e ne elaborò, in collaborazione con Pierre-Simon Laplace (1749-1827), una teoria matematica rigorosa che servì a portare sul piano della trattazione scientifica lo studio del calore, preparando la termodinamica che, più tardi, avrebbe eliminato questo fluido così come Lavoisier aveva eliminato il flogisto. Nel 1789 pubblicò un *Trattato di chimica elementare* che può essere considerato il primo trattato della chimica moderna e che si colloca alle soglie del XIX secolo.

La sfortuna politica di questo grande scienziato (ghigliottinato nel 1794) non gli consentì di arricchire con altri fondamentali contributi la chimica, ma questa, per usare l'espressione kantiana già citata, "si era posta sulla via sicura di una scienza" e i suoi progressi nell'Ottocento furono spettacolari. Non ne faremo qui una rassegna, limitandoci a un rapido scarno elenco, anche perché abbiamo già avuto occasione di menzionare, in contesti precedenti, l'impatto culturale e sociale di alcune di queste novità, come la creazione della chimica organica e il diffondersi della chimica industriale. Sul piano dei guadagni teorici possiamo ricordare la formulazione dell'ipotesi di Avogadro, gli studi dei rapporti fra elettricità e materia, le teorie della valenza, dell'equilibrio chimico, dell'affinità chimica, la periodizzazione degli elementi. Una correlazione non superficiale si instaurò anche fra la chimica e le scienze della terra, per non parlare delle intersezioni con le scienze della vita, di cui qualcosa già si è detto in precedenza.

Non possiamo soffermarci su questi ampliamenti, mentre è opportuno dedicare ora un'attenzione meno sommaria a un campo delle scienze in cui profonde rivoluzioni hanno avuto considerevoli riflessi sulla cultura e la civiltà moderna.

2. I nuovi orizzonti della biologia

Senza svalutare l'importanza delle scoperte e dei progressi che la biologia ha compiuto a partire dal Rinascimento, specialmente in seguito a un ricorso più frequente all'osservazione (anche strumentale, grazie all'uso del microscopio) e alla pratica dell'esperimento, è lecito affermare che essa ha assunto i caratteri di una scienza "moderna" a partire dall'Ottocento. Non già a causa di drastiche rotture con la tradizione, quanto piuttosto per aver esplicitamente e sistematicamente adottato i criteri che avevano presieduto alla "rivoluzione galileiana".

In primo luogo, si attenua molto la preoccupazione "filosofica" di determinare l'*essenza* della vita, preoccupazione che aveva alimentato dispute molto vivaci nel Settecento tra i "meccanicisti" e i "vitalisti" complicate dal fatto (da noi già segnalato a suo luogo) che l'adozione della macchina come modello di intelligibilità e spiegazione di tutti i fenomeni naturali aveva prodotto, in particolare, anche il fiorire delle teorie del vivente-macchina e dell'uomo-macchina. Poiché questa modellizzazione si inquadra filosoficamente nel "dualismo cartesiano" delle due sostanze (materia e spirito), la controversia tra meccanicismo e vitalismo risentiva della più radicale controversia metafisica tra materialismo e spiritualismo. Indipendentemente da un simile addentellato, comunque, i vitalisti ritenevano di dover presupporre, a ogni studio corretto del vivente, una difesa della *specificità* della vita rispetto alla materia inanimata. Nell'Ottocento questa *controversia dottrinale* non scomparve del tutto, ma fu resa volutamente sempre più inoperante in sede strettamente scientifica, trasformandosi piuttosto in un'opposizione di tipo metodologico ed epistemologico: il meccanicismo si espresse nel programma *analitico e riduzionista* (che cercava di interpretare e spiegare i fenomeni vitali *riducendoli* a effetti e risultati di componenti elementari governati da leggi fisico-chimiche); il vitalismo si tradusse nella prospettiva *sintetica e olistica* (che considera i viventi come totalità organizzate le cui proprietà specifiche derivano appunto dalla loro struttura e organizzazione oltre che dai loro costituenti).

Anche a prescindere da queste differenze, comunque, i "fenomeni" studiati erano sufficientemente delimitati e chiari a tutti e potevano essere indagati in modo intersoggettivo applicando a essi il *metodo sperimentale*. È questa la seconda ragione che promosse la biologia al pieno statuto di scienza moderna e che, come già era accaduto per

la fisica, permise un rapido accumulo di risultati conoscitivi, ottenuti anche grazie alla messa a punto di nuove tecniche di indagine basate su applicazioni della fisica e della chimica. Non a caso, anche per la biologia, come per la fisica e la chimica, i luoghi privilegiati della ricerca divennero i *laboratori*. A loro volta, poi, i progressi della biologia trovarono ampie e fondamentali applicazioni, specialmente nel campo della medicina.

Senza entrare nei dettagli delle scoperte particolari, ci limitiamo a menzionare alcune nuove discipline biologiche che si costituiscono o consolidano in questo secolo. Si tratta della morfologia sistematica, di una rinnovata fisiologia, dell'embriologia, della chimica biologica, della neurofisiologia, dell'istologia, della microbiologia, della genetica, per limitarci solo alle principali. Ma più interessanti sono due *teorie generali* che riguardano in modo diretto e specifico il mondo dei viventi, pur senza presupporre una definizione dell'essenza della vita. Si tratta della *teoria cellulare* e della *teoria dell'evoluzione*. Esporremo brevemente le linee fondamentali della prima, mentre dedicheremo uno spazio assai più ampio alla seconda, dato il grande rilievo che essa ha assunto anche sul piano culturale e il perdurare dei complessi dibattiti che essa ha innescato.

Le osservazioni microscopiche avevano consentito sin dalla seconda metà del Seicento di constatare che diversi tessuti vegetali sono costituiti da piccole cavità (ossia da piccole celle o "cellule"), ma a un simile fatto era stato attribuito un significato semplicemente morfologico e tale rimase fin quando non fu interpretato alla luce di una "idea" generale, ossia quella che i viventi sono costituiti da parti organizzate esse pure dotate di vita, quasi atomi o granelli di vita. Si trattava di applicare anche al mondo della vita quella visione "corpuscolare" che, come abbiamo visto, aveva costituito lo sfondo metafisico implicito della fisica newtoniana. Nel Settecento e agli inizi dell'Ottocento vari scienziati incominciarono ad avanzare diverse proposte per identificare simili costituenti strutturali elementari di tutti i viventi e da ciò scaturì la teoria cellulare che si suole attribuire a due biologi tedeschi, il botanico Matthias Schleiden (1804-1881) e lo zoologo Theodor Schwann (1810-1882) che, in lavori del 1838 e 1839, raccogliendo e sintetizzando risultati e ipotesi precedenti, arricchendoli di contributi sperimentali e considerazioni proprie, proposero una teoria compiuta in cui i tradizionali apporti di tipo anatomico venivano integrati da adeguate trattazioni di tipo fisiologico.

Secondo questa teoria, ogni vivente è costituito da unità elementari, le cellule, che sono dotate di vita e partecipano alla vita di tutto l'organismo. Queste cellule sono organizzate in tessuti e l'uovo stesso è una cellula. Inoltre gli organismi si accrescono per formazione di nuove cellule. L'idea di un unico tipo di entità vivente come elemento base di tutti gli organismi, l'idea che tutto ciò che vive ha una comune origine cellulare offriva una soluzione unitaria al problema della vita e in qualche modo fungeva da sostituto al concetto di "forza vitale". In tal senso si opponeva al vitalismo (antivitalisti decisi furono infatti i biologi di cui stiamo occupandoci) poiché solo forze fisiche e chimiche venivano considerate come cause dei fenomeni della vita. Tuttavia questa posizione conservava del vitalismo la concezione organica o olistica, e non cadeva nel riduzionismo, poiché la cellula era pensata sì come un "atomo di vita", ma era appunto vita essa stessa e non già il "risultato" vivo di qualcosa di non vivo. E qui si vede come il corpuscolarismo analitico riuscisse a integrarsi con l'olismo, segno appunto di come la pratica del teorizzare scientifico riuscisse a rendere complementari visioni metafisiche in apparenza opposte (e non sarà questo l'unico esempio nella storia della scienza).

Con la fondazione della teoria cellulare nasceva una nuova disciplina biologica, la *citologia* (studio della cellula) accanto alla da poco istituita *istologia* (studio dei tessuti); questa disciplina avrebbe conosciuto grandi sviluppi lungi dall'essersi conclusi ancor oggi: struttura, composizione, metabolismo, riproduzione delle cellule non cessano di offrire nuove scoperte a cui contribuiscono non soltanto tecnologie di osservazione sempre più raffinate e complesse, ma anche punti di vista teorici provenienti da diversi settori disciplinari, dalla chimica all'elettrologia, alla teoria dell'informazione.

3. L'evoluzione e le relative teorie

3.1 L'evoluzione come concetto e come fatto

La categoria della storicità veniva applicata, sino alla metà del Settecento, esclusivamente al mondo umano, poiché l'esperienza individuale e gli stessi documenti della memoria storica, mentre erano sufficienti per attestare il nascere e il morire di persone, imperi, istituzioni e civiltà, sembravano attestare che il mondo naturale era sempre rimasto quale ancor oggi lo si vede. Solo una progressiva

riflessione sui fossili indusse gradualmente a comprendere che era esistita anche una storia della terra, che specie viventi erano esistite in passato e poi scomparse, che nuove specie erano loro subentrate. Basti citare, a testimonianza di questo riconoscimento della dimensione storica all'interno del mondo naturale, l'opera monumentale del naturalista francese Buffon, *Storia naturale generale e particolare* (che include tra i suoi numerosi volumi anche una *Storia della terra* considerata come il preludio della geologia).

Questa storicità poteva essere concepita in due modi diversi. Secondo il primo, la superficie terrestre è stata sconvolta ogni tanto da immani catastrofi che hanno prodotto l'estinzione (totale o parziale) delle specie viventi, cui è seguita la creazione di nuove specie adatte all'ambiente così mutato che sono rimaste immutate fino all'avvento di una nuova catastrofe, dopo la quale il medesimo processo si è ripetuto. Era la prospettiva sostenuta da Georges Cuvier (1769-1832), fondatore della paleontologia e dell'anatomia comparata dei vertebrati; questa teoria si accordava abbastanza facilmente con il racconto biblico, una volta che si fossero interpretati in modo non troppo letterale i sei giorni della creazione e la storia del diluvio universale. Tale prospettiva univa la storicità con il *fissismo*, ossia con la tesi (autorevolmente enunciata nel Settecento già da Linneo) della stabilità e fissità delle specie viventi. Ma nei medesimi anni di inizio Ottocento Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) interpretava diversamente la storicità delle specie viventi, concependola come l'effetto di una progressiva *trasformazione* di specie iniziali meno numerose e meno complesse, avvenuta per trasmissione ereditaria di caratteristiche via via acquisite. Nasceva così il concetto di *evoluzione*, il quale risulta dalla unione di storicità e *trasformismo* ereditario. Quale delle due concezioni fosse scientificamente meglio fondata non fu agevolmente deciso all'inizio e ci volle circa mezzo secolo perché la prospettiva evoluzionista venisse accettata quasi unanimemente dalla comunità scientifica in base ad argomenti tratti specialmente dalla paleontologia, dall'embriologia e dall'anatomia comparata. In base a tutto questo possiamo dire che, oggi, l'evoluzione dei viventi si può considerare come un *fatto* appurato, rimanendo però consapevoli che non si tratta di un *dato*, bensì dell'*interpretazione* più soddisfacente di un insieme di parecchi dati empirici offerti da discipline diverse. Si può anche esprimere tutto ciò dicendo che la *teoria evoluzionista* è ormai considerata ben più che una semplice ipotesi, è una teoria scientificamente stabilita al di là di ogni ragionevole dubbio. Tuttavia bisogna

anche rendersi conto che, con questa affermazione, ci si limita a sottoscrivere il *trasformismo* e a negare il *fissismo*, vale a dire a sostenere che è scientificamente "provato" che le specie attuali sono *derivate per discendenza* da specie anteriori, anziché esser state create *ex novo* dopo la scomparsa di quelle. In altri termini, ci si limita ad asserire che l'evoluzione *c'è stata*, senza per altro impegnarsi a dire come e perché ha avuto luogo. Su questo *come e perché*, vedremo subito, si sono impegnate diverse *teorie dell'evoluzione*, che potremmo chiamare "di secondo livello" in quanto assumono come "un fatto accaduto" l'evoluzione dei viventi e cercano di *spiegarla*. Pertanto chi non condivide l'una o l'altra di queste diverse teorie di secondo livello non nega, per ciò stesso, la "teoria evoluzionista" intesa nel primo senso. Dobbiamo per altro sottolineare chiaramente che questa confusione è assai frequente e, in particolare, che i critici della teoria neodarwiniana dell'evoluzione sono spesso accusati di rifiutare l'evoluzione o di essere contrari alla "teoria dell'evoluzione" in senso generale. A evitare questo equivoco sarebbe bene non parlare mai di "teoria dell'evoluzione" senza aggiungere almeno un aggettivo che la specifichi (come "darwiniana", "neodarwiniana", "lamarckiana" e simili) e usare invece espressioni come "teoria evoluzionista" per qualificare la tesi (essa pure teorica, come si è visto) che si limita ad ammettere che le specie si sono succedute "per evoluzione" invece che per altri fattori. Insomma, ogni teoria parla *a proposito di qualcosa* e, mentre le diverse "teorie dell'evoluzione" parlano, come dice la denominazione, "a proposito dell'evoluzione", la pretesa teoria generica dell'evoluzione parla soltanto "a proposito delle successive specie" e non a caso l'opera di Darwin si intitolava "Sull'origine delle specie per selezione naturale" e non "Sull'evoluzione delle specie". Ovviamente, il rischio di equivoco sussiste anche quando ci si dichiara favorevoli alla "teoria dell'evoluzione" senza ulteriori specificazioni.⁴

⁴ Come esempio illustre citiamo il discorso di Giovanni Paolo II tenuto il 22 ottobre 1996 davanti all'Assemblea plenaria della Pontificia Accademia delle Scienze, in cui il Pontefice afferma che i progressi della ricerca scientifica "conducono a non considerare la teoria dell'evoluzione una mera ipotesi". Con questa espressione il Papa intendeva chiaramente avallare soltanto quella che noi abbiamo qui chiamato "teoria evoluzionista", ossia l'ammissione che l'evoluzione biologica ha avuto luogo. Infatti pochi periodi più avanti egli aggiunge: "A dire il vero, più che della teoria dell'evoluzione conviene parlare delle teorie dell'evoluzione. Questa pluralità deriva da un lato dalla diversità delle spiegazioni che sono state proposte sul meccanismo dell'evoluzione e dall'altro dalle diverse filosofie alle quali si fa riferimento". Proprio in considerazione dei più ampi contesti filosofici in cui vengono di solito inquadrati le diverse teorie dell'evoluzione, il documento ribadisce in seguito quali sono gli aspetti di tali ulteriori interpretazioni che la dottrina cattolica non può condividere.

Vale anche la pena di osservare subito che un'infelice opposizione terminologica si instaurò sin dall'inizio in questa disputa: i fissisti vennero chiamati *creazionisti* (il che si comprende facilmente riferendoci alle posizioni di Cuvier e di tanti che ne condivisero il pensiero) e i trasformisti furono qualificati come *evoluzionisti*. Ne nacque la falsa idea che l'evoluzione è opposta alla creazione, mentre in realtà di per sé è del tutto compatibile con l'idea che essa avvenga *dentro la creazione*, come si vedrà meglio in seguito.

3.2 Le diverse teorie dell'evoluzione

Quasi tutte le scienze aspirano, dopo aver appurato *fatti*, anche a fornirne una *spiegazione*, ossia a determinare le ragioni, o la cause che li hanno prodotti, e ciò accade proponendo opportune *teorie*. Anche per il fatto dell'evoluzione non tardarono a sorgere le teorie esplicative e la prima fu avanzata proprio da Lamarck, il quale sostenne che la materia vivente è dotata di proprietà intrinseche e di una tendenza a svilupparle al massimo grado compatibile con le condizioni ambientali in cui si trova. In ciò consiste la capacità dei viventi di *adattarsi all'ambiente*, sviluppando organi e funzioni che si perfezionano gradualmente passando dagli individui alla loro progenie, cosicché, alla fine di un lungo intervallo temporale, specie con caratteristiche molto diverse risultano derivate da una specie iniziale comune, le cui popolazioni si sono trovate a vivere in ambienti molto diversi.

Era una teoria in ottimo accordo con la evidente capacità dei viventi di adattarsi al loro ambiente, e con la visione intuitiva della vita come principio flessibile e attivo, ma sottintendeva che le modificazioni che un individuo sviluppa per adattarsi al proprio ambiente possono essere trasmesse alla sua discendenza.

Tale *ereditabilità dei caratteri acquisiti* fu proprio il presupposto che la biologia ottocentesca e anche quella della prima metà del Novecento ritennero di dover tassativamente escludere, e questo bloccò il lamarckismo e facilitò l'imporsi, cinquant'anni più tardi, di una diversa teoria proposta da Charles Darwin (1809-1882).

Secondo questa, infatti, se una popolazione di individui appartenenti a una certa specie si trova a vivere in un ambiente in cui esiste scarsità di risorse rispetto alla crescita della popolazione e se accade che alcuni di tali individui si trovino casualmente a possedere alcune caratteristiche in certo senso "abnormi" rispetto alla loro specie, ma ta-

li da essere nello stesso tempo ereditabili dai loro discendenti e tali da favorire la sopravvivenza nell'ambiente dato, questo sottogruppo si riprodurrà più facilmente e, a lungo andare, la sua discendenza occuperà l'ambiente, mentre i discendenti privi di tale caratteristica scompariranno gradualmente. Questo è il meccanismo della *selezione naturale* che, in particolare, non necessita di postulare alcuna tendenza della materia vivente a esplicitare le sue potenzialità, non implica alcuna "direzionalità" dell'evoluzione; all'interno di questo meccanismo il passaggio da forme viventi meno numerose e meno complesse alle forme "più evolute" attuali è visto come un accumulo di piccole graduali modificazioni casuali che si sono conservate per selezione naturale.

Mentre è lecito asserire che il punto di vista evoluzionista ha costituito una molla potentissima per lo sviluppo della biologia, giustificando l'affermazione di Theodosius Dobzhansky (1900-1975) che la biologia moderna sarebbe incomprendibile senza l'evoluzione, non è corretto identificare tale punto di vista con una particolare "teoria dell'evoluzione", e neppure con quella darwiniana che, per lungo tempo, è rimasta predominante. Senza entrare nei dettagli delle critiche rivolte a diversi aspetti di tale teoria nel corso di oltre un secolo e mezzo di storia, e senza menzionare le teorie alternative che sono state proposte, ci basterà ricordare che, verso la metà del Novecento, una confluenza fra la genetica molecolare e la genetica delle popolazioni ha dato luogo a quella che è stata chiamata la "nuova sintesi" (o anche "neodarwinismo"), la quale offre il vantaggio di ricondurre alle *mutazioni* dei geni presenti nei cromosomi quelle variazioni fenotipiche (ossia manifeste nella struttura e nelle funzioni osservabili di un organismo) che poi la selezione naturale stabilizza, mutazioni cui è attribuito un carattere del tutto *fortuito e casuale*.

Non si può sottacere, per altro, che proprio negli ultimi decenni la genetica molecolare ha compiuto progressi tali da mostrare come *fatto* oggettivo l'esistenza, all'interno del patrimonio genetico, di costituenti chimici che regolano l'espressione di certe caratteristiche e funzioni, per così dire, alcune "a favore" dell'individuo, altre "a favore" della specie, e altre in modo indeterminato, cosicché una semplice mutazione non produce necessariamente una variazione fenotipica che la selezione naturale potrà poi favorire o meno, ma la produrrà soltanto se certe condizioni "interne" lo permettono. Per di più è pure risultato che l'azione dell'ambiente può produrre modifiche *ereditabili* anche senza intervenire direttamente sul genotipo. In

tal modo si è ristabilita la legittimità teorica dell'impostazione di fondo del lamarckismo, cosicché sembra oggi di poter dire che la selezione naturale è un meccanismo plausibile che agisce sui viventi che hanno raggiunto una certa configurazione, ma che non è in grado di spiegare esaurientemente il sorgere di questa configurazione che, invece, va ricondotta a relazioni in parte interne al vivente e in parte derivanti dai suoi rapporti con l'ambiente.

In sostanza, oggi sembra di dover riconoscere che la prospettiva neodarwiniana è vera, ma parziale, ossia spiega certi aspetti dell'evoluzione, ma non certi altri che sono meglio spiegati da una certa forma di neolamarckismo⁵.

La ragione per cui abbiamo fornito alcuni dettagli su questo panorama teorico non è certo dovuta ad amor di completezza, visti i pochi e rudimentali frammenti qui esposti, quanto piuttosto alla necessità di sottolineare la differenza che sussiste nella scienza tra fatti e spiegazioni, ossia tra fatti e teorie. Mentre i fatti, pur non essendo mai assolutamente inoppugnabili, godono di una sostanziale stabilità e oggettività, le teorie sono per loro natura "congetturali", ossia sono costrutti ipotetici che si sostengono per il fatto di essere logicamente coerenti e in grado di spiegare adeguatamente i fatti di cui la scienza, entro cui esse sono avanzate, si occupa. Ciò non significa che le teorie siano costrutti semplicemente "opinabili", ma che in ogni caso devono esser continuamente aperte all'esame critico e chi le difende non deve ignorare o occultare le difficoltà o, peggio ancora, respingere come scientificamente infondato ogni proposito di metterle in discussione. Purtroppo, invece, è ciò che frequentemente si constata da parte dei difensori del neodarwinismo: anche di fronte alle molteplici riserve e prese di distanza che si sono registrate da parte di scienziati che non negano l'evoluzione e neppure un certo grado di validità al principio della selezione naturale, ma che sottolineano le insufficienze della "nuova sintesi", cercano di far passare tutto ciò come una dialettica interna al neodarwinismo stesso, che in tal modo risulta qualcosa di vago e inafferrabile.

Per uno studioso moderno riesce difficile comprendere come mai ci siamo abituati senza eccessivi drammi a considerare non tanto "falsificata" (come vorrebbe Popper) quanto ridimensionata la meccanica classica, che pure aveva ricevuto migliaia di conferme indipen-

⁵ Per una rassegna e discussione di queste nuove prospettive consigliamo la lettura dell'opera di Michele Sarà, *L'evoluzione costruttiva*, UTET, Torino 2005.

denti nei più diversi settori della fisica, era priva di contraddizioni interne e aveva ricevuto una formidabile formulazione matematica, mentre dovremmo continuare a credere nella validità incontestabile di una teoria biologica che ha più di un secolo e mezzo, è ben lungi dall'aver ricevuto una formulazione universalmente condivisa dai suoi stessi sostenitori e non è riuscita a risolvere in modo convincente una serie di difficoltà non marginali. Come si spiega dunque una simile ostinata difesa? Con il fatto che la teoria dell'evoluzione ha connotazioni *metafisiche* ben più delicate che non la meccanica.

3.3 Le metafisiche di sfondo

Solo l'ingenuità dei positivisti poteva credere che si possa fare scienza limitandosi a registrare fatti e regolarità tra fenomeni, senza interpretare. Abbiamo già visto che anche la determinazione di un "fatto" implica una più o meno complessa interpretazione, e la implica non già nel senso che essa ne *deriva*, bensì nel senso che ne è *presupposta*. Lo stesso vale per quanto concerne le teorie scientifiche: esse sono in effetti la traduzione in enunciati espliciti di concezioni globali, di "modelli" del campo di oggetti di cui una scienza si occupa, che possiamo chiamare "metafisiche di sfondo" perché, pur non rivestendo le caratteristiche più impegnative del discorso metafisico, condividono con esso la caratteristica di esprimere i tratti "essenziali" del campo di oggetti indagato, tratti che sono "metempirici" (ossia non appaiono direttamente nell'esperienza immediata), ma sono considerati in grado di *spiegare causalmente* quanto consta in esperienza.

Così non è difficile rendersi conto (come abbiamo già segnalato a suo tempo) che dietro la fisica di Galileo e di Newton è all'opera una metafisica di tipo atomistico. Una metafisica della natura materiale del tutto diversa era quella cartesiana che, come è noto, concepiva la materia come estensione e come un *plenum* continuo, entro il quale il moto si trasmette per contatto. Il modello cartesiano aveva il difetto di essere più immaginoso che empiricamente controllabile ed era sprovvisto di formulazione matematica. Per questo risultò perdente in meccanica, ma quando nell'ottica emersero i fenomeni di interferenza e diffrazione, esso prese la rivincita sul modello corpuscolare newtoniano e, con la teoria maxwelliana del campo elettromagnetico, la metafisica del continuo, che aveva anche il vantaggio di evitare l'azione a distanza, parve imporsi in modo definitivo. Ma

tutti sanno che con la meccanica quantistica anche la metafisica corpuscolare riaffermò i suoi diritti, cosicché oggi siamo costretti in qualche modo a contemperarle entrambe secondo un'ottica di *complementarità*.

Abbiamo accennato alla fisica per toccare un campo non sospetto né particolarmente “nevralgico” poiché, in fin dei conti, “importa poco” (al di fuori di un puro interesse conoscitivo) che la struttura della materia sia corpuscolare piuttosto che ondulatoria. Ma come stanno le cose in biologia e, in particolare, rispetto all'evoluzione? Il mondo dei viventi si presenta al senso comune come caratterizzato da unità organizzate, da funzioni che si definiscono in base a un obiettivo da raggiungere, dalla presenza di processi che si svolgono secondo tappe ordinate e convergenti verso risultati predefiniti, dalla capacità di raggiungere e difendere un certo ordine e disegno, a tal punto che questi stessi concetti sembra debbano aver tratto origine nella mente umana proprio dall'esperienza del mondo vivente ed esser poi stati applicati anche al di fuori di esso quasi per analogia.

Da qui è scaturito quel quadro metafisico, estesosi a tutta la cultura occidentale, che concepisce il vivente, appunto, come dotato di “principi” interni d'ordine e di sviluppo, cosicché la *vita* può in un certo senso esser considerata come la combinazione di tali principi. Questa metafisica di sfondo non ha in effetti mai cessato di sostenere le scienze della vita anche in epoca moderna ma, a partire dal Rinascimento, si è trovata affiancata dalla “nuova” scienza naturale, ossia dalla meccanica, che aveva l'enorme vantaggio di occuparsi di un problema estremamente delimitato e generale, quello del “moto locale” dei corpi materiali, e che poteva affrontarlo ricorrendo esclusivamente a un'azione causale che agisce sui corpi dall'esterno a guisa di causa efficiente (la forza che modifica lo stato di moto).

3.4 Il caso contro la finalità

Come già abbiamo osservato, il mondo dei viventi si presenta intuitivamente come caratterizzato dalla categoria di *finalità* e le scienze della vita non hanno potuto fare a meno di impiegare concetti gravitanti in tale ambito semantico, e continuano a farlo, anche quando preferiscono evitare l'uso esplicito di questo termine per scrupoli indotti dalla censura imposta nei riguardi di tale concetto dalle scienze fisiche. Tale censura, si è pure visto, era legata a un mo-

do particolare di concepire l'azione causale: le cause agiscono sui corpi *dall'esterno*, mentre le cause dei comportamenti dei viventi sono sempre state pensate come *interne* a essi, alla loro struttura e natura, cosicché gli stessi agenti esterni possono influire sul comportamento e funzionamento dei viventi soltanto nella misura in cui inducono reazioni delle cause interne. È ben vero che non siamo in grado di “vedere” tali fini e piani di sviluppo interni, ma è altrettanto vero che non “vediamo” neppure le forze fisiche che agiscono dall'esterno (come la gravitazione o le forze elettromagnetiche) e l'unico vantaggio nel caso loro è quello che siamo in grado di *misurare* i loro effetti. Nel caso dei viventi, invece, il grande progresso delle loro scienze è consistito nella notevole messe di conoscenze descrittive circa strutture e funzioni, che hanno consentito anche la formulazione di generalizzazioni e leggi, e in certi settori anche l'applicazione del metodo sperimentale, rimanendo però sempre a un livello *qualitativo*. La novità del paradigma darwiniano (e la ragione del fascino e dell'entusiasmo che suscitò e tuttora suscita presso molti, non meno che del rifiuto che produsse e tuttora produce presso molti altri) consiste nel fatto che esso si mostra come l'unica maniera per espungere il finalismo dall'ambito delle scienze della vita e tale espulsione viene ottenuta sostituendo il caso al posto del fine o del progetto.

Si tratta dunque di mostrare che nel mondo dei viventi la presenza di un fine o di un disegno è solo apparente, e che il risultato raggiunto *non era previsto* ma è soltanto il prodotto di circostanze fortuite e delle normali forze fisiche. Il meccanismo che soddisfa tali requisiti è quello della *selezione naturale* che, inizialmente, viene proposto per la spiegazione di un solo fatto empiricamente constatabile, ossia la scomparsa di specie viventi rimpiazzate dalla comparsa di altre specie. Tale fatto viene spiegato come l'effetto su tempi lunghissimi dell'accumulo progressivo di piccole modificazioni apparse casualmente in sottogruppi di determinate popolazioni, che li hanno resi più adatti a sopravvivere e riprodursi in un determinato ambiente.

L'analogia antropomorfa è quella con le selezioni “mirate” poste in atto da allevatori e agricoltori, i quali non creano varietà nuove, ma le ottengono isolando e ibridando individui appartenenti a varietà già esistenti ma che spontaneamente posseggono le caratteristiche desiderate e possono trasmetterle alla loro discendenza. In questo caso il fine c'è, è rappresentato dall'intenzione dell'allevatore e agi-

sce comunque sui viventi *dall'esterno*, ossia senza provocare in essi modificazioni di sorta. Nella prospettiva darwiniana questo fine esterno scompare nella selezione naturale e la nuova caratteristica non è voluta da nessuno, non risponde ad alcuna idea di “miglioramento”, ma è semplicemente tale che consente agli individui che ne sono dotati di sopravvivere e riprodursi più facilmente nell'ambiente in cui si trovano; in tal modo, la nuova varietà si stabilizzerà sostituendo magari la precedente, nel corso di intervalli di tempo di notevole lunghezza. Reiterando questo meccanismo un numero grandissimo di volte su tempi di milioni di anni, le modificazioni si aggiungono cumulativamente alle modificazioni e le nuove specie appaiono più complesse e in apparenza più finemente disegnate delle precedenti.

Che il meccanismo della selezione naturale possa servire a spiegare certe transizioni relativamente semplici fra popolazioni con caratteristiche abbastanza affini appare plausibile. Assai più problematico apparve sin dagli inizi a molti scienziati, e continua ad apparirlo ancor oggi a molti altri anche in presenza degli sviluppi più recenti della genetica, che esso sia sufficiente a spiegare *da solo* il processo di evoluzione dei viventi, anche limitandosi a considerarlo come transizione fra specie. Non è qui il caso di entrare nell'esposizione di questa disputa, che ha ovviamente carattere schiettamente scientifico.

Il finalismo tradizionale, tuttavia, non riguardava la *storia* dei viventi, bensì la loro costituzione ordinata e funzionale, da cui un'eventuale progressione finalistica della loro storia collettiva poteva al massimo derivare come una sorta di corollario. Si trattava della prospettiva di quella causalità *interna* di cui abbiamo parlato in precedenza. Il processo di selezione naturale darwiniano poteva essere esteso anche a eliminare tale finalismo interno. Infatti una struttura funzionalmente ordinata di parti poteva esser pensata come il risultato dell'aggiunta di una modificazione strutturale apparsa per caso entro una preesistente struttura ordinata, che poi era stata “selezionata positivamente” entro il suo ambiente. Applicando a ritroso questo ragionamento è possibile regredire idealmente verso strutture sempre meno complesse, fino a organismi viventi estremamente elementari, a partire dai quali avrebbe avuto inizio la storia della vita come incremento di funzionalità e ordine e, nello stesso tempo, come proliferazione di nuove forme di vita. Anche questa volta, l'artificio logico che permetteva di sostituire il caso alla presenza di un fi-

ne o di un disegno fu l'affermazione che l'estrema improbabilità del costituirsi e stabilizzarsi di cambiamenti molto complessi significava soltanto che eventi simili richiedono tempi lunghissimi per prodursi, ma che nella storia dell'universo tali tempi sono stati disponibili. Si tratta, evidentemente, di affermazioni astratte di possibilità, nei confronti delle quali sono state avanzate obiezioni non banali di natura matematica ma che, anche a prescindere da questo, non hanno a loro sostegno nessuna conferma empirica che consenta di dire che, almeno in certi casi significativi, “le cose sono andate proprio così”. Le scienze empiriche hanno a disposizione un mezzo per corroborare le proprie ipotesi teoriche anche in assenza di osservazioni dirette, ossia quello di produrre sperimentalmente quelle condizioni altamente improbabili che in natura richiederebbero millenni per accadere, e mostrare che si ottiene come risultato proprio quello che si sostiene. Neppure tali corroborazioni sperimentali sono state prodotte, cosicché sembra corretto asserire che la selezione naturale potrebbe al massimo intervenire su strutture già formate, ma non è in grado di spiegare il formarsi di tali strutture e si mostra quindi non poco carente come tentativo di dar conto della specifica natura dei viventi.

Da questo punto di vista era meglio impostata la teoria di Lamarck (e di molti altri biologi di tendenza che diremo “internista” che si sono susseguiti fra l'Ottocento e il Novecento), che vedeva la vita come un fenomeno caratterizzato da tendenze espansive di sviluppo e potenziamento, in grado di adattarsi alle condizioni ambientali grazie a una plasticità e capacità innovativa imprevedibile e intrinseca. Di fronte all'obiezione già ricordata in precedenza, dell'impossibilità di ammettere tale meccanismo evolutivo in mancanza dell'ereditabilità dei caratteri acquisiti, non venne in mente ai lamarckisti di invocare quella disponibilità di tempi lunghissimi che invece si concessero i sostenitori dell'azione del caso. Sarebbe allora stato possibile postulare “in linea di principio” quanto negli scorsi decenni la genetica molecolare ha effettivamente mostrato, ossia che esistono sia disposizioni “interne” nel genoma che favoriscono adattamenti dell'organismo all'ambiente sia modificazioni indotte dall'ambiente sul patrimonio genetico che sono ereditabili anche se non concernono il cosiddetto “plasma germinale”. L'accumulo di tali modificazioni orientate e guidate dal piano genetico dell'organismo, ancorché di effetto fenotipico non constatabile su tempi da laboratorio, sono suscettibili di accumulo, e soprattutto di reciproca interazione e inte-

grazione, in tempi di gran lunga inferiori a quelli richiesti dai meccanismi probabilistici della selezione casuale.

Ci sembra importante osservare che le due visioni, solitamente presentate come antitetiche, non sono in realtà inconciliabili, una volta che si tolga dalla prospettiva darwiniana l'aggiunta (rispetto a quanto Darwin di fatto asseriva) che le caratteristiche nuove su cui agisce la selezione naturale sono apparse *per caso*. Basterebbe infatti ammettere che esse possano essersi prodotte per uno sforzo di adattamento "interno" in certi individui appartenenti al gruppo, per conservare la prospettiva tradizionale e lamarckiana e nello stesso tempo riconoscere alla selezione naturale il ruolo darwiniano di preservare solo quelle modificazioni che rendono gli individui più adatti al loro ambiente e che possano trasmettersi alla loro discendenza. In tal modo rimarrebbe affidato a un programma insito nella struttura dei viventi il loro sviluppo morfogenetico e si scaricherebbe la selezione naturale del pesantissimo fardello di dover spiegare la morfogenesi (ossia la costituzione delle forme e strutture).

Oggi ci sono scienziati e filosofi che muovono in questa direzione, ma incontrano un'opposizione molto forte da parte dei più rigidi neodarwiniani. Per quale ragione? Volendo ricercare una ragione puramente intellettuale potremmo dire che si tratta della già accennata ripugnanza ad ammettere nella scienza concetti come quelli di fine e disegno, ritenuti metafisici e spuri, con la conseguenza, però, che si è costretti a ridurre al rango di semplici "apparenze illusorie" quelle che invece potremmo chiamare "evidenze fenomenologiche", poiché il mondo dei viventi *ci si presenta* con tali caratteristiche, e anche nelle scienze della vita non si può fare a meno di descriverle (magari inventando un neologismo come "teleonomia", come ha fatto Monod, per evitare l'uso del termine "teleologia").⁶ Quindi, anziché assumere tali caratteristiche come "dati di fatto" primitivi (come ha sempre fatto la biologia e come anche Darwin faceva), si cerca di trovare per essi una *spiegazione eliminativa* introducendo un fattore esso sì molto "metafisico" e inafferrabile, come il caso.

Infatti, se ci chiediamo: "Perché è accaduto l'evento X?" e ci si risponde: "Per caso", l'interpretazione corretta di tale risposta è che non si è in grado di darne la ragione. È quindi piuttosto curioso che coloro che vorrebbero fregiarsi del massimo grado di "razionalità"

⁶ Si veda il notissimo volume di Jacques Monod, *Il caso e la necessità*, EST Mondadori, Milano 1970.

preferiscano dire "non c'è una ragione" della comparsa di tale evento, piuttosto che dire: "è accaduto perché era fra le potenzialità insite nella struttura di tale organismo".

Fortunatamente, il progresso effettivo delle scienze in generale, e di quelle della vita in particolare, procede proprio avanzando nella scoperta di strutture sempre più fini, di correlazioni sempre più complesse, elaborando anche concetti e modelli teorici adatti a trattare in modo rigoroso queste caratteristiche. Pertanto, la "metafisica di sfondo" di tipo rigidamente materialista-meccanicista abbracciata da una gran parte dei neodarwiniani appare alquanto datata e meno adatta a inquadrare le scienze della natura di quanto non possano fare altre metafisiche di sfondo (delle quali ci occuperemo in seguito) in cui i livelli di realtà risultano più ricchi e articolati.

3.5 L'immagine dell'uomo

L'immagine della natura offerta dalla metafisica di sfondo del neodarwinismo riduzionista è quindi quella di un mondo in cui è assente ogni senso, sia che si voglia intendere questo concetto secondo la sua accezione di "direzionalità", sia che lo si voglia intendere come esprime l'idea di un progetto "comprensibile", e ciò elimina anche la possibilità di esprimere giudizi di valore circa questo mondo. Infatti, anche se si crede di poter spiegare come effetto del gioco di fattori aleatori e selezione naturale il diversificarsi e complessificarsi delle forme di vita, non è affatto possibile asserire che le forme più "evolute", ossia più complesse, sono "migliori" o "più perfette" di quelle meno complesse.

Se l'essenza del meccanismo evolutivo è la sopravvivenza e la possibilità di riprodursi degli organismi, è chiaro che i batteri sono in grado di sopravvivere e riprodursi anche in condizioni ambientali sfavorevolissime, nelle quali soccomberebbero tutti o quasi i viventi "superiori" e dunque dovrebbero essere considerati più perfetti in base a questo criterio di giudizio fondamentale. Solo se si prendono in considerazione altre caratteristiche, come la complessità della struttura, o la capacità di esercitare nuove funzioni (ossia quello che corrisponde al concetto classico di "forma"), è possibile individuare un ordine gerarchico tra le forme, identificare *differenze specifiche* che segnano punti effettivi di discontinuità pur rispetto al sussistere di un numero grandissimo di fattori di continuità, e quindi anche di leggere la successione come una vera e propria *trans-formazione os-*

sia come passaggio da una forma all'altra, con la relativa possibilità di giudicare tale passaggio come un progresso (o magari come un regresso).

È ovvio che, nella visione darwiniana, la selezione naturale sottintendeva implicitamente proprio la scomparsa del concetto di "forma", con il suo carattere *olistico* di organizzazione complessiva (cosicché i medesimi "elementi", se disposti in modo diverso e secondo correlazioni e interazioni diverse, danno luogo a entità *specificamente diverse*). Viceversa, nella prospettiva della selezione naturale, la diversità nasce dall'aggiunta di un piccolissimo dettaglio che si limita ad accrescere quantitativamente il numero degli elementi senza intaccare la costituzione dell'organismo (della quale non si fa menzione né si tiene conto), ma semplicemente apportando una condizione che lo favorisce nella lotta per la vita e la riproduzione nell'ambiente. È chiaro che, in quest'ottica, non soltanto non ha senso pensare l'evoluzione come un processo che avanza verso "forme" di vita più perfette, e magari verso la comparsa dell'uomo, ma è anche poco coerente parlare dell'uomo come "vertice dell'evoluzione", ossia come punto più alto.

Infatti l'uomo può essere visto coerentemente come l'"ultimo arrivato", come il prodotto di un accumulo di piccole variazioni che lo distinguono dai suoi antenati meno evoluti, ma solo da un punto di vista *quantitativo* e non già *qualitativo*. La sua *natura* è la stessa degli altri animali, egli è nient'altro che un animale.

Sono conclusioni notissime che, in particolare, hanno costituito il motivo forse più notevole dell'opposizione al darwinismo manifestatasi sin dall'inizio e perdurante ancor oggi. È un'opposizione che molto spesso viene descritta come una tenace resistenza al secondo atto della "detronizzazione" dell'uomo rispetto al cosmo prodottasi in seno alla cultura occidentale.

Il primo atto sarebbe costituito dall'avvento della teoria copernicana che, rimuovendo la Terra dal centro dell'universo e rendendola un semplice pianeta fra i molti corpi celesti, aveva con ciò anche eliminato quel posto centrale privilegiato che, secondo la visione tradizionale, competeva all'uomo in quanto l'essere più perfetto del creato e simile per natura al suo Creatore. C'è del vero in questa affermazione, ma solo nel senso che, entro una certa concezione gerarchica tradizionale, il luogo fisico occupato da una realtà ne esprimeva anche l'eccellenza metafisica. Proprio il cristianesimo, tuttavia, aveva sovvertito questa concezione gerarchica, mostrando il figlio di

Dio che nasce in una stalla e muore come un delinquente su una croce, nonostante l'eccellenza infinita della sua *natura* divina oltre che umana.

Con la teoria darwiniana (si aggiunge in questa interpretazione) si realizza il secondo atto: anche l'eccellenza ed eccezionalità della *natura* umana scompare, in quanto l'uomo risulta essere un animale soltanto più complesso dei suoi antenati, dei quali tuttavia conserva la natura, semplicemente arricchita di dettagli totalmente biologici. È questa una delle ragioni fondamentali per le quali il darwinismo incontrò varie opposizioni da parte di intellettuali e autorità religiose, ma anche da parte di molti uomini di scienza e di pensiero che non muovevano da premesse religiose. Tuttavia è il caso di affermare subito che la *teoria evoluzionista* (ossia la tesi che l'evoluzione ha avuto luogo) non comporta di per sé tali conseguenze e *interpretazioni* chiaramente *filosofiche* e neppure le conseguenze antireligiose che molti ne trassero. Anzi, sin dall'inizio non furono pochi coloro che non videro opposizione fra la teoria dell'evoluzione e le concezioni tradizionali metafisiche e religiose concernenti l'uomo e il cosmo. In un successivo capitolo di quest'opera ritorneremo su questo problema, nel quadro di una discussione più generale dei rapporti fra scienza e religione nella cultura moderna. Solo la *teoria darwiniana dell'evoluzione* si prestò più facilmente a simili interpretazioni, ma non già per ragioni scientifiche, bensì per ragioni di tipo filosofico che vale la pena di esaminare, sia pure in breve.

Come la scienza naturale moderna si era costituita all'interno della metafisica della natura di ispirazione cristiana, che vedeva il mondo come espressione del progetto di un creatore intelligente, così la modernità occidentale aveva elaborato le idee della dignità umana e dei diritti inviolabili della persona traducendo su un terreno secolarizzato (ossia che prescindere da ogni prospettiva religiosa) la visione cristiana dell'uomo come essere privilegiato della creazione, fatto a immagine e somiglianza di Dio. Il darwinismo aveva intaccato non soltanto la prima, ma anche la seconda visione, e lo aveva fatto con un indubbio imbarazzo, testimoniato dalle pagine dello stesso Darwin. Egli aveva cautamente evitato il tema della "discendenza" dell'uomo nell'opera del 1859 (*L'origine delle specie per selezione naturale*), ma era stato quasi forzato ad affrontarlo dopo che il suo seguace Thomas Huxley (1825-1895), in una famosa opera polemica del 1863 (*Il posto dell'uomo nella natura*), aveva esplicitamente sostenuto l'origi-

ne dell'uomo da animali simili alle scimmie antropoidi, pur non pronunciandosi circa il modo con cui si è verificata tale discendenza. Darwin pubblicò nel 1871 la sua seconda opera fondamentale (*La discendenza dell'uomo e la selezione sessuale*) in cui l'equiparazione dell'uomo ai primati è chiaramente asserita e illustrata con abbondanti argomenti. Nelle frasi conclusive dell'opera egli si esprime in termini entusiastici circa le qualità dell'umanità, pur non potendosi esimere dal ribadire nello stesso tempo le umili origini biologiche dell'uomo: "L'uomo va scusato se prova un qualche orgoglio per essere asceto, anche se non per meriti propri, alla sommità della scala dei viventi [...] per altro dobbiamo riconoscere, almeno mi sembra, che l'uomo, con tutte le sue nobili qualità [...] ancora porta impressa nella sua struttura fisica l'impronta indelebile della sua infima origine"⁷.

Questo conflitto interno si è rivelato ben più acuto quando si è dovuto confrontare con le coerenti applicazioni pratiche dell'antropologia darwinista. Se è corretto considerare l'uomo come nient'altro che un animale è del tutto ragionevole trattarlo anche come un semplice animale e, in particolare, applicare anche alla specie umana quei criteri di miglioramento che hanno consentito alla selezione naturale di assicurare il progresso dei viventi. Pertanto l'atteggiamento protettivo nei riguardi dei deboli, degli ammalati, dei socialmente svantaggiati, che è suggerito dai sentimenti di compassione o da precetti morali, è contrario all'interesse della specie e il progresso dell'umanità sarà assicurato lasciando che nella lotta per la vita i più forti prevalgano e i più deboli soccombano (darwinismo sociale). Adirittura si devono promuovere misure adatte ad assecondare e proseguire l'opera della selezione naturale, evitando che i deboli, i tarati fisicamente e psichicamente, o addirittura gli individui appartenenti a razze inferiori, si possano riprodurre (eugenismo e razzismo). Queste tesi furono effettivamente sostenute, propagandate e applicate da personalità scientifiche, istituzioni accademiche e provvedimenti legislativi, specialmente negli Stati Uniti d'America e in misura minore in Europa, nella prima metà del Novecento, assumendo il darwinismo come loro fondamento scientifico, e videro le loro applicazioni consequenziali più estreme nelle pratiche naziste di "purificazione razziale". Dopo il processo di Norimberga (nel quale, alla

⁷ Charles Darwin, *The Descent of Man*, Murray, II ed., London 1882, p. 619, tr. it. *L'evoluzione: L'origine della specie, L'origine dell'uomo e la selezione sessuale, I fondamenti dell'origine della specie, Autobiografia*, Newton & Compton, Roma 1994, pp. 974-975.

conclusione della seconda guerra mondiale, furono giudicati e condannati come "criminali di guerra" i principali responsabili delle stragi razziali compiute dal regime nazista), il desiderio di non venire associati allo spettro del nazismo indusse la comunità internazionale a dismettere il termine "eugenetica" e a rimpiazzarlo, nelle intitolazioni delle cattedre, dei laboratori, delle associazioni, con la dizione "genetica umana", lasciando però intatto l'impianto ideologico precedente e al loro posto le persone che lo sostenevano. Oggi si assiste addirittura, da qualche parte, alla proposta di riabilitare l'eugenetica e di difenderne nuove forme di applicazione a livello biomedico⁸.

Di fronte a queste evidenze risultano quindi patetici gli sforzi di non pochi attuali neodarwinisti di prendere le distanze dal darwinismo sociale o dall'eugenetica, quasi che fossero conseguenze aberranti indebitamente tratte dalla teoria neodarwiniana dell'evoluzione. Esse lo sono, infatti, ma a patto che non si pretenda, come invece questi stessi autori molto spesso pretendono, che faccia parte di tale teoria anche la "metafisica di sfondo" materialistica di cui si è detto.

L'esempio probabilmente più paradigmatico di questa schizofrenia è fornito da Richard Dawkins, notissimo per aver preteso che dal darwinismo seguano logicamente l'ateismo e la natura puramente materiale dell'uomo. La sua versione del darwinismo consiste nel sostenere che, attraverso la selezione naturale, i viventi tendono a preservare e a trasmettere i propri geni e che, con l'avvento dell'uomo, l'evoluzione biologica prosegue con l'evoluzione culturale nella quale il ruolo dei geni è assunto dai cosiddetti "memi", che potremmo indicare come unità stereotipe di tipo culturale. Tuttavia Dawkins afferma che, giunti all'uomo, un'importante novità appare: l'uomo è capace di resistere ai propri geni, ossia di rompere la catena del determinismo genetico. Nella conclusione dell'opera *Il gene egoista*, infatti, egli svolge un'appassionata difesa della dignità e della libertà umana e afferma:

"Abbiamo il potere di andare contro ai geni egoisti e, se necessario, ai memi egoisti del nostro indottrinamento. Possiamo addirittura discutere i modi di coltivare deliberatamente l'altruismo disinteressato e puro – qualcosa che non trova posto in natura, qualcosa che non è mai esistito nell'intera storia del mondo. Sia-

⁸ Per una dettagliata documentazione circa i legami diretti fra darwinismo ed eugenetica si veda Giulio Meotti, *Il processo della scimmia*, Lindau, Torino 2006.

mo costruiti come macchine dei geni e coltivati come macchine dei memi, ma abbiamo il potere di ribellarci ai nostri creatori. Noi, unici sulla terra, possiamo ribellarci alla tirannia dei replicatori egoisti.”⁹

Una simile dichiarazione è certamente edificante, ma non si vede come segua coerentemente dalle tesi suppostamente scientifiche dell'autore, ma non è il caso di affannarci a cercarne le radici, poiché egli stesso chiarisce la cosa nel passaggio di un'altra opera: “Per quanto io sostenga il darwinismo come scienziato, sono un appassionato anti-darwiniano quando si arriva alla politica e su come dovremmo condurre le nostre vicende umane”¹⁰. In sostanza, si tratta di un'opzione di tipo etico-politico, della quale non viene fornita alcuna giustificazione. Poco male, in fondo, ma è quanto mai interessante sottolineare che, per dare un senso e un minimo di coerenza a questa opzione, l'autore abbia dovuto prepararle il terreno sul piano dell'antropologia filosofica, ossia offrendo una “metafisica di sfondo” per l'essere umano in cui si rompe il determinismo biologico e perfino socio-culturale e si afferma la libertà.

Come ciò possa emergere dalle dinamiche dell'evoluzione non è detto e chi sia sensibile a certe affinità può notare l'analogia con la dottrina di Kant. Anch'egli cercò di conciliare la libertà umana, senza cui non ha senso la moralità, con il determinismo meccanicistico che governa i fenomeni naturali, inclusi quelli dell'essere umano *come fenomeno*, e dovette farlo riconoscendo una dimensione *non fenomenica* di tipo metafisico che, pur non essendo “conoscibile” mediante le categorie dell'intelletto, è la radice più profonda della *natura umana*.

3.6 Dalle teorie dell'evoluzione all'evoluzionismo

Il quadro sin qui presentato ha cercato di limitare le considerazioni al piano scientifico e, più esattamente, biologico, ma già si è visto come l'accettazione del “fatto” dell'evoluzione e delle successive “teorie” fosse gravida di implicazioni e presupposti di natura filosofica assai generale. In effetti si è rapidamente prodotta una forte generalizzazione del concetto di evoluzione, trasformatosi in una chiave di lettura di tutta la realtà, e quindi in vera e propria nuo-

⁹ Richard Dawkins, *Il gene egoista*, Mondadori, Milano 1976, p. 210.

¹⁰ Richard Dawkins, *A Devil's Chaplain*, Weidenfeld & Nicolson, London 2003, p. 11.

va categoria *metafisica*, la cui centralità caratterizza una forma di pensiero che è corretto chiamare *evoluzionismo* e che, per l'appunto, si estende molto al di là del semplice terreno biologico.

Possiamo apprezzare la profondità di questo influsso osservando che la grande novità che il pensiero occidentale registra nell'Ottocento è la scoperta e la piena valorizzazione della *dimensione storica*, per altro preannunciata nel Settecento nella filosofia di Giambattista Vico (1668-1744). Lo *storicismo* è infatti la cornice più generale delle filosofie romantiche e dell'idealismo, che aveva concepito la realtà in modo *monistico*, ossia facendola consistere nell'esplicazione di un unico principio (lo Spirito) e cercando di spiegare la molteplicità delle manifestazioni di tale principio unico grazie a un divenire o mutamento puramente interno e *dialettico* (ossia capace di dar luogo al *nuovo* pur senza contraddire l'unicità del principio in svolgimento progressivo). La *storia* appariva appunto, in tali filosofie idealistico-romantiche, come la più chiara manifestazione del divenire dello Spirito il quale, d'altro canto, era ritenuto presente anche nella natura, essa pure sottoposta a un divenire dialettico lungo il quale lo Spirito veniva sempre più chiaramente emergendo.

Il positivismo rimane monista e sostituisce allo Spirito, come principio unico della realtà, la materia mentre l'evoluzione si presenta (come abbiamo visto) come introduzione della storicità nel mondo materiale. Ma anche l'evoluzione è dialettica, poiché si sostiene che è in grado di spiegare il sorgere del *nuovo* (ivi comprese le manifestazioni dello spirito) in seguito a dinamiche puramente interne al dominio della materia e senza uscire dall'unicità di tale principio. Possiamo quindi concludere che l'evoluzione è la dialettica del monismo materialista, così come la dialettica è l'evoluzione del *monismo spiritualista*. A questo punto risultano chiare le ragioni di tanti contrasti e tante dispute: al di sotto della comune adesione a una prospettiva storicista, idealismo ed evoluzionismo incarnavano la secolare contrapposizione tra spiritualismo e materialismo. Per uscire da questa era necessario uscire dal monismo, ossia riconoscere che la realtà non è di un unico tipo, che vi sono in essa livelli differenti e non riducibili l'uno all'altro, ma questa non era impresa facile poiché il positivismo pretendeva di poggiare sull'autorità, divenuta nel frattempo sempre più socialmente e culturalmente indiscussa, dell'*scienza*. Ma è proprio la riflessione critica sulle condizioni della scientificità che, come vedremo subito, incominciò gradatamente a sgretolare il monismo.

4. La costituzione delle “scienze umane”

4.1 *L'allargamento dello scientismo positivista allo studio dell'uomo*

Si deve onestamente riconoscere che (contrariamente a quanto non di rado si afferma) il positivismo non fu inizialmente un programma né riduzionista, né materialista. Auguste Comte, per esempio, non sostenne affatto che le diverse scienze dovessero “ridursi” a una scienza fondamentale (per esempio, alla fisica), e anzi cercò di proporre una sorta di classificazione in cui le scienze fondamentali trovassero un loro coordinamento organico pur rimanendo distinte; e nemmeno è rintracciabile nella sua filosofia una posizione chiaramente materialista. Riduzionismo e materialismo furono posizioni dottrinali di non pochi positivisti successivi (e neppure di tutti). Caratteristica del positivismo comtiano, rimasta costante in tutte le dottrine di questa corrente di pensiero, fu la *concezione generale della scientificità*, che potremmo qualificare, eventualmente, come un *monismo metodologico*. Come già abbiamo avuto occasione di sottolineare, il positivismo volle presentarsi come una “filosofia del fatto” in contrapposizione alle astratte speculazioni metafisiche e, meno genericamente, come una *filosofia scientifica* che attindeva alle scienze i contenuti di conoscenza e al massimo si riservava il compito di ordinarli. Ma le fonti della conoscenza scientifica medesima venivano poi ridotte alla *percezione sensibile*, immediatamente presente nell'*osservazione* e al massimo opportunamente provocata nell'*esperimento*. In base a queste si potevano determinare non già le “cause”, ma le *condizioni costanti* (o “regolarità”) nel presentarsi dei fenomeni, ossia le *leggi* di tipo *deterministico* che consentono le previsioni e le applicazioni delle conoscenze scientifiche. Erano, evidentemente, le caratteristiche del metodo sperimentale delle scienze naturali, impoverite per di più della consapevolezza del ruolo costruttivo svolto dalla dimensione teorica.

Il programma culturale del positivismo fu quello di estendere questo “metodo scientifico” anche al mondo dell'*uomo* e della *società*, settori rimasti, fino ad allora, fuori dal campo delle scienze e riservati alla filosofia (come già abbiamo visto considerando il dualismo cartesiano e le sue conseguenze, fino a Kant e oltre): anche psicologia, etica, sociologia, politica e storia dovevano essere elevate al livello di *scienze positive*. Lo stesso Comte pose mano all'esecuzione di questo

programma, fondando la *sociologia* che cercò di impostare come una “fisica sociale” sul modello della meccanica newtoniana per quanto concerne lo studio della struttura e delle dinamiche sociali, e che faceva culminare in un'etica e addirittura in una “religione dell'Umanità”. Era un progetto per certi aspetti illusorio e per altri utopistico ancorché generoso, e quando, alcuni decenni più tardi, la sociologia decollò per davvero come “scienza”, seguì strade diverse, come vedremo. Tuttavia ciò che interessa notare, a questo punto, è la consapevolezza con cui viene proposto un simile programma, e che troviamo espressa in maniera lapidaria nelle parole di un influente intellettuale francese del tempo, lo storico Hyppolyte Taine (1828-1893):

“La scienza giunge infine e si avvicina all'uomo. È all'anima che essa si volge, munita degli strumenti esatti e penetranti di cui trecento anni di esperienza hanno dimostrato l'esattezza e misurato la portata. Il pensiero e il suo svolgimento, la sua struttura e le sue esplicazioni, le sue profonde radici corporee, la sua ramificazione infinita attraverso la storia, la sua alta fioritura al sommo delle cose, ecco il suo oggetto.”

Questa citazione non è tratta da un saggio filosofico, bensì appare in una ponderosa *Storia della letteratura inglese* uscita in prima edizione nel 1863 e più volte ristampata¹¹, nella quale l'autore difende (specie nell'*Introduzione*) un programma che, proprio per il fatto di rivolgersi al modo di concepire e fare letteratura, indica ancor più profondamente quanto lo spirito dello scientismo positivista avesse permeato la cultura europea. A tale programma si fa di solito risalire il *naturalismo* che, agli inizi, non è affatto una dottrina filosofica, bensì un movimento letterario diffusosi in Francia fra il 1870 e il 1890, specie nella prosa narrativa e nel teatro, strettamente collegato alla nozione di realismo, con cui a volte è perfino confuso.

In effetti il naturalismo concerne non tanto uno scopo quanto un “metodo” di rappresentazione deterministica della realtà, frutto dell'applicazione alla letteratura di criteri sperimentali propri delle scienze positive: accanto al biologo, al fisiologo e allo storico, anche il poeta, e soprattutto il romanziere, assumono ottimisticamente il compito di studiare l'uomo naturale quale prodotto di fattori eredi-

¹¹ H. Taine, *Histoire de la littérature anglaise*, 4 voll. Hachette, Paris 1966², vol. IV, p. 421.

tari, sociali e temporali, di individuare le leggi che ne fissano i caratteri e ne influenzano i comportamenti, e di proporre eventuali rimedi, contribuendo al progresso civile e politico. L'opera letteraria è quindi concepita come documento, *tranche de vie*, nel quale lo scrittore deve raccontare i fatti con il distacco di un anatomista, lasciando parlare le cose e soffermandosi sull'azione e sul gesto, non già sulla psicologia dei singoli caratteri, attraverso uno stile capace di imitare addirittura il modo di esprimersi del personaggio in situazione. Il maestro indiscusso dei "naturalisti" fu, in Francia, Emile Zola (1840-1902) e in Italia l'equivalente fu la corrente letteraria del "verismo" i cui maggiori rappresentanti furono Luigi Capuana (1839-1915) e Giovanni Verga (1840-1922).

Possiamo notare che, oggi, il "naturalismo" è tornato fortemente di moda, assumendo un significato molto generale e sta a indicare il progetto di sostituire in ogni campo le scienze naturali come unici criteri di analisi e soluzione dei problemi che si presentano nelle più diverse discipline. Così si parla di etica naturalizzata, di teoria della conoscenza naturalizzata, di sociologia naturalizzata e via dicendo. Il bersaglio polemico più diretto di questo movimento è la filosofia intesa come ambito specifico di indagine e conoscenza, che viene screditata e sostituita dai contributi di singole scienze "naturali". Questo è il segno di un arretramento rispetto a un guadagno epistemologico che proprio nell'Ottocento si era registrato con la creazione delle scienze umane come distinte e irriducibili alle scienze naturali.

4.2 Scienze della natura e scienze dello spirito

L'espressione "scienze umane" è piuttosto recente, appartiene alla seconda metà del Novecento, e non è neppure usata diffusamente in tutte le lingue occidentali. La si utilizza normalmente nelle lingue neolatine, mentre in tedesco il suo equivalente è *Geisteswissenschaften* (scienze dello spirito) e solo molto di recente si viene introducendo in questa lingua, come neologismo, il termine *Humanwissenschaften* (scienze umane). In inglese non esisteva fino a poco fa, espressione equivalente, e si parlava o di *behavioral sciences* (scienze del comportamento, con riferimento centrale alla psicologia), o di *social sciences* (scienze sociali). Anche qui, per altro, da qualche tempo incomincia a circolare l'espressione *human sciences* (per esempio, un dipartimento così intitolato è stato creato all'Università di Oxford).

Queste differenze terminologiche non sono accidentali, ma si ricollegano a tradizioni storico-culturali ben precise sulle quali non possiamo indugiare. Possiamo invece analizzare il problema ponendoci da un punto di vista semplicemente concettuale: è del tutto ovvio che il significato più diretto di "scienze umane" è quello di ricerche scientifiche che assumono l'uomo come proprio oggetto. A questo punto sorge tuttavia il problema di precisare che cosa si intende per "scientifiche", poiché l'uomo può essere considerato da punti di vista molto diversi e non è detto che tutti siano scientifici (anzi, si è visto che, a partire da Kant, si era riservato alla filosofia, come discorso ben distinto dalle scienze, il compito di indagare aspetti della realtà umana come la sfera della moralità, della libertà, della religiosità, del diritto). Appare subito chiaro quindi che, se per scienze si intendono soltanto certe discipline, le scienze umane saranno le indagini sull'essere umano condotte con i metodi e gli strumenti di tali discipline.

È infatti quanto accadde col positivismo: nel 1832 la cattedra di anatomia del Muséum national d'histoire naturelle di Parigi viene trasformata in cattedra di "storia naturale dell'uomo" e nel 1845 viene convertita nella prima cattedra di "antropologia" occupata da un biologo come Jean Louis Armand de Quatrefages (1810-1892) sino alla sua morte. Questa denominazione è interessante, poiché l'antropologia costituiva tradizionalmente una disciplina filosofica, mentre a partire da quel momento diventa una branca della zoologia i cui specialisti cercano di sviluppare metodi quantitativi, misurando scheletri, calcolando indici craniometrici, stabilendo medie e basando su di esse varie tipologie di esseri umani. Ancor oggi questo tipo di studi prosegue, indicato talora come "antropologia fisica" per distinguerla dall'"antropologia culturale" sorta in seguito, come sviluppo dell'etnografia ed etnologia, che si propone lo studio delle "culture", ossia delle forme di vita caratteristiche di diversi gruppi sociali o popolazioni.

Altro esempio è costituito dal sorgere della psicologia detta "scientifica" (intesa come sostituzione della tradizionale indagine sull'anima umana così denotata in seno alla filosofia), che in un primo tempo ritiene di basare la sua scientificità su uno stretto rapporto con la fisiologia (per esempio, la sensazione è interpretata come un rapporto fra stimoli e reazioni, entrambi esattamente misurabili, come esprime la "legge" di Weber e Fechner sulla proporzionalità della reazione al logaritmo dello stimolo); in seguito sarà meno biologiz-

zata, ma cercherà comunque di adottare lo stile di una “psicologia sperimentale” con tanto di laboratori, test, statistiche destinate a studiare i “fenomeni psichici” senza riferimento a una “mente” di cui non si pretende di conoscere la natura. La specificità della sfera psichica, perfino rispetto alla fisiologia del sistema nervoso, tarderà a imporsi, nonostante la necessità di intenderla emergesse con evidenza dalle vicende della psichiatria (nata e sviluppatasi a partire dalla metà dell'Ottocento); un notevole contributo in tale direzione verrà dalla psicoanalisi freudiana i cui titoli di scientificità, per altro, sono contestati ancor oggi.

Non è il caso di entrare in dettagli circa gli sviluppi di queste discipline, e di molte altre analoghe, che studiano l'uomo utilizzando strumenti e metodi delle scienze naturali, dal momento che esse costituiscono esempi di quella “naturalizzazione” di cui già abbiamo parlato. Tutto quanto in esse si scopre e dimostra è prezioso, non soltanto perché aumenta in senso generale il sapere, ma anche perché può aiutare una migliore *comprensione* dell'uomo. Tuttavia il loro contributo alla comprensione autentica dell'uomo dipende essenzialmente dal fatto che esse siano o meno in grado di leggere l'*intera realtà dell'uomo*. Se così non fosse, il considerarle come discorso esauriente sull'uomo, anziché aiutarne la comprensione, ne provocherebbe un grave fraintendimento, con conseguenze molto gravi sul piano della vita individuale e sociale delle persone. Insomma, le letture offerte da tali scienze sarebbero adeguate se fosse valida una *metafisica materialista*, dal momento che esse sono strutturalmente scienze della materia. Se però così non fosse, il loro discorso risulterebbe legittimo, ma *parziale*, e valido soltanto se consapevole della sua parzialità.

Si tratta di un problema squisitamente *filosofico*, che riguarda la definizione di una *specificità della natura umana* rispetto alla semplice natura materiale, ma alcune indicazioni circa la sua soluzione sono venute proprio dal dibattito circa altre discipline, che hanno a che fare con l'uomo in senso meno immediato, ossia con il suo “mondo”, con quel mondo che è *specificamente* prodotto da lui, vale a dire il mondo della civiltà e della storia.

4.3 La disputa circa le scienze storico-sociali

In un noto saggio di Helmholtz del 1862 *Sul rapporto fra le scienze della natura e la totalità delle scienze* incontriamo il riconoscimento della pari dignità delle “scienze della natura” e delle

“scienze dello spirito”, tutte egualmente sottoposte alle condizioni della inevitabile suddivisione in numerose specializzazioni. In italiano, parlare di scienze dello spirito induce facilmente a pensare a ricerche che hanno per oggetto lo spirito, o l'anima, o il pensiero, o la mente (in sostanza ricerche di tipo psicologico). Nel linguaggio colto tedesco dell'Ottocento, viceversa, è rimasta cristallizzata la nozione di Spirito (*Geist*) elaborata dall'idealismo, secondo cui questo non è una caratteristica individuale dell'uomo, ossia qualcosa come l'anima (*Seele*), bensì una caratteristica universale della natura umana che si manifesta concretamente nelle forme della vita sociale e nella storia. Quindi le *Geisteswissenschaften*, le “scienze dello spirito”, sono quelle che studiano i “prodotti” dello spirito umano e includono la filosofia, la teologia, il diritto, la storia, facendo oggetto di indagine anche la letteratura, la lingua, le arti, i costumi, la politica. Per questa ragione esse sono poi state chiamate da alcuni autori “scienze della cultura”.

Si può dire che nella tradizione non si era avvertita la necessità di qualificare come scienze tali discipline, anche se in esse la presenza di metodi rigorosi e risultati probanti si era manifestata addirittura prima ancora della nascita della scienza naturale moderna. Infatti la competenza filologica degli umanisti del Quattrocento e Cinquecento fu eguagliata e superata soltanto da quella dei grandi filologi tedeschi dell'Ottocento: basti pensare che nel 1440 Lorenzo Valla (1407-1457) era in grado di dimostrare inoppugnabilmente, in base a criteri filologici, la falsità del documento noto come “donazione di Costantino” che per secoli era servito alla Chiesa per legittimare giuridicamente il suo potere temporale; e ancora, che le prime fondamentali edizioni critiche di tanti classici greci e latini risalgono a quei tempi, tant'è vero che a esse fanno ancora riferimento le suddivisioni in pagine e paragrafi che troviamo comunemente riportate nelle nostre edizioni attuali (per esempio, nel caso di Platone, i riferimenti sono all'*editio princeps* in tre volumi curata a Parigi nel 1578 da Henri Etienne, latinizzato in Stephanus). Ma quei lavori e quelle discipline venivano chiamati *humanae litterae*, ossia “lettere umane”, e non è un caso che esse siano tuttora considerate le discipline tipiche della cosiddetta “cultura umanistica”.

Esse attrassero fino al Settecento il maggior prestigio culturale, e non per nulla la comunità degli intellettuali amava considerarsi come la *république des lettres*, la “repubblica delle lettere”, con caratteri e dimensioni internazionali, alla quale appartenevano anche non pochi

scienziati che, in generale, coltivavano non banali interessi letterari e filosofici. È per altro indubbio che, come già si è visto a suo luogo, le scienze fisico-matematiche stavano rapidamente acquisendo un forte prestigio come paradigmi di *conoscenza* (ossia di “scienza”, come in senso del tutto generale si usava dire) ed è proprio considerando questo punto che risalta pienamente la novità e l’originalità del filosofo napoletano Giambattista Vico.

Aderendo seriamente alla classica nozione di scienza come un “conoscere attraverso le cause” che sole permettono di conoscere la natura delle cose, egli osserva che una conoscenza adeguata delle cause è possibile soltanto a chi le suscita. Pertanto l’uomo, che non ha causato, ossia prodotto, né il mondo né se stesso, non potrà aver scienza né del mondo né di sé medesimo; una tale conoscenza è riservata solo a Dio. Invece l’uomo può conoscere ciò di cui è causa produttrice, ossia il suo mondo, che è quanto dire il *mondo storico-civile*. Nasce in tal modo il progetto di una *Scienza nuova* (come Vico intitola la sua opera fondamentale, uscita in successive elaborazioni tra il 1725 e il 1744), prima consapevole espressione dello *storicismo*. Per una serie di ragioni storico-culturali, quest’opera rimase quasi sconosciuta e influente per oltre un secolo, ma la sua impostazione concettuale era proprio quella che avrebbe trovato piena espressione in quella rivendicazione della scientificità delle “scienze dello spirito” che ebbe luogo nella seconda metà dell’Ottocento e, non a caso, in seno a quella cultura tedesca che era stata fortemente influenzata dallo *storicismo* idealistico.

Infatti il positivismo non aveva certamente esitato a estendere il suo metodo generale di indagine (pur senza la pretesa di utilizzare sempre gli strumenti delle scienze naturali) anche al campo delle discipline umanistiche e infatti, nello scritto già citato del 1862, Helmholtz sottolinea con apprezzamento il fatto che in tanti settori di queste si siano realizzati notevoli progressi sostituendo alle più o meno vaghe speculazioni solide “ricerche empiriche”, costituite da raccolte sistematiche e minuziose di dati, di documenti, di epigrafi, di lessici e repertori, seguite dall’elaborazione di *concetti* unificanti e di *leggi* che registrano le regolarità empiricamente rilevate.

In effetti, la storiografia positivista aveva accumulato una grande quantità, diremmo, di “materiali” affidabili, specie nel campo delle scienze storiche (dando luogo alla nascita di quelle che ancor oggi vengono chiamate “scienze ausiliarie della storia”, come l’epigrafia, la numismatica, la papirologia, la paleografia, l’archivistica, ciascuna

caratterizzata da manuali e repertori talora di enorme mole e impegno). Tuttavia che l’opera dello storico dovesse esaurirsi in questo lavoro restava fortemente dubbioso: basta riflettere sul fatto che siamo normalmente abituati a considerare un grande storico colui che non si limita a ricostruire fedelmente i fatti, ma riesce anche a darci un quadro complessivo in cui questi ricevono una luce, una prospettiva, che si tratti di far “rivivere” (come si suol dire) un personaggio o l’atmosfera di un’epoca o di una certa comunità.

È proprio questo che sottolineavano gli storici di ispirazione idealistica o “storicistica”, non insensibili a quel concetto di *Zeitgeist* (“spirito del tempo”) di cui tratta Hegel nella sua filosofia della storia. Uno storico di razza deve esser capace di ricostruire tale spirito del tempo e non può limitarsi a documentare accuratamente le sue narrazioni. Fu specialmente la grande storiografia tedesca dell’Ottocento che realizzò e teorizzò questo connubio: se la famosa affermazione di Leopold Ranke (1795-1886), secondo cui compito dello storico è raccontare “ciò che è effettivamente accaduto”, potrebbe suonare come un’adesione all’invito positivista di non andare oltre la scrupolosa registrazione dei fatti, è facile invece constatare, incominciando dalle eminenti opere di questo medesimo storico, che il più rigoroso e minuzioso lavoro di accertamento critico e documentario è soltanto la base impiegata per rendersi idealmente contemporanei degli eventi narrati, ponendo in risalto il loro significato latente e i valori che esprimono. In questo si colloca una fondamentale differenza rispetto alle finalità e alle metodologie delle scienze naturali.

Tale specificità e differenza (che in sostanza equivaleva al rifiuto di accettare la riduzione positivista delle recenti scienze dell’uomo alle scienze della natura ormai metodologicamente fondate) imponeva un chiaro ed elaborato discorso metodologico che, per quanto introdotto da alcuni precursori, fu esplicitamente impostato nell’opera di Wilhelm Dilthey (1833-1911), *Introduzione alle scienze dello spirito* (1883).

Il primo fondamento di distinzione è costituito, secondo Dilthey, dalla differente *natura* degli oggetti di studio: il mondo naturale da un lato e il mondo umano (ossia storico-sociale) dall’altro, i quali implicano anche un diverso modo di accesso. Essendo la natura esterna al soggetto, può esser conosciuta soltanto mediante l’esperienza esterna, ossia l’osservazione sensibile, mentre nel caso del mondo umano il soggetto conoscente è parte di tale medesimo mondo e quindi deve conoscerlo dall’interno, ossia utilizzando la propria

esperienza interiore di soggetto che vive e si pone in relazione con altri soggetti, nel contesto della *storia* intesa in senso sincronico e diacronico, ossia riguardante tanto il presente quanto il passato. Inoltre la storia è fatta dall'attività di *individui* e la conoscenza di essa mira appunto a conoscere e *comprendere* le loro azioni, cosa che lo storico può fare appellandosi alla propria esperienza vissuta e investendo di essa il comportamento degli altri uomini, adottando un atteggiamento di "empatia", ossia di partecipazione psicologica che non è puramente soggettiva, in quanto è anche descrivibile e comunicabile.

Mentre la distinzione fra i due campi proposta da Dilthey era di tipo sostanzialmente *ontologico* (ossia concernente il "tipo di realtà" degli oggetti studiati) e al massimo prospettava alcune differenze afferenti in generale alla teoria della conoscenza, Wilhelm Windelband (1848-1915) la sposta su un piano più strettamente *metodologico*: ci sono scienze che aspirano alla determinazione di leggi generali e alla scoperta di uniformità tra i fenomeni e altre che invece mirano alla conoscenza di fatti particolari, unici e irripetibili. Egli chiama le prime "nomotetiche" (ossia, etimologicamente, "che pongono leggi") e le altre "idiografiche" (ossia "che descrivono ciò che è singolare"); le scienze naturali sono del primo tipo e le scienze storiche del secondo.

L'obiettivo delle scienze naturali è quello di *spiegare* i fenomeni particolari, riconducendoli all'effetto di cause espresse nelle leggi universali; l'obiettivo delle scienze storiche è quello di *comprendere* gli eventi singoli senza la pretesa di spiegarli in base a leggi generali. Come ciò sia possibile viene chiarito con una dottrina filosofica riguardante la struttura generale dell'azione umana: questa avviene sempre avendo un "riferimento a un valore" (ossia a un obiettivo considerato degno di esser perseguito) e quindi comprendere un'azione significa cogliere il valore che l'ha motivata.

Questa linea teorica, approfondita da Heinrich Rickert (1863-1936), finiva con l'ancorare la validità della conoscenza storica a una altrettanto problematica determinazione di una tavola oggettiva dei valori che ispirano le azioni umane, riconoscibile dai diversi ricercatori e utilizzabile come criterio non puramente soggettivo per selezionare e comprendere i fatti storici e sociali. Ciò costituiva un certo limite che fu superato nel Novecento dalla teorizzazione di Max Weber (1864-1920), storico ed economista oltre che metodologo delle scienze sociali, il quale condivide l'impostazione metodologica (an-

ziché ontologica) della distinzione fra scienze della natura e scienze storico-sociali e il loro essere rispettivamente nomologiche e idiografiche. Condivide pure la tesi che nelle scienze storico-sociali prevale la figura della *comprensione*, che ha luogo mediante un "riferimento a valori", ma questo non implica più l'aggancio a una costellazione oggettiva e universale di valori: ogni ricercatore sceglie i fatti e li interpreta utilizzando valori che egli stesso sceglie e ipotizza come capaci di far comprendere gli eventi studiati, senza per altro pretendere che essi possano servire per giudicare tali eventi. Anzi, al contrario, affinché sia garantita in queste scienze la indispensabile *oggettività*, lo scienziato sociale deve rigorosamente astenersi dai *giudizi di valore*. Una volta interpretati i fatti alla luce del riferimento a un dato valore, lo scienziato sociale procede anche a una loro *spiegazione causale*, che non è affatto di tipo nomotetico, bensì consiste nel mostrare come l'azione degli individui considerati appaia una conseguenza logica del fatto di aver scelto quel determinato valore come meta fondamentale del loro comportamento, in presenza delle *concrete circostanze* storiche in cui agiscono. In tal modo veniva riconosciuto tutto il peso che merita all'aspetto empirico e al rigore documentario della ricerca storico-sociale.

L'epistemologia delle scienze umane testé schizzata viene talora designata come "storicista" o "idealistica" e contrapposta alla "positivista". Per le ragioni sopra indicate è più opportuno chiamarla "ermeneutica" (dato l'accento particolare da essa posto sull'interpretazione comprensiva). Nel Novecento essa ha conosciuto anche altri notevoli rappresentanti che, fra l'altro, difficilmente potrebbero essere iscritti nel solco dello storicismo o dell'idealismo ma, dati i limitati scopi della nostra esposizione, non ne facciamo cenno. Per le medesime ragioni di brevità non tratteremo di prosecuzioni dell'impostazione positivista, che anche nel Novecento ebbero luogo specialmente in rapporto con il movimento neopositivista del Circolo di Vienna, e in seno alle quali si cercò di estendere anche alle scienze storico-sociali quel modello della *spiegazione scientifica* che viene chiamato "nomologico-deduttivo" o "della legge di copertura", poiché fa consistere la spiegazione dei casi particolari in una deduzione logica di questi a partire da leggi generali e da opportune condizioni iniziali (modello chiamato anche di Popper-Hempel e che era stato inizialmente proposto per le scienze naturali).

Nostro scopo è stato semplicemente quello di mostrare con quanta profondità l'ideale della conoscenza scientifica abbia penetrato la

cultura occidentale moderna, producendo gradatamente, in molti strati di essa, la persuasione che *in ogni campo* la conoscenza si possa raggiungere soltanto istituendovi una opportuna scienza, magari attraverso una sapiente delimitazione dei suoi criteri metodologici specifici. Quanto rimane fuori da tali possibilità di trattazione (ossia i grandi problemi esistenziali che da sempre preoccupano l'umanità e sono stati oggetto della riflessione filosofica e delle dottrine religiose) è lasciato alla sfera del sentimento e delle libere opzioni personali, quando non venga considerato un discorso "privo di senso" (come affermavano i neopositivisti).

Potrebbe sembrare strano a qualcuno che, in un'opera dedicata a trattare delle grandi "rivoluzioni" moderne sulla falsariga delle rivoluzioni scientifiche, si sia dato tanto spazio alla "rivoluzione" epistemologica che condusse alla nascita delle scienze storico-sociali in senso moderno, una rivoluzione che sembra ristretta al terreno strettamente accademico, intellettuale e quasi erudito. Ma a far subito capire che così non è stato basti considerare il fatto che una dottrina che volle presentarsi come conseguenza e applicazione di una lettura scientifica della storia e della società fu il marxismo, ossia una dottrina che ha inciso sulla storia del mondo in misura notevolissima.

5. Dalla scienza economica alla rivoluzione

Non avrebbe alcun senso presentare in questa sede la complessa struttura di una dottrina che appartiene per un verso alla filosofia e per altri versi alla storia politica e sociale dell'Europa e del mondo. Vogliamo quindi limitarci a porre in rilievo la caratterizzazione "scientifica" che essa stessa volle attribuirsi e vedremo che tale qualifica non appare del tutto pretestuosa se viene riferita a un'altra "scienza umana" che nel frattempo si era sviluppata, la *scienza economica* (o, in senso più ristretto, quella che è stata poi chiamata *economia politica*).

La rivoluzione industriale, come già abbiamo sottolineato a suo luogo, aveva fatto sorgere in Europa la "questione sociale", ossia il problema delle disuguaglianze e delle misere condizioni di vita cui erano costretti gli operai delle fabbriche non meno che i contadini delle campagne, ormai sempre più abbandonate e impoverite, e i disoccupati creati dall'introduzione dei processi industriali di produzione. Queste situazioni di *ingiustizia sociale* non determinarono soltanto la nascita delle organizzazioni sindacali che si dedicavano alla

protezione degli interessi dei lavoratori nei confronti degli imprenditori, ma anche le prime elaborazioni teoriche e le prime organizzazioni del *socialismo*.

Autori come Claude Saint-Simon (1760-1825), Charles Fourier (1772-1837), Robert Owen (1771-1858), Pierre Prudhon (1809-1865) vennero elaborando dottrine di ispirazione umanitaria, in cui si considerava il lavoro come la sola fonte legittima della ricchezza, si proponeva la soppressione della proprietà privata (specialmente dei mezzi di produzione) sostituita da forme varie di collettivismo. Quello di questi polemisti e scrittori fu un complesso di indirizzi e aspirazioni che contribuirono senza dubbio a suscitare in alcuni stati europei una legislazione e delle riforme secondo maggiore giustizia sociale; tuttavia, presentandosi inorganico, fondato su sogni ideali senza riflessione realistica sui mezzi per realizzarli, fu definito *socialismo utopistico* e accusato di "idealismo" (in un senso superficiale e peggiorativo di questo termine, sinonimo di astrattezza, vaghezza e incapacità di aderire alla concretezza del mondo "reale").

Furono proprio Karl Marx (1818-1883) e Friedrich Engels (1820-1895) che gli contrapposero il *socialismo scientifico*, da loro stessi poi chiamato *comunismo* per distinguerlo dai troppi socialismi che anche in seguito vennero manifestandosi. Leggendo il *Manifesto del Partito Comunista*, redatto dai due amici e pubblicato a Londra nel 1848, balza subito agli occhi che esso non si apre con l'enunciazione di principi, diritti, rivendicazioni, programmi politici, bensì con un'analisi e interpretazione della storia della civiltà occidentale, che si fa particolarmente dettagliata mano a mano ci si avvicina all'età moderna e alla situazione socio-politica dell'Ottocento. Chiave di lettura di questa analisi è la tesi che, in ogni società, le *forme della produzione* dei beni determinano la divisione della popolazione in *classi sociali* oggettivamente antagoniste, delle quali alcune sono dominanti e opprimono le altre subalterne. Le prime esprimono e favoriscono la diffusione di concezioni, regole, istituzioni, costumi adatti a sostenere la loro posizione di privilegio. A lungo andare accade che le classi oppresse (sul cui lavoro e sulla cui esistenza si basa la sopravvivenza delle stesse classi dominanti) acquisiscono consapevolezza del loro ruolo e strappano alle classi dominanti il potere, instaurando un nuovo tipo di società in cui le vecchie classi dominanti declinano o spariscono, e le nuove si impongono su nuove classi subalterne. Si tratta di un *processo dialettico*, ossia di un divenire produttore di novità e di progresso, dal momento che le condi-

zioni complessive della società e della storia vengono considerate più avanzate delle precedenti, senza che intervenga nei confronti di queste ultime un giudizio di condanna, tant'è vero che in questa analisi vengono riconosciuti alla borghesia grandissimi meriti storici per aver sostituito in modo rivoluzionario la società feudale, anche se il programma del manifesto è quello di suscitare ormai una rivoluzione proletaria destinata a spazzar via la classe capitalista borghese. La correttezza di questa lettura è suffragata in questa prima parte del *Manifesto* dalla menzione di una serie di fatti storici inoppugnabili, specialmente per quanto concerne il periodo della rivoluzione industriale, ed è soprattutto per questo che la proposta politica dei comunisti vuole presentarsi come *scientifica*. Procedendo nella lettura emergono ovviamente anche altri aspetti, senza i quali non solo non si comprenderebbe lo stile eloquente e infiammato del manifesto, destinato ad incitare i proletari a una dura *lotta di classe*, ma non si comprenderebbe neppure perché questa lotta *deve essere combattuta*. Infatti, se è vero che la concentrazione del capitale industriale in poche mani di sfruttatori egoisti, e il progressivo immiserimento del proletariato, sono inevitabilmente destinati a produrre la rovina stessa del capitalismo (come nel manifesto a più riprese si afferma) non si vede perché sia necessario darsi da fare per ottenere una situazione che è già destinata a verificarsi, a dispetto di tutti gli sforzi in contrario che il capitalismo borghese potrà porre in atto per evitare un simile esito del corso storico. E' la difficoltà in cui incorre ogni immanentismo storicistico e che già si registrava nei riguardi della filosofia di Hegel: se ciò che accade nella storia è ciò che "doveva accadere", non ha senso pronunciare giudizi di valore sulla storia, dire che una data situazione, azione o regime sono buoni o cattivi, giusti o ingiusti, lodevoli o perversi (poiché, dice Hegel, "la storia del mondo è il tribunale del mondo"), e non si capisce perché ci sia un "dovere" di prevedere il corso della storia e facilitarne l'avvento. Ciò ha senso soltanto se il corso degli eventi storici può, almeno in parte, essere orientato da libere *scelte* degli uomini, ma proprio questo è quanto è impossibile dentro una *pura lettura scientifica* della storia e della società, dal momento che ogni lettura scientifica è metodologicamente *deterministica*.

In realtà la grande forza propulsiva che il comunismo manifestò nello sconvolgere la storia del mondo riposa sul fatto che si basava su una denuncia di gravi *ingiustizie sociali* e proponeva dei mezzi che avrebbero dovuto col tempo produrre un tipo di società in cui fosse

eliminato lo *sfruttamento dell'uomo sull'uomo*. Proprio questo valore *utopistico* (nel senso di esser proiettato in un futuro solo sperato), già presente nelle parti successive del manifesto, ha permesso al comunismo di presentarsi per molti come un *ideale* per il quale valeva la pena di vivere, ma anche soffrire e morire. D'altra parte, a differenza delle dottrine di ispirazione romantica (che in quel medesimo 1848 stavano scatenando in tutta Europa sfortunati moti rivoluzionari di rivendicazione di libertà e indipendenza nei confronti dei regimi autoritari ovunque imperanti), il comunismo poggiava coscientemente su una dottrina monista e *materialista*, per la quale era poco congruo sventolare degli ideali. E infatti tale dottrina filosofica si è autodenominata *materialismo dialettico* e (come già abbiamo avuto occasione di osservare), la sua dialettica risulta pertanto molto affine alle dinamiche dell'*evoluzione*. Non è un accostamento ardito: per giustificare il materialismo, ossia la capacità della materia di dar luogo, mediante processi di progressiva trasformazione, a forme di vita sempre più elevate, di produrre qualità nuove, Engels menziona proprio la teoria darwiniana dell'evoluzione: "a questo proposito – egli dice – occorre anzi tutto ricordare Darwin, che ha dimostrato che il mondo organico intero come esiste oggi, le piante, gli animali, e quindi anche l'uomo, è il prodotto di un processo di sviluppo dialettico, come un passaggio dai cambiamenti quantitativi a quelli qualitativi".

Ma su quale *scienza* si trattava di fare affidamento? In senso generale si potrebbe dire sulla sociologia, ma questo sarebbe riferimento troppo vago, perché già esistevano diversi tipi di studio della società, e ne sarebbero venuti altri. Quello di Marx ritiene di essere uno studio scientifico perché, in primo luogo, si allinea con le scienze naturali in forza del suo materialismo presupposto; perché, in secondo luogo, utilizza una metodologia in cui è fatto il debito posto all'analisi empirica (e anche a certi procedimenti teorici di "idealizzazione", come hanno messo in luce epistemologi recenti); in terzo luogo, e questo è molto importante, perché si pone sul terreno della *scienza economica*. Questa, tralasciando prodromi seicenteschi, era stata fondata in Gran Bretagna del filosofo scozzese Adam Smith (1723-1790) il quale (nell'opera *Ricerche intorno alla natura e alle cause della ricchezza delle nazioni*, del 1776) aveva posto le basi di quello che è stato poi chiamato il *liberismo* economico, ossia la concezione dell'economia come un mercato in cui vige il *libero scambio* di merci e servizi e in cui la *legge della domanda e dell'offerta* determina il valo-

re dei beni, ossia il loro prezzo corretto. Questa legge deterministica, secondo Smith, assicura anche un'equa ripartizione della ricchezza, giacché ciascuno, perseguendo il proprio interesse economico, non può farlo senza rispettare e assicurare anche quello degli altri. Smith aveva elaborato il suo modello economico in vista di una società pre-capitalista. Chi lo estese anche alla società capitalista fu l'inglese David Ricardo (1772-1823) che nei *Principi dell'economia politica e dell'imposta* (1817) sostenne, in particolare, che il valore di scambio di un bene è costituito dalla quantità di lavoro necessario per produrlo e, nelle sue ricerche di economia politica, precisò le nozioni di rendita, profitto e salario, compiendo anche previsioni a lungo termine di tipo pessimistico. In particolare, preconizzando una crisi del capitalismo in seguito all'immane decremento dei salari. Proprio a queste ricerche degli economisti liberisti si ricollegò Marx, adottando in particolare la definizione di Ricardo circa il valore di scambio dei beni (e ricavandone anche la conseguenza dell'ingiustizia del profitto, sottratto dal capitalista al lavoratore) e sentendosi pure spinto dagli insuccessi registrati dai tentativi di rimediare con interventi "dall'alto" la crisi di immiserimento del proletariato, a ideare il rimedio ottenuto "dal basso" mediante la rivoluzione proletaria. In questo senso, quindi, l'opera di Marx si iscrive nell'ambito dell'economia politica e cerca di trarre da questa scienza indicazioni di natura politico-sociale, a guisa di "applicazioni", così come avevano già fatto altri prima di lui. Che il marxismo abbia costituito la base teorica per la nascita e l'organizzazione dei movimenti comunisti e, soprattutto ad opera di Lenin, sia stato l'ideologia ispiratrice della rivoluzione russa del 1917 sono fatti storici notissimi. Così come non meno note sono le vicende storiche che segnarono l'avvento dei regimi comunisti nel mondo, le loro caratteristiche repressive e cruente, la loro dissoluzione verso la fine del Novecento.

D'altro canto è non meno vero che le teorie del liberismo economico (che idealizzavano parecchio le reali condizioni in cui opera il mercato e ancor più le benefiche conseguenze che ne dovrebbero derivare per la società nel suo complesso) erano le più consone alla mentalità e agli interessi della borghesia (comunque si voglia intendere questo concetto piuttosto vago, e senza aggiungergli connotazioni colpevolizzanti).

Ciò spiega bene non soltanto perché Marx e i suoi seguaci criticarono a fondo la stessa scienza economica liberista (che oggi si suol

chiamare "classica"), ma anche perché, simmetricamente, gli avversi ideologici del marxismo lo criticarono fortemente anche come teoria economica. Fra costoro un esempio illustre è costituito da Max Weber, la cui profonda trattazione epistemologica delle scienze storico-sociali iniziò proprio con un saggio del 1904 dedicato all'economia politica, e si contrappone alle interpretazioni marxiste della storia unilateralmente materialiste ed economiciste. La sua difesa dell'*oggettività* delle scienze storico-sociali, che devono astenersi da giudizi di valore e dal far servire le proprie indagini alla difesa o alla promozione delle convinzioni politiche dello scienziato sociale (neutralità della scienza) sono un'ulteriore presa di distanza non solo dal marxismo in quanto ideologia politica, ma anche dall'economia politica di impianto marxista. Non si può dimenticare, inoltre, che illustri rappresentanti della scuola economica austriaca di tipo neoclassico, come Ludwig von Mises (1881-1973) e Friedrich von Hayek (1899-1992) hanno sviluppato dettagliate critiche epistemologiche del marxismo in quanto teoria economica. In particolare, è significativo che von Mises avesse pubblicato fin dal 1922 un'opera, *Socialismo*, in cui dimostrava che i sistemi del socialismo realizzato, non prevedendo la possibilità del libero mercato, erano destinati a crollare per ragioni interne, perché risulta ad essi impossibile il calcolo economico.

Con ciò siamo nuovamente condotti a riflettere sul fatto che le scienze umane non solo hanno un forte impatto sulla cultura e sulla vita delle civiltà, ma anche non possono pretendere di ridurre alla loro pura ottica *scientifica* la comprensione e trattazione di tutti i problemi umani. E' questo un discorso su cui dovremo ritornare alla fine di questo libro, ma qui possiamo aggiungere anche un'osservazione complementare: fra le scienze umane l'economia è oggi probabilmente quella che gode del maggior credito di "scientificità", specialmente per l'ampio uso che in essa viene fatto di strumenti matematici, di criteri di misurazione, di modellizzazioni statistiche, di "simulazioni" al calcolatore, di previsioni a medio e lungo termine, su cui si è basata l'elaborazione di vere e proprie *teorie* concernenti diversi settori del complesso mondo economico. Non per nulla essa rientra ormai da qualche tempo fra le discipline "scientifiche" per le quali viene assegnato il Premio Nobel. Tuttavia non si può neppure nascondere il fatto che modelli e previsioni economiche, per quanto divenuti indispensabili per la gestione consapevole e razionale dell'attività imprenditoriale e della politica nazionale e internazionale,

risultano con una certa frequenza smentiti dai fatti, e di ciò si dà spesso come spiegazione l'estrema quantità dei parametri e fattori di cui si dovrebbe tener conto, ma che sono matematicamente non dominabili. C'è del vero in tutto questo, ma una ragione non meno essenziale è che l'economia come scienza esatta e deterministica è insufficiente per trattare esaurientemente la stessa attività *economica* degli uomini, poiché questa non è isolabile dal contesto di tutte le motivazioni che ispirano la loro condotta. Di ciò hanno cercato di tener conto proprio gli economisti neoclassici della scuola austriaca sopra citati, i quali hanno sviluppato le loro riflessioni all'interno di una *teoria dell'azione umana* come comportamento orientato a fini. In sostanza, anche nelle scienze umane il rischio da evitare è quello del *riduzionismo*, ossia di lasciarsi sfuggire che ogni ottica scientifica *ha ragione* per quanto di oggettivamente fondato essa *afferma*, ma *ha torto* quando nega la legittimità degli aspetti del reale che essa non tratta.

L'INDAGINE SUI FONDAMENTI NELLA SCIENZA OTTOCENTESCA

Nella seconda parte del capitolo quarto abbiamo illustrato il complesso rapporto che nell'Ottocento viene a istituirsi tra la filosofia e le nuove scienze esatte, mostrando che l'esigenza filosofica tende a trasferirsi, per così dire, dall'esterno all'interno delle scienze, sostanzialmente secondo tre aspetti: attraverso lo sforzo di tener viva l'esigenza della *generalità* accanto alla crescente specializzazione di tutte le discipline scientifiche; mediante un impegno notevole posto nello sviluppo dell'aspetto *teorico* delle scienze accanto al loro netto impianto empirico e sperimentale; attraverso un impegno di riflessione *critica* quasi senza precedenti a proposito di quelli che poi vennero chiamati i *fondamenti* logici e concettuali delle scienze esatte. Circa i primi due aspetti abbiamo già fornito un quadro che si può ritenere sufficiente ai fini di quest'opera, mentre vale la pena di illustrare più in dettaglio il terzo aspetto poiché, nonostante in apparenza piuttosto astratto, ha influito profondamente sul modo di concepire e praticare la scienza nell'epoca attuale e, di riflesso, anche su non pochi atteggiamenti della cultura contemporanea. Senza entrare in ulteriori particolari possiamo infatti dire che, sin dagli inizi dell'Ottocento, venne manifestandosi quella che potremmo chiamare una preoccupazione di "ricostruire le basi" di parecchie discipline, di rigorizzare concetti, procedimenti e dimostrazioni. Non si trattò certamente di un puro lavoro di riassetto e consolidamento del già noto: infatti, mano a mano che le precisazioni e le rigorizzazioni critiche avvenivano, sgorgavano come loro conseguenze teoremi nuovi, nuove costruzioni, addirittura nuove discipline. Sono soprattutto due i settori in cui questo tenace sforzo di chiarimento critico si è esercitato: quello dell'analisi, approdando a quella che si suole chiamare la "arimetizzazione" di questa disciplina, e quello della geometria, in cui la rivoluzione concettuale apportata dalle geometrie non euclidee condusse a un modo del tutto nuovo di concepire la scienza geometrica stessa.

1. La rigorizzazione dell'analisi infinitesimale

La creazione dell'analisi infinitesimale era stata il vanto della matematica del Seicento, ma si era realizzata al prezzo di non fermarsi di fronte a difficoltà di concettualizzazione piuttosto serie. Per esempio, se si concepisce il volume di un solido come la "somma" di infinite parti "infinitesime" o "infinitamente piccole", come dovremo pensare queste ultime? Non possono avere un valore uguale a zero, poiché la somma di zeri dà sempre zero, per quanti addendi contenga; ma non possono neppure esser pensati come quantità piccolissime, ma finite, poiché una somma di infiniti addendi finiti sarà sempre infinita, mentre il volume del solido non può che essere finito. Queste difficoltà *concettuali* furono ampiamente discusse dai matematici, ma nello stesso tempo furono "messe fra parentesi" dai medesimi, poiché riuscirono a escogitare dei *procedimenti di calcolo sui simboli* con cui venivano rappresentate tali entità e a ottenere dei *risultati* pienamente soddisfacenti nei vari problemi, specialmente geometrici e meccanici, ai quali venivano applicati. A parte le elaborazioni preparatorie di scienziati come Cavalieri, Torricelli, Fermat e Pascal, la contesa circa la paternità del nuovo calcolo scoppiò tra Newton e Leibniz e, se la si esamina spassionatamente, si può parlare di una concomitanza prodottasi per vie indipendenti, attestata anche dal diverso tipo di *notazione* adottato dai due studiosi. Non possiamo indugiare in questa sede nell'illustrare tali differenze e ci limitiamo a dire che, nel corso del Settecento, questo privilegiare l'efficacia pratica sulle preoccupazioni di chiarezza concettuale si rafforzò e il calcolo infinitesimale si sviluppò notevolmente, perché i suoi cultori facevano affidamento, più che sulla chiarezza logica, su quella intuitiva e qui le continue applicazioni a problemi di geometria e di meccanica offrivano un punto d'appoggio che sembrava sufficiente e aiutava a sorvolare sulle perplessità concettuali.

La situazione incominciò a mutare quando le difficoltà si tradussero in incertezze all'interno della costruzione teorica della stessa analisi infinitesimale e il caso più notevole era offerto dall'uso delle *serie infinite*, ossia di somme di infiniti addendi, tutti finiti. Fin dall'antichità si sapeva che, sommando infiniti termini di valore via via decrescente, si può talvolta ottenere un risultato finito (si pensi ai paradossi di Zenone), ma si era anche scoperto che ciò non accade sempre (per esempio, è il caso della cosiddetta "serie armonica"). Ci

sono poi serie in cui non si sa come la somma totale dovrebbe essere perché la somme parziali cambiano radicalmente a seconda di quando ci si arresti nel calcolo. Le serie, così come le derivate, gli integrali, le equazioni differenziali, erano utilizzate per dimostrare teoremi di analisi, ma il loro impiego veniva rivelandosi dubbioso. Il matematico norvegese Niels Abel (1802-1829) osservava infatti che mediante le serie divergenti si può dimostrare qualunque cosa (notoriamente, quando ciò accade significa che stiamo impiegando procedimenti contraddittori) e ne era indotto a esigere che "si stabilisse senza esitazione il principio del rigore completo".

A questa impresa si era dedicato il matematico boemo Bernhard Bolzano (1781-1848), i cui lavori rimasero tuttavia quasi ignoti, ed è al matematico francese Cauchy, già ricordato in precedenza, che si deve la "rivoluzione" che consentì all'analisi di porsi su basi logicamente ineccepibili. Essa è consistita nel porre alla base di questa disciplina il concetto di *limite* e la relativa operazione (già impiegati in precedenza in modo implicito e talora impreciso), dando di essi una precisa *definizione*, in base alla quale egli poté stabilire le condizioni necessarie e sufficienti per l'*esistenza* del limite e indicare procedimenti opportuni per *calcolarlo*. Ciò veniva fatto nel caso di una successione numerica di infiniti elementi, e a partire da questa egli passò poi a definire la *somma di una serie* e a precisare le condizioni per l'esistenza di tale somma, mostrando che questa può essere finita (serie convergenti), infinita (serie divergenti), ma anche non esistere (serie indeterminate) e in tal modo si poneva fine a molte dispute che avevano caratterizzato questo settore dell'analisi. Passando poi a definire il limite di una *funzione* $f(x)$ quando x tende a un limite c , poteva chiarire anche il controverso concetto di *infinitesimo*. Questo non è un numero o una grandezza, di cui abbia senso chiedersi se è o non è uguale a zero, bensì la caratteristica di una funzione $f(x)$ il cui valore tende al limite zero quando il suo argomento x tende ad un dato limite c . Il concetto di limite permetteva anche di dare una definizione puramente analitica dei due fondamentali concetti di *derivata* e *integrale*, sganciandoli definitivamente dai loro referenti geometrici e fisici, così come consentiva di offrire una caratterizzazione *analitica* esatta di un antichissimo concetto che sembrava inseparabile dall'intuizione geometrica, quello di *continuità* (la cui radice si trova nell'idea di una curva "priva di lacune" e che procede "senza salti e senza rotture"). Si vuole definire la nozione di continuità di una *funzione*, la quale eventualmente ammette quella curva come

sua rappresentazione grafica, ma non si tratta di un passaggio da poco, e si può constatare che tale traduzione non è completa, nel senso che esistono proprietà intuitive connesse con la continuità di una curva che non sono sempre soddisfatte dalle funzioni continue. Gli esempi più noti di tali funzioni furono proposti da Karl Weierstrass (1815-1897), grande matematico noto per importanti contributi recati allo sviluppo dell'analisi, ma che si segnalò anche per l'importanza data a questo tipo di indagini "critiche".

Quelli qui menzionati in modo sommario sono soltanto i primi esempi di quel processo di ristrutturazione dell'analisi che mostra tutti i caratteri della ricerca del rigore *logico* e che ha dato a questa disciplina la sistemazione che ritroviamo sostanzialmente ancor oggi nei manuali di tipo istituzionale. Potremmo proseguire con altri esempi, quale la complessa elaborazione del concetto di *funzione*, cui posero mano matematici come Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859), il già ricordato Cauchy e specialmente Bernhard Riemann (1826-1866), il quale precisò il concetto di "funzione (monogena) di una variabile complessa". Non è esagerato dire che due splendidi rami di cui si arricchì la matematica dell'Ottocento, cioè la teoria delle funzioni di variabile reale e la teoria delle funzioni di variabile complessa, sono il frutto di uno sviluppo determinato in pari misura da problemi posti da esigenze di rigore logico non meno che da avanzamenti di natura tecnicamente matematica.

2. L'aritmetizzazione dell'analisi

Non si deve ritenere che il processo di rigorizzazione sin qui descritto significasse per l'analisi uno svuotamento dei *contenuti* in favore di un'impostazione puramente formalistica. Al contrario, comportò la rivendicazione, da parte di questa disciplina, di un campo di *oggetti propri*, che era costituito da un mondo di *numeri* e, più in particolare, di *numeri reali*. Poiché in greco "numero" si traduce con "arithmós", tale impostazione è stata chiamata "aritmetizzazione dell'analisi" (espressione che, come vedremo, ha poi assunto un significato ancor più radicale). La scelta era giustificata specialmente dal fatto che il campo dei numeri reali è "chiuso" rispetto all'operazione principe dell'analisi, l'operazione di limite, ossia, se una successione di numeri reali ha un limite, questo è ancora un numero reale (il che non accade sempre, invece, per successioni di numeri razionali). Il fatto poi che i numeri complessi

potessero essere introdotti come una certa estensione del campo reale rafforzava la posizione privilegiata attribuita ai reali come oggetto proprio dell'analisi. A ciò si aggiungeva un'altra prospettiva (di cui oggi si riconoscono anche certe inesattezze), ossia quella secondo cui i reali "contengono in sé tutti gli altri numeri", avendo come propri sottoinsiemi i numeri naturali, interi e razionali. Più esattamente si dice che i naturali, per esempio, non sono un sottoinsieme dei reali, ma una struttura algebrica isomorfa a una sottostruttura dei reali; tuttavia il vecchio modo di esprimersi traduceva quell'idea dell'*allargamento del campo numerico* a cui lavorarono molti matematici ottocenteschi e che fino a non molto tempo fa si esprimeva dicendo che, per esempio, "si introducono" i numeri interi per render sempre possibile la sottrazione che non è sempre possibile nel campo dei naturali, e che si introducono i razionali per render sempre possibile la divisione, o i reali e i complessi per render sempre possibile l'estrazione di radice. In quest'ottica, ogni allargamento conduceva a un campo numerico che "includeva" i precedenti, cosicché l'analisi, che si occupa del campo più vasto, poteva proprio esser vista come la scienza di tutti i numeri.

Tuttavia, se seguendo la strada sopra tracciata si poteva concludere che i "veri" numeri sono i reali, era possibile seguire anche il cammino inverso, suggerito da considerazioni storiche: i diversi campi di numeri sono stati introdotti per rendere possibili senza restrizioni certe *operazioni* richieste da esigenze *pratiche*, partendo dai numeri più elementari (i naturali che servono per contare oggetti), e introducendo via via, non senza difficoltà, i successivi tipi di numeri. Dal punto di vista *logico* la legittimazione di questi nuovi campi numerici ha luogo *definendo e costruendo* i nuovi numeri a partire dai precedenti, che vengono quindi assunti come *fondamento* della suddetta costruzione. Secondo questa nuova ottica, quindi, i "veri" numeri sono proprio i più semplici, ossia i naturali di cui si occupa l'*aritmetica* intesa in senso stretto (ossia l'aritmetica detta *elementare*) e la fondazione dell'analisi si presenta come uno sforzo di ricondurla all'aritmetica. È questo il significato più impegnativo dell'espressione "aritmetizzazione dell'analisi". Questo programma, già enunciato in una lettera del 1829 del grande Carl Friedrich Gauss (1777-1855), fu perseguito da diversi matematici e divenne l'impegno centrale della scuola berlinese, ossia del già citato Weierstrass e del collega Leopold Kronecker (1823-1891) cui si deve la nota frase: "Dio creò i nu-

meri naturali, tutto il resto è opera degli uomini”. Non possiamo accennare alle modalità con cui si procedette a simili “costruzioni” successive dei campi numerici, che culminarono nelle diverse proposte di costruzioni dei numeri reali a partire dai razionali avanzate in modi indipendenti nel 1872 da parte di vari matematici: Weierstrass, Georg Cantor (1845-1918), Charles Méray (1835-1911), H. Eduard Heine (1821-1881), Richard Dedekind (1831-1916). Un particolare importante merita comunque di essere segnalato sin d’ora: in tutte queste costruzioni si fa uso di particolari *classi infinite* di numeri razionali; è questo un aspetto che ci aprirà più avanti la strada per occuparci della teoria degli insiemi. Ma a questo arriveremo dopo aver discusso del ruolo fondazionale dell’aritmetica elementare.

3. Dall’aritmetica alla teoria degli insiemi

L’inevitabilità di giungere a una risposta circa la natura ultima dei numeri è ben rappresentata dal titolo di una fondamentale memoria di Dedekind, *Che cosa sono e che cosa debbono essere i numeri* (1888), in cui l’autore cerca di rispondere alla domanda circa la natura dei numeri naturali. Nella prefazione a questo saggio leggiamo: “Nel chiamare l’aritmetica (l’algebra, l’analisi) semplicemente una parte della logica, io già affermo che ritengo il concetto di numero del tutto indipendente da rappresentazioni o intuizioni dello spazio e del tempo e che lo considero piuttosto come un prodotto immediato delle pure leggi del pensiero”. Coerentemente con questa premessa, egli procede poi a definire accuratamente nozioni puramente logiche come quella di classe (egli usa il termine “sistema”), di unione e intersezione di classi, di rappresentazione di una classe su un’altra e, con ulteriori specializzazioni, di “catena” e di classe infinita. Di notevole importanza è che una classe infinita è definita come quella che ammette una rappresentazione “simile” su una sua sottoclasse propria. Questa proprietà delle classi infinite aveva costituito sin dall’antichità un rompicapo logico (in quanto non sembrava rispettare il principio logico che il tutto è maggiore delle parti) e aveva indotto a escludere dalla matematica la considerazione degli infiniti detti “attuali”, ossia delle classi considerate come un tutto “dato” di infiniti elementi. Infatti l’ultimo assioma degli *Elementi* di Euclide suona proprio “il tutto è maggiore delle parti”. Quella che tradizionalmente era stata vista come una diffi-

coltà logica (assieme ad altre di cui trattava, per esempio, il già ricordato Bolzano nell’opera *I paradossi dell’infinito*) veniva ora assunta addirittura come caratteristica che *definisce* le classi infinite. Una scelta questa, come vedremo, rimasta definitiva nella teoria degli insiemi. Introducendo altre precisazioni (su cui sorvoliamo) egli determina una classe infinita particolare N e la identifica con la classe dei numeri naturali, corrispondendo essa alla nozione astratta di numero quale si ricava dal procedimento del contare l’uno dopo l’altro gli oggetti di una collezione, prescindendo dalla loro particolare natura (“Questi elementi – egli dice – sono chiamati *numeri naturali* o *numeri ordinali*, o semplicemente numeri [...] Tenendo conto di questa liberazione degli elementi da ogni altro contenuto (astrazione) possiamo legittimamente chiamare i numeri una libera creazione dello spirito umano”). Una volta poste queste condizioni, Dedekind riesce a mostrare a partire da esse, in modo logicamente ineccepibile, le comuni proprietà dei numeri naturali e, in particolare, anche il principio di “induzione matematica” tanto fondamentale nelle dimostrazioni aritmetiche. Non è difficile ritrovare in alcune delle condizioni esplicitate da Dedekind in questo saggio tre assiomi del sistema dei numeri naturali che sarebbe stato proposto in seguito da Peano, come vedremo più avanti.

Per quanto Dedekind fosse effettivamente riuscito a liberare il concetto di numero naturale da ogni dipendenza rispetto all’intuizione sensibile, non era ancora possibile riconoscere che la sua analisi delle nozioni aritmetiche fosse riuscita a ridurle alla *pura logica*. A questa impresa si accinse invece il già citato Gottlob Frege (1846-1925), un grande “logico matematico” che si dedicò durante tutta la sua carriera unicamente allo studio di problemi “fondazionali” della matematica e che, in particolare, aveva pubblicato nel 1884 un libro intitolato *I fondamenti dell’aritmetica, una ricerca logico-matematica sul concetto di numero*. In esso egli sosteneva la tesi che l’aritmetica può essere interamente costruita come un ramo della logica e non si limitò a enunciare tale programma, ma lo mise effettivamente in atto scrivendo una ponderosa opera in due volumi uscita nel corso di dieci anni, *I principi dell’aritmetica* (1893-1903). In essa si muove da nozioni strettamente logiche, come quelle di denotazione e significato di un termine, si considera l’estensione di un concetto (ossia la classe degli oggetti a cui esso si applica) e si studiano le corrispondenze che si possono istituire fra estensioni. In tal modo si può definire quando due classi sono “equinumerose”: ciò accade quan-

do fra i loro elementi si può porre una corrispondenza biunivoca e completa, il che è possibile senza presupporre che si sappia contare. Anzi è proprio definendo il *numero cardinale* di una classe come la proprietà che essa ha in comune con tutte le classi equinumerose con essa che il concetto generale di numero risulta *definito* in termini puramente logici. I *numeri naturali* sono poi definiti come i numeri cardinali di classi finite ed esse sono a loro volta caratterizzate, alla maniera di Dedekind, come quelle che non si possono mettere in corrispondenza biunivoca con una loro sottoclasse propria. Una volta così definiti i numeri naturali, Frege passa a mostrare come le *operazioni aritmetiche* (ossia le usuali operazioni sui naturali) si possono a loro volta *definire* a partire da operazioni puramente *logiche*.

L'opera di Dedekind e Frege è una buona conferma di quanto abbiamo affermato in precedenza, ossia che nell'Ottocento il rapporto tra scienza e filosofia si caratterizza per il fatto di spostarsi "all'interno" della scienza stessa, e in particolare, di manifestarsi in modo significativo nelle riflessioni fondazionali. Con i due autori citati possiamo dire che il processo di aritmetizzazione dell'analisi giunge a termine, poiché in essi emerge la tesi che c'è un livello ancor più "fondamentale" dell'aritmetica, un livello entro cui gli stessi numeri naturali non sono più primitivi, bensì costruiti. Per loro si tratta della logica, per altri, vedremo, si tratta della teoria degli insiemi che, d'altro canto, tendono almeno in parte a sovrapporsi. I matematici più tecnicamente impegnati, pur essendo sensibili all'esigenza del pieno rigore dimostrativo, lo erano molto meno all'aspetto fondazionale: essendo a tutti chiaro che bisogna pur partire da qualcosa di primitivo, l'importante è *esplicitare chiaramente* questo qualcosa e le sue proprietà caratteristiche; che poi si tratti dei numeri naturali, piuttosto che degli insiemi o delle classi non ha grande importanza. È questo, in sostanza, l'atteggiamento assunto da Giuseppe Peano (1858-1932), che manifestò una grande sensibilità per la rigorizzazione di concetti e dimostrazioni, per la ricostruzione sistematica essenzializzata di varie discipline matematiche, ottenuta anche grazie all'impiego di un maneggevole sistema di *simbolismo logico*. Queste esigenze si esprimevano specialmente in un programma di *assiomatizzazione* dei settori studiati, secondo un modello metodologico che aveva dominato tutta la storia della matematica occidentale e che in quel momento poteva venir ripreso ancor più rigorosamente grazie alla simbolizzazione della stessa logica (come vedremo). Fu così che egli pubblicò nel 1889 un opuscolo (in latino) dal titolo *I principi del-*

l'aritmetica esposti con un nuovo metodo che contiene una prima versione in forma simbolica di quel suo sistema assiomatico per l'aritmetica elementare che è rimasto legato al suo nome anche in seguito. Riguardo ai contenuti è corretto dire che tale assiomatizzazione non aggiunge novità a quella di Dedekind, salvo il fatto, tuttavia, della piena esplicitezza e delle deduzioni in seguito operate da Peano per l'effettiva ricostruzione rigorosa dell'aritmetica elementare, cosicché l'espressione abituale di "aritmetica peaniana" non è immeritata.

Per completare una visione sia pure sommaria delle ricerche fondazionali in seno alla matematica ottocentesca dobbiamo ancora dire qualcosa della logica matematica e della teoria degli insiemi.

4. La nascita della logica matematica

Quando si parla di logica matematica si intendono ancor oggi due cose diverse, ancorché non incompatibili e anzi storicamente correlate. Per un verso si intende "logica della matematica" e per l'altro "logica formulata matematicamente". Il primo significato non sembra molto preciso, poiché parrebbe esprimere il fatto che nella matematica si usa una logica peculiare, diversa dalla logica usuale, il che non è vero. In realtà si tratta della circostanza storica su cui ci siamo soffermati, ossia che, a partire dall'Ottocento, si è costituita una branca di studi che hanno indagato a fondo la solidità dei procedimenti logici posti in atto *nella costruzione della matematica* e, verso la fine di quel secolo, un tale studio si è caratterizzato per l'uso sistematico di strumenti logici *simbolici e formalizzati*, i quali costituiscono una logica matematica nel secondo senso, ossia come logica espressa in forma matematica. Questa, per altro, si era costituita prima del sorgere di tali esigenze fondazionali e si è venuta ampiamente sviluppando anche al di fuori di esse. Di questa pertanto vogliamo occuparci.

Già Aristotele aveva fondato la logica *formale*, nella quale la correttezza di una deduzione poteva venir verificata mediante regole che si potevano esprimere come modi legittimi di operare su simboli denotanti proposizioni dichiarative. Leibniz aveva poi elaborato una nozione di *calcolo* del tutto generale (secondo cui esso altro non è che un insieme di regole per operare su simboli) e quindi aveva potuto annoverare, tra i vari tipi di calcolo, anche il *calcolo logico*. Nell'Ottocento viene proposta da matematici britannici una generaliz-

zazione del concetto di algebra, secondo cui l'usuale algebra letterale non è più intesa come algebra "numerica" (ossia tale che le variabili letterali sono sempre interpretate come numeri e le operazioni come operazioni numeriche), bensì come algebra "simbolica", in cui le variabili possono rappresentare oggetti di natura qualsiasi e le operazioni possono rappresentare operazioni su tali oggetti. In sostanza, non c'era una sola algebra, ma tante "algebre di...", a seconda dei campi di oggetti cui il simbolismo viene applicato. In tale prospettiva si inquadra un opuscolo di Gorge Boole (1815-1864) dal titolo *Analisi matematica della logica* (1847) in cui viene costruita un'algebra simbolica, espressa in equazioni, che ammette addirittura due interpretazioni di tipo logico, ossia una che coincide sostanzialmente con la tradizionale sillogistica (ossia una logica dei "termini") e un'altra in cui i simboli vengono interpretati su "proposizioni" e che quindi formalizza appunto una tale logica, trascurata per secoli. La novità di Boole rispetto ai suoi precursori consiste comunque nel fatto che egli sottolinea il carattere artificiale del suo calcolo, la cui legittimità riposa sulla interna coerenza e non sul fatto di essere l'astrazione di un qualche sistema concreto di enti, cosicché la sua interpretazione come calcolo logico avviene, per così dire, dopo la sua costruzione. Anche se in un'opera successiva (*Un'indagine delle leggi del pensiero*, 1854) egli sviluppò parecchio il primitivo abbozzo entrando in molti dettagli delle applicazioni dell'algebra al ragionamento logico, resta sempre vero che Boole non abbandonò mai la prospettiva strettamente algebrica da cui era mosso, cosicché di fatto egli accetta nel suo sistema tutta una strumentazione algebrica di facile interpretazione aritmetica, ma di difficile interpretazione logica, accontentandosi che risultino logicamente interpretabili i "risultati" dei suoi passaggi, anche se non sempre lo sono i "procedimenti" che a essi conducono. Per questa ragione gli autori che svilupparono in seguito il suo lavoro si preoccuparono di presentare calcoli che, pur rispettando il pieno carattere dell'algebricità, si rivelassero più adatti all'interpretazione logica. L'opera di costoro si può considerare coronata con la pubblicazione dei tre volumi (l'ultimo dei quali uscì postumo) delle *Lezioni sull'algebra della logica* (1890-1905) di Ernst Schröder (1841-1902). Secondo questa impostazione la logica è un *ramo della matematica*, e di fatto la logica matematica è diventata col passare dei decenni un insieme di parecchi settori specializzati in cui lavorano centinaia di ricercatori in tutto il mondo, impiegando tecniche di tipo matematico ormai molto più diver-

sificate che non la semplice algebra. Per tali ragioni essa è venuta affievolendo quei legami con tematiche schiettamente logiche e fondazionali che la caratterizzavano nell'Ottocento (pur non avendoli completamente recisi) e in compenso ha incontrato molte applicazioni, specialmente nel campo dell'informatica e in certa misura nelle scienze cognitive.

Ciò detto, non si può sottovalutare il fatto che, nel suo costituirsi ottocentesco, la logica matematica trovò un impulso fortissimo nell'opera di Frege che, viceversa, la considerava uno strumento indispensabile per assicurare il massimo di rigore logico alla costruzione delle matematiche. Nell'opera *Ideografia, un linguaggio in formule del pensiero puro costruito sul modello dell'aritmetica* (1879), egli lamenta la scarsità di rigore della maggior parte delle *dimostrazioni* operate dai matematici e si propone di fornire uno strumento idoneo ad eseguirle in modo corretto e "senza lacune" anziché lasciarle alla più o meno acuta intuizione dello scienziato. A tal fine ritiene indispensabile coniare un linguaggio artificiale che eviti le ambiguità insite nell'uso del linguaggio ordinario e dei suoi significati, e in cui le deduzioni si riducano alla manipolazione dei simboli secondo regole chiare e prefissate. Tali regole non sono arbitrarie, ma cercano di rispecchiare le relazioni logiche oggettive del "pensiero puro" (quindi, Frege ha sottolineato in modo anche polemico la differenza fra il suo calcolo logico e quelli di Boole e Peano). Tant'è vero che non si esprime mediante equazioni e ricalca piuttosto le strutture fondamentali di un'analisi logica del linguaggio ordinario, e per questa ragione Frege è giustamente considerato fra gli iniziatori della moderna filosofia analitica e filosofia del linguaggio. Abbiamo poi visto che egli, per di più, arriva a rovesciare la posizione di Boole, sostenendo che *la matematica è un ramo della logica*. Questa tesi è indipendente dalle ragioni che hanno motivato la creazione di un calcolo logico artificiale, e riguarda piuttosto la "filosofia della matematica" che stava affacciandosi alla fine dell'Ottocento come conseguenza delle ricerche fondazionali. Comunque è un fatto che anche nel Novecento tali ricerche hanno dovuto largamente impiegare gli strumenti della logica matematica.

5. La rivoluzione insiemistica

La teoria degli insiemi fu creata a opera di un solo matematico, Georg Cantor (1846-1918), che vi fu condotto inizialmente nel

corso di ricerche afferenti all'analisi infinitesimale classica, in cui cercò di generalizzare le considerazioni che già una schiera di valorosi analisti aveva dedicato allo studio di funzioni definite su insiemi particolari di punti. Così nel 1874 iniziò a pubblicare una serie di articoli in cui considerava insiemi infiniti di numeri reali e dimostrava per la prima volta nella storia del pensiero l'esistenza di diversi gradi di infinità. Per esempio, l'insieme di tutti i reali ha un'infinità maggiore di quella dei reali algebrici che, a loro volta, hanno la stessa infinità dei numeri razionali e dei naturali. O ancora, i diversi "continui geometrici", a una, due, tre e anche più dimensioni, contengono tutti lo stesso numero di punti, ossia hanno lo stesso grado di infinità. Quanto qui espresso in linguaggio intuitivo veniva precisato e dimostrato introducendo nozioni del tutto nuove, come quella di equivalenza fra insiemi e di cardinalità dei medesimi, nonché di metodi per il confronto delle *cardinalità*. Ma l'esistenza di questi diversi gradi di infinità, di queste diverse cardinalità infinite, era chiarita anche in forza di un semplice ma stupefacente teorema: l'insieme dei sottoinsiemi di un *qualunque* insieme M (detto l'"insieme potenza di M ") ha una cardinalità maggiore di quella di M . Pertanto, partendo dall'insieme N dei numeri naturali, facendone l'insieme potenza, e poi l'insieme potenza di quest'ultimo e reiterando questo procedimento, si ottiene una gerarchia crescente di cardinalità, ossia di *numeri cardinali transfiniti* sempre più elevati. È questo un esempio delle tante novità che si incontrano nell'*aritmetica del transfinito*, come Cantor chiamò questa sua teorizzazione, esposta in una serie di sei articoli apparsi fra il 1879 e il 1884 sotto il titolo comune *Sugli insiemi infiniti lineari di punti*. Le sue idee incontrarono alcuni appoggi, ma anche molti contrasti, perché per un verso detronizzavano l'aritmetica e i suoi procedimenti finiti dalla posizione "fondazionale" che i matematici più influenti le attribuivano, e inoltre perché (come vedremo fra poco) reintroduceva in matematica l'infinito attuale. Dopo un periodo di crisi, Cantor tornò al lavoro e spostò il suo interesse sulle estensioni del concetto di numero, considerando gli "ordinamenti" che si possono introdurre su un insieme e che permettono di introdurre il concetto di "tipo d'ordine" e, collegato a esso, quello di *numero ordinale*. In tal modo era possibile, accanto all'aritmetica degli ordinali, elaborare anche quella degli ordinali e, mentre nel caso di un insieme finito il suo numero ordinale e cardinale coincidono, non altrettanto avviene nel caso degli insiemi infiniti, e quindi le due aritmetiche si caratterizzano per

proprietà diverse dei loro enti e delle rispettive operazioni. Queste nuove ricerche furono pubblicate in un'ampia memoria in due parti apparsa nel 1895-1897 col titolo *Contributi alla fondazione della teoria transfinita degli insiemi*.

La teoria degli insiemi è diventata un pilastro della matematica moderna ed è campo di ricerche molto complesse, oltre ad aver fornito un linguaggio comune e molti strumenti di lavoro a quasi tutte le branche della matematica. Non avrebbe quindi alcun senso entrare qui in dettagli e ci accontenteremo di sottolineare il suo aspetto più rivoluzionario. Almeno a partire da Aristotele si era distinto l'infinito *potenziale* da quello *attuale*. Col primo si indica la possibilità di accrescere indefinitamente l'estensione di una grandezza o il numero di elementi di una collezione, al di là di ogni limite già raggiunto o raggiungibile. Col secondo si indica una totalità effettivamente data di infiniti elementi. La matematica greca si era imbattuta in una serie di paradossi legati all'infinito attuale e anche Aristotele lo aveva bandito dal discorso rigoroso in cui si autorizza soltanto l'impiego dell'infinito potenziale. Questa prescrizione fu accolta quasi senza eccezioni dalla scienza occidentale e gli sforzi di rigorizzazione di cui abbiamo parlato, compiuti per eliminare le vaghezze dei concetti di infinitesimo e infinito, fondando l'analisi sul concetto di *limite* (che implica la considerazione di infiniti rigorosamente potenziali) rappresentano una sorta di ribadimento moderno di tale antica prescrizione. Il privilegio attribuito all'aritmetica, d'altro canto, ossia a una ramo della matematica in cui si opera praticamente sempre sul finito, ribadiva questa convinzione. Cantor, viceversa, accetta esplicitamente l'ammissione di insiemi infiniti, dapprima di punti, poi di enti qualsiasi, ed è comprensibile che, agli occhi di molti, la sua teoria apparisse come una proposta di ritornare alle confusioni di un tempo, faticosamente superate da quasi un secolo di sforzi di rigorizzazione. Egli tuttavia si cimentò in dettagliate discussioni filosofiche sul problema dell'infinito attuale (nelle quali rivelò una straordinaria competenza circa la letteratura filosofica antica, medioevale e moderna, inclusi anche certi aspetti teologici). Ma, in fondo, la prova più convincente della liceità di introdurre l'infinito attuale fu fornita dal fatto che Cantor seppe costruire una effettiva *aritmetica del transfinito*, attraverso la quale poté mostrare che gli insiemi infiniti sono caratterizzabili mediante nuovi tipi di numeri che godono di proprietà in parte affini e in parte diverse rispetto a quelle già note ai matematici.

Una conseguenza non meno interessante era comunque un'altra: Nella teoria cantoriana appare che i *numeri naturali* altro non sono che una sottoclasse dei numeri, siano essi pensati come ordinali (come li concepiva Dedekind) oppure come cardinali (come li concepiva Frege). Pertanto, non già i numeri naturali, bensì gli insiemi e la relativa teoria apparivano come l'autentica *base naturale* della matematica (circostanza corroborata anche dal fatto che la "costruzione" dei reali a partire dai razionali era possibile, secondo le pur varie proposte, passando attraverso la considerazione di classi attualmente infinite di numeri razionali). Si comprende in tal modo la grande fortuna arrisa alla teoria degli insiemi nel Novecento (nonostante certe difficoltà logiche su cui ci soffermeremo più avanti) e i grandi sviluppi da essa conosciuti, che sono andati ben oltre le pur eccezionali conquiste già realizzate da Cantor.

6. Il progetto riduzionista del meccanicismo ottocentesco

L'aspirazione a trovare un "fondamento" ultimo dell'intero edificio teorico di una data scienza non costituì soltanto un'aspirazione della matematica ottocentesca, ma si estese a diverse scienze, in primo luogo alla fisica. Questa esigenza corrisponde a quello spirito di sistematicità e rigore che ha sempre caratterizzato l'ideale occidentale della scientificità, e che potremmo esprimere anche come aspirazione a "trovare l'unità del molteplice", non di rado confusa tuttavia con la "riduzione del molteplice all'uno". Abbiamo inoltre già avuto occasione di sottolineare come la costruzione della meccanica come prima scienza naturale moderna (accompagnata anche dall'utilizzo della macchina come modello di intelligibilità dei fenomeni) avesse predisposto le menti a concepire la meccanica come chiave di lettura scientifica di tutti i fenomeni naturali, preparando in tal modo il sorgere di un *nuovo meccanicismo* che prese corpo specialmente nell'Ottocento. Diciamo nuovo perché (come si è visto ed è ben noto) già nel Seicento si era diffuso un *meccanicismo filosofico*, consistente in sostanza nella rinascita dell'antico atomismo democriteo, e questo aveva anzi costituito la "metafisica di sfondo" accettata dalla nuova scienza fisica galileiana e newtoniana. Il meccanicismo ottocentesco è in parte diverso, poiché non si limita all'accettazione di un quadro metafisico tutto sommato molto generale e generico, ma assume una ben precisa scienza, ossia la meccanica, come chiave di lettura di tutta la realtà fisica, il che signi-

fica, in sostanza, che *ogni* fenomeno naturale si presupponeva fosse spiegabile utilizzando concetti, leggi e principi della meccanica, ricorrendo se necessario a complesse modellizzazioni e calcoli matematici.

Questo programma sembrava ben avviato, perché alcune branche tradizionali della fisica, come l'acustica, l'ottica e la teoria del calore (i cui oggetti di studio erano in sostanza costituiti da fenomeni sensibili diversi) erano state "inglobate" nella meccanica, rispettivamente come capitoli della teoria delle vibrazioni, della propagazione di corpuscoli nel vuoto, oppure di onde in un mezzo elastico (l'etere luminifero), o come effetti cumulativi di moti caotici di molecole in agitazione all'interno dei corpi. Come espressione della fiducia che una simile riduzione dovesse venire perseguita per ogni fenomeno naturale basteranno due citazioni molto autorevoli. Afferma Helmholtz: "Il compito delle scienze fisiche si determina pertanto, in ultima istanza, come quello di ricondurre i fenomeni naturali a forze immutabili, attrattive o repulsive, la cui intensità dipende dalla distanza. La possibilità che questo compito sia assolto costituisce, nello stesso tempo, la condizione della completa intelligibilità della natura". Gli fa eco ancora una quarantina d'anni dopo, Kelvin: "Io non mi sento soddisfatto se prima non sono riuscito a costruirmi un modello meccanico dell'oggetto che studio; se mi posso fabbricare un tale modello, comprendo, se non posso farlo, non comprendo". La frase di Helmholtz si legge nella fondamentale memoria *Sulla conservazione della forza* uscita nel 1847, un altro di quegli anni di faticose coincidenze di cui abbiamo già trovato un esempio (il 1872). Si tratta dell'anno in cui vari autori espressero, in forme diverse ma sostanzialmente equivalenti, il principio di conservazione dell'energia e questa sembrava ormai costituire la moneta comune mediante cui avvengono tutti gli scambi di fenomeni in natura (per esempio, l'energia chimica delle reazioni che avvengono nella pila si trasforma in energia elettrica e questa poi muovendo un motore si trasforma in energia meccanica) e d'altro canto la dimostrazione dell'"equivalente meccanico della caloria" ottenuta da James Prescott Joule (1818-1889) poco dopo (1850) mostrava che si poteva assumere una grandezza meccanica (il lavoro) come misura per esprimere l'energia (ossia la caloria, unità di misura che è poi rimasta). Quanto a Kelvin, la frase citata si legge nelle *Lezioni sulla dinamica molecolare e sulla teoria ondulatoria della luce* (1884), un'opera in cui il grande fisico si rifiuta di aderire alla teoria elettromagnetica della luce fondata da

Maxwell (con il quale aveva avuto rapporti di amicizia, stima e collaborazione per lungo tempo), per il fatto di non riuscire a ottenerne un modello meccanico. Egli aggiunge infatti: “Per questa ragione non riesco a comprendere la teoria elettromagnetica della luce. Desidero comprendere la luce nel miglior modo possibile, senza introdurre delle cose che capisco ancor meno. Perciò mi limito alla semplice dinamica; giacché in essa posso trovare un modello, ma non lo posso trovare nella teoria elettromagnetica”. Del resto lo stesso James Clerk Maxwell (1831-1879), alla fine del suo *Trattato di elettricità e magnetismo*, esprimeva ancora la tesi che il “mezzo” dentro cui si propagano le onde elettromagnetiche doveva possedere proprietà meccaniche e considerava un compito delle generazioni future quello di scoprirne la struttura meccanica. Ma né Kelvin, né altri valentissimi fisici matematici che si cimentarono nello sforzo di presentare una teoria fisicamente sostenibile di un tale “etere” elettromagnetico riuscirono a costruirla. Il meccanicismo, per un certo periodo, fu la filosofia della natura imperante e anche dopo il suo tramonto il suo stile intellettuale si è conservato sotto forma di *fisicalismo*, ossia come concezione secondo cui tutti i fenomeni naturali sono riducibili a fatti *fisici*, nel senso che concetti, leggi e principi della *fisica* sono sufficienti per spiegarli *completamente*. Il fisicalismo è presente e diffuso anche in seno alla cultura contemporanea, come vedremo.

LA CRISI DELLE SCIENZE ESATTE TRA FINE OTTOCENTO E INIZI NOVECENTO

1. La vicenda delle geometrie non euclidee

L'asperata ricerca del rigore logico di cui abbiamo già trattato doveva condurre in matematica a esiti inattesi, ossia a una situazione di vera e propria “crisi dei fondamenti”. Le prime scosse vennero dagli sviluppi di una storia bimillenaria. Secondo l'ideale della scienza classica, come sappiamo, una proposizione scientifica si può ammettere o perché è di per sé *evidente*, o perché è *dimostrata* a partire da proposizioni evidenti. In geometria non sembrava del tutto evidente il quinto postulato degli *Elementi* di Euclide, noto come postulato della parallela perché lo si può formulare in modo equivalente come la proposizione che “data nel piano una retta e un punto fuori di essa, per quel punto passa una e una sola parallela alla retta data”. Fin dall'antichità si contano numerosi sforzi di dimostrare questa proposizione a partire dagli altri postulati della geometria euclidea, ma tutte le dimostrazioni succedutesi per circa duemila anni o contenevano qualche errore, oppure in realtà ottenevano il postulato ammettendo come ipotesi (esplicita o tacita) una proposizione la cui evidenza era altrettanto problematica di quella del postulato euclideo.

Una svolta si ebbe quando Girolamo Saccheri (1667-1733) pubblicò nel 1733 un'opera in cui, anziché una dimostrazione diretta del postulato, ne sviluppava una indiretta, vale a dire cercando di dimostrare assurda l'ammissione della sua negazione. In tal modo ritenne di aver dimostrato assurda tanto l'ipotesi che per un punto non passi nessuna parallela, quanto quella che ne passi più d'una alla retta data. In realtà anche la dimostrazione del Saccheri non era concludente, poiché utilizzava alcuni procedimenti non del tutto rigorosi su cui a quel tempo non erano ancora stati apportati i necessari chiarimenti. Tuttavia essa è interessante per due ragioni. In primo luogo perché si assume la *non contraddittorietà logica* come criterio necessario e sufficiente per legittimare una teoria matema-

tica, indipendentemente dal fatto che questa contenga proposizioni in contrasto con l'intuizione geometrica; in secondo luogo perché (pur proponendosi di convalidare la geometria euclidea ed essendo convinto di esser riuscito a farlo) l'autore del volumetto costruì di fatto i primi esempi di geometrie non euclidee, ossia sviluppò una serie di teoremi che seguono logicamente dalla negazione del postulato di Euclide. La sua opera rimase quasi sconosciuta e altri matematici continuarono a occuparsi della questione, maturando la convinzione che le geometrie non euclidee fossero non contraddittorie. Di fatto, negli anni attorno al 1830 due matematici, János Bolyai (1802-1860) e Nicolaj Lobačevskij (1792-1856) costruirono in modo indipendente due sistemi (fra loro per altro molto diversi) di geometria non euclidea, essendo convinti della loro non contraddittorietà logica interna a dispetto del loro carattere antiintuitivo. Per qualche anno la comunità matematica si mostrò diffidente, poiché si dubitava che la contraddizione, sino ad allora non trovata, potesse esser scoperta in seguito, ma questi dubbi scomparvero quando furono costruiti i primi "modelli euclidei" delle geometrie non euclidee in forza dei quali si poteva sostenere che, se mai ci fosse una contraddizione in una di tali geometrie, questa si sarebbe trasferita anche nella geometria euclidea. La reciproca solidarietà logica fra tutte queste (e altre) geometrie fu confermata da ulteriori allargamenti di prospettiva su cui non ci soffermiamo, poiché ci interessa toccare un punto molto più generale. Ammesso che tre geometrie diverse siano egualmente non contraddittorie, pur affermando l'una che la somma degli angoli di un triangolo è uguale a due retti, l'altra che tale somma è minore e la terza che è maggiore di due retti, è chiaro che una sola di esse può esser *vera* mentre le altre saranno internamente non contraddittorie, ma false. Quale è dunque la geometria vera? Una volta scartata l'intuizione come criterio di verità, non se ne trovarono altri, cosicché la conclusione fu che tutte le geometrie non sono né vere né false. A questo punto, tuttavia, bisognava anche accettare che nessuna teoria geometrica parla di un suo campo di *oggetti*, poiché in tal caso o ciò che essa afferma a loro proposito è vero, oppure è falso. In tal modo si perveniva alla concezione della geometria come *sistema ipotetico-deduttivo*, per usare l'espressione coniata da Mario Pieri (1860-1913), un allievo di Peano. Era l'approdo di questa scienza all'impostazione puramente *formalistica*: le teorie geometriche sono sistemi di assiomi privi di significato intuitivo, che non parlano di nessun campo di oggetti pro-

pri, ma possono al massimo essere interpretate su campi di oggetti anche molto diversi fra loro. Con ciò la geometria, considerata da sempre una scienza massimamente contenutistica e legata all'intuizione delle proprietà delle figure nello spazio, si svuotava di contenuti, mentre l'analisi ottocentesca, partita da esigenze di rigore puramente formale, era approdata a trovare le sue basi contenutistiche nei numeri naturali o negli insiemi. Per di più stava scomparendo dalla matematica niente meno che il requisito della verità; la famosa frase di Henri Poincaré (1854-1912), "non esistono geometrie più o meno vere, ma soltanto geometrie più o meno comode", stava per essere applicata all'intera matematica, poiché anche i fondamenti dell'analisi entravano in crisi.

2. La crisi delle antinomie nella teoria degli insiemi

Nel 1902 Bertrand Russell (1872-1970), che perseguiva un programma di fondazione della matematica sulla logica affine a quello di Frege, comunicò per lettera a quest'ultimo un'antinomia (vale a dire una contraddizione ineliminabile) che si può formulare nella teoria delle classi che egli aveva elaborato. Tale antinomia discende dall'uso senza restrizioni di due principi di grande intuitività logica: (1) data una proprietà, esiste la classe degli enti che la soddisfano; (2) esistono classi i cui elementi sono a loro volta classi. Si consideri ora la proprietà "essere una classe che non contiene se stessa come elemento". In base a (1) e (2) essa determina una classe, quella di tutte e sole le classi che non contengono se stesse come elemento. La chiamiamo K e chiediamo se contiene o meno se stessa come elemento. Se K è elemento di K , deve soddisfare la condizione, e quindi non contenere se stessa, ossia K . Se supponiamo che non contenga K , allora soddisfa la condizione e quindi deve appartenere a K . Che senso può avere allora cercare di fondare l'aritmetica, e quindi tutta la matematica, sulla nozione di classe, se questa dà adito a contraddizioni? Vedremo più avanti come si cercò di ovviare a questo inconveniente. Per ora osserviamo che non esiste alcuna differenza oggettiva fra la nozione di classe e quella di insieme (differenze convenzionali sono state introdotte in seguito per ragioni tecniche che qui non interessano). Quindi l'antinomia delle classi riguardava la stessa teoria cantoriana degli insiemi, al cui interno era stata scoperta da un altro allievo di Peano, Cesare Burali-Forti (1861-1931), l'antinomia "del massimo numero ordinale" (lo stesso

Cantor le aveva individuate, ma non se ne era particolarmente preoccupato, ritenendo probabilmente che si potessero eliminare affinando la teoria). Nel volgere di pochi anni furono enunciate ulteriori antinomie, e rinverdito l'interesse per quelle già note sin dall'antichità e che avevano fatto discutere parecchio i logici medioevali (la più nota è quella del mentitore: colui che afferma "la frase che sto pronunciando è falsa" mente o dice il vero?), cosicché i primi due decenni del Novecento videro nascere un vivace interesse per questioni a un tempo di logica, matematica e filosofia della matematica, tutte rotanti attorno al problema della non contraddittorietà e caratterizzate da una profonda diffidenza nei confronti dell'*evidenza matematica*. Diffidenza, per altro, che non esprimeva uno stato d'animo di frustrazione, ma quasi un senso di liberazione, poiché nel frattempo si stavano apprezzando i vantaggi di nuove teorie matematiche di tipo *astratto*, come l'algebra astratta e la topologia, al cui interno emergeva la grande duttilità e fecondità delle teorie formali che, non essendo legate alla descrizione di alcun contenuto particolare, potevano essere interpretate su campi molto diversi e servire ottimamente al loro studio. Un fenomeno di questo genere si apprezza in modo particolare considerando la *rivoluzione assiomatica* prodottasi a cavallo dei due secoli.

3. La nuova concezione del metodo assiomatico

La concezione della scienza come un sapere *dimostrato* (come abbiamo chiarito sin dal primo capitolo) era stata la grande innovazione operata dal pensiero greco, accompagnata per altro dalla consapevolezza che *non tutto si può dimostrare* e che *non tutto si può definire*. La sistemazione rigorosa di una scienza, pertanto, consiste nell'enunciare esplicitamente un insieme di termini primitivi (a partire dai quali tutti i rimanenti si introducono per mezzo di *definizioni*) e di *proposizioni primitive* (a partire dalle quali tutte le altre si ottengono per *dimostrazione*). I termini primitivi debbono avere un significato *per sé noto* e le proposizioni debbono essere *per sé vere* (ossia *evidenti*) poiché il discorso scientifico deve essere dotato di significato e di verità. Queste sono le condizioni del metodo assiomatico secondo la *concezione classica*, alla quale le scienze esatte, e specialmente la matematica, hanno cercato di adeguarsi fino alla *crisi dell'evidenza* prodottasi a fine Ottocento, di cui abbiamo parlato. Dopo di questa non si è lasciata cadere la struttura metodologica del

metodo assiomatico (ossia il suo consistere di termini primitivi e proposizioni primitive – dette assiomi o postulati – su cui si basano rispettivamente definizioni e dimostrazioni), solo che la dimostrazione non è più stata concepita come una *riduzione all'evidenza*, bensì come una *semplificata riduzione ai postulati*. In altri termini, dell'antico impianto era stata conservata soltanto la struttura *formale*.

In base a quale criterio, allora, si debbono scegliere i postulati di una data disciplina? Non esiste alcun criterio stringente e in tal senso essi sono *convenzionali*, non in senso banale, ma nel senso che la loro scelta è guidata da "ragioni" quali la semplicità o la possibilità di prestarsi meglio ad alcune interpretazioni desiderate. Il fatto che i termini primitivi non abbiano un senso "per sé noto" non significa infatti che non possano "ricevere" un significato, ma solo che questo non è "il" significato che, tradizionalmente, si riteneva che possedessero di per sé (ossia nel linguaggio ordinario), bensì quello variabile che deriva loro dall'associazioni a determinati enti concreti o astratti che si possono considerare come dati e noti in certi contesti o situazioni. Al di fuori di questo significato ottenuto per *interpretazione* essi ne hanno al massimo un altro, che consiste nell'insieme di tutte le relazioni logiche in cui essi entrano per il fatto di comparire nei postulati. È un significato che possiamo chiamare "contestuale". Quanto alle proposizioni primitive, non essendo esse di per sé legate ad alcuna interpretazione, e quindi non potendosi dire né vere né false, l'unico limite alla loro scelta è che costituiscano un insieme *non contraddittorio* di enunciati, ossia che da esse non si possa mai dedurre una proposizione e anche la sua negazione. Troviamo così che il problema centrale della nuova assiomatica divenne quello di dimostrare la non contraddittorietà di almeno alcuni sistemi assiomatici fondamentali. Problema che l'assiomatica classica non aveva trattato, non già per mancanza di senso critico (come talora si legge), bensì perché, in una prospettiva secondo cui gli assiomi devono essere veri, non aveva alcun senso chiedersi se da essi si possa dedurre correttamente una contraddizione, poiché questa è sempre falsa e, come tale, non può discendere correttamente da premesse vere. Vedremo nel prossimo capitolo a quali sviluppi ha dato luogo questa ricerca delle dimostrazioni di non contraddittorietà.

Notiamo subito, invece, che la prospettiva formale apriva nuove feconde prospettive. Se i sistemi assiomatici non erano più considerati come mezzi per sistemare le conoscenze relative a un ben determinato campo di oggetti (come i numeri naturali o le figure geome-

triche), era possibile che un dato sistema, nato con quelle finalità tradizionali, risultasse applicabile anche ad altri campi, o se ne potevano addirittura escogitare di nuovi e inediti, adatti a “formalizzare” discipline o branche di discipline prima trattate soltanto in modo intuitivo. Era questo il grande vantaggio della *polivalenza* del metodo assiomatico. Fu così che la trattazione assiomatica venne estesa pressoché a tutti i settori della matematica e anche ad altre discipline, come la termodinamica, la fisica quantistica, perfino la biologia. Ciò corrispondeva a un'accresciuta preoccupazione di rigore, ma sarebbe limitativo ritenere che si trattasse soltanto di una esigenza espositiva. In realtà un problema al quale si attribuisce a torto, di solito, un'importanza minore è quello della *indipendenza* reciproca degli assiomi. Apparentemente si tratta solo di una questione di eleganza, ossia, vogliamo ridurre al minimo gli assiomi “necessari” per costruire una data teoria, ma se ci capitasse di scoprire che uno di essi è derivabile dagli altri, ci limiteremmo a passarlo nella lista dei teoremi. In realtà dimostrare che un certo assioma è indipendente dai rimanenti significa mostrare quali parti o settori della teoria *dipendono* da quell'assioma, e sarebbero quindi eliminate se non lo includessimo. Per esempio, eliminando semplicemente il postulato della parallela, scomparirebbe dalla geometria euclidea la teoria della similitudine. Pertanto, assiomatizzando adeguatamente certe teorie intuitive (per esempio fisiche) si opera una vera e propria analisi strutturale che “scompono” le nozioni in esse contenute mostrando come da esse dipendano certe affermazioni, talora complesse e controverse.

4. La crisi del meccanicismo

Abbiamo già discusso a sufficienza dell'instaurarsi del meccanicismo come concezione globale delle scienze naturali nell'Ottocento e non è certamente difficile riconoscere che, in esse, tale prospettiva rivestiva quel medesimo intento “fondazionale” che abbiamo analizzato nel caso delle matematiche. Come in queste ultime si pensava che l'aritmetica o la teoria degli insiemi costituissero la “base” a cui potevano ricondursi logicamente tutte le branche della matematica, così nell'ambito delle scienze naturali si pensava che una funzione analoga potesse e dovesse esser svolta dalla meccanica. Tuttavia la crisi di questa prospettiva si produsse (in modo esso pure analogo a quanto era accaduto in matematica) proprio quando i

suoi sostenitori ponevano in atto gli sforzi più ingegnosi e arditi. Infatti, le due branche “nuove” della fisica ottocentesca, ossia l'elettromagnetismo e la termodinamica, risultarono alla fine irriducibili a sottocapitoli della meccanica. Senza entrare in dettagli, basti dire che già la generazione di un campo magnetico da parte di una corrente elettrica (che è ortogonale alla direzione della corrente e di intensità proporzionale a quella della corrente) rompeva con lo schema delle forze meccaniche che sono soltanto funzione della distanza fra punti e si esercitano lungo la retta che li congiunge (come aveva affermato Helmholtz nella memoria del 1847 già citata), ma ancor più apparivano le discrepanze quando si tentò di leggere meccanicamente il campo elettromagnetico delle equazioni di Maxwell, anche ricorrendo a tutte le analogie tratte dalla meccanica dei corpi elastici (abbiamo già ricordato i fallimenti degli sforzi di ottenere un modello meccanico dell'etere elettromagnetico, accertati prima ancora che questo concetto venisse spazzato via dalla teoria einsteiniana della relatività). Quanto alla termodinamica, progressi molto brillanti erano stati compiuti interpretando temperatura, quantità di calore, pressione di un gas all'interno della teoria cinetica della materia, ossia come effetti globali del moto caotico delle miriadi di particelle materiali che costituiscono i gas (e in generale i corpi). La *meccanica statistica* aveva permesso, mediante considerazioni probabilistiche ingegnose e complesse, di definire le grandezze termodinamiche come somme o medie di grandezze strettamente meccaniche riguardanti il moto di tali particelle, e di ricavare anche le fondamentali leggi della termodinamica. Una difficoltà notevole era tuttavia costituita dal secondo principio della termodinamica (nella forma più intuitiva esso afferma che il calore passa sempre, spontaneamente, da un corpo a temperatura più elevata a uno di temperatura più bassa e mai viceversa). Appariva qui un fenomeno *irreversibile* di cui non si riusciva a ottenere la spiegazione utilizzando leggi e principi della meccanica che sono tutti reversibili (ossia, che permettono di determinare lo stato futuro di un sistema, ma anche il suo stato passato). Alla fine di molti sforzi teorici e complessi calcoli matematici una via d'uscita fu trovata e possiamo esprimerla, molto sommariamente, così: lo stato finale cui tende il processo non è assolutamente irreversibile, ma soltanto quello di massima probabilità; la reversibilità non è teoricamente impossibile, ma ha una probabilità talmente infima che può essere praticamente escluso il suo verificarsi. La riduzione della termodinamica alla meccanica era in tal modo ottenuta,

ma a un prezzo notevole, ossia l'introduzione del punto di vista *probabilistico* nella scienza fisica, che intaccava il rigoroso *determinismo* della fisica tradizionale, vera colonna portante del meccanicismo (le leggi naturali non ammettono eccezioni, e se i risultati previsti non si verificano, è solo perché le condizioni di applicazione della legge non erano adeguatamente realizzate). Anche in questo caso notiamo che l'ingresso del punto di vista probabilistico precede la nascita della fisica quantistica, che introdurrà per altro un probabilismo di tipo diverso e più radicale rispetto a quello della termodinamica classica. Questi fatti si erano prodotti negli ultimi tre decenni dell'Ottocento e avevano incrinato la fede nel meccanicismo non tanto presso il pubblico e la maggior parte degli scienziati, quanto presso alcuni spiriti più attenti. Spicca fra costoro Ernst Mach (1838-1916) il quale era stato in un primo tempo un convinto meccanicista ma nel 1883 pubblicò un'opera fondamentale (*La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*) in cui sosteneva che la meccanica, grazie al suo stato di primogenita fra le scienze fisiche moderne, aveva fornito a queste concetti e principi, ai quali per altro non compete alcun privilegio intrinseco, ma soltanto un valore storico contingente. Concetti, leggi e teorie non hanno una portata ontologica di tipo metafisico, ma soltanto un valore "economico", come utili strumenti per organizzare le nostre percezioni sensibili e operare previsioni. In tal senso sono convenzionali e rivedibili, e possono essere abbandonati e mutati. Queste tesi rientrano in un più generale mutamento circa il modo di concepire la conoscenza scientifica sul quale ritorneremo più avanti.

5. Lo studio degli inosservabili e la crisi dell'intuizione in fisica

Per comprendere le ragioni più profonde dell'adesione generalizzata al meccanicismo nelle scienze bisogna tener conto del fatto che esso offriva una base all'intuizione. I punti materiali e le onde della meccanica erano una sorta di immagine idealizzata del granello di sabbia o delle onde che si producono in uno stagno in cui cade un sasso e non era difficile immaginare che, all'interno dei corpi, ci fossero entità di questo tipo molto minuscole, ma dotate delle medesime proprietà. A partire dagli ultimi decenni dell'Ottocento, invece, la fisica in particolare, ma anche altre scienze, diventano sempre più scienze dell'*inosservabile* e la cosa è diventata del tutto generale nel Novecento.

La transizione non è di poco conto e va compresa bene. La fisica, e in genere le scienze naturali, fino al termine dell'Ottocento studiavano sostanzialmente fenomeni dell'ordine di grandezza dell'esperienza ordinaria o, come si dice talvolta, "macroscopici". Per comprendere e spiegare le loro proprietà si introducevano concetti-limiti idealizzati e si postulavano anche costituenti "microscopici" di questi corpi, costituenti tuttavia che non erano dotati di proprietà diverse e il cui compito era esclusivamente quello di dar ragione dei fenomeni macroscopici studiati. Possiamo dire che questo era il mondo di oggetti della scienza naturale *moderna*. Nella scienza naturale *contemporanea* invece (che possiamo fare iniziare col Novecento, ma i cui prodromi si verificano a fine Ottocento), sono gli enti microscopici stessi l'oggetto di studio, ciò di cui si cerca di stabilire proprietà e leggi: si cerca di stabilire la costituzione delle molecole e degli atomi, delle particelle elementari, così come, in chimica, la struttura delle molecole, delle valenze e dei legami, o in biologia quella delle cellule e dei geni. Tutto questo mondo microscopico non è *osservabile* nel senso tradizionale di essere accessibile alla percezione sensibile (specialmente alla vista) e può essere considerato tale solo se si riconosce come osservazione anche l'osservazione strumentale, la quale però coinvolge sempre più l'accettazione di intere parti di *teorie fisiche* se si vogliono considerare i reperti che "si vedono" negli strumenti come rappresentazioni dello stato dei microoggetti. Né vale obiettare che anche per trattare degli inosservabili dobbiamo in ultima istanza affidarci a quanto si può direttamente osservare dentro gli strumenti, poiché la sostanza del problema è un'altra: prima si postulava il componente inosservabile come *ipotesi* per spiegare il comportamento dei corpi osservabili, ora invece il comportamento dei corpi osservabili (per esempio degli strumenti di osservazione e misura) viene utilizzato per scoprire le proprietà dei componenti inosservabili. Quanto detto non vale soltanto riguardo all'infinitamente piccolo, ma anche riguardo all'infinitamente grande, ossia a ciò che è lontanissimo nello spazio e nel tempo (per esempio, negli studi di astrofisica e di cosmologia). È chiaro che tutto questo è possibile grazie a un cospicuo lavoro di tipo *teorico*. Tutte queste conoscenze sono possibili se non si ritiene che unica fonte legittima di *conoscenza* sono le *percezioni sensibili*, ossia se si accorda all'intelletto una capacità di conseguire vera conoscenza, anche quando non è più direttamente assistito dall'esperienza sensibile. I positivisti, che erano propugnatori di un *empiri*

sma radicale, non riuscivano ad ammettere un simile contributo dell'intelletto e pertanto si trovarono completamente spiazzati quando la scienza incominciò a dover sempre più rinunciare a quello che possiamo chiamare il requisito della *visualizzabilità* dei suoi oggetti, e la posizione di Mach è proprio la migliore conferma di questo fatto. Avendo ridotto la conoscenza autentica al puro contenuto delle percezioni sensibili e avendo ridotto i prodotti dell'intelletto (concetti, leggi, teorie) a semplici espedienti economici per ordinare e prevedere in certa misura le nostre percezioni, egli fu costretto a negare l'esistenza fisica degli inosservabili e, per quanto stupefacente ciò possa apparire a noi (che consideriamo atomi, molecole e particelle come costituenti normali del mondo fisico), egli non credette all'esistenza delle molecole e degli atomi pur essendo morto nel 1916 (ossia dopo la rivoluzione relativistica e quantistica).

Le crisi del meccanicismo descritte in precedenza possono infatti essere considerate, in sostanza, proprio come "crisi della visualizzabilità" degli enti della fisica, nel momento in cui essi appaiono come degli *inosservabili* che si tenta di comprendere mediante modelli *intuitivi*. Di fronte alle difficoltà emerse nella costruzione di tali modelli si aprono sostanzialmente due strade: l'una consiste nel riconoscere che *l'intelletto* è in grado di farci conoscere anche al di là di quanto è intuitivamente modellabile, e allora si rimane in una concezione realista della scienza (ossia si ritiene che la scienza ci faccia conoscere qualcosa della realtà); oppure si ritiene che là dove non arriva la diretta percezione sensibile non c'è conoscenza, e allora si cade nell'antirealismo. L'empirismo radicale corrisponde a questa seconda scelta, ma è il caso di sottolineare che, essendo la scienza naturale contemporanea quasi per intero una scienza dell'inosservabile, questa opzione implica che si tolga la caratteristica di conoscenza alla scienza, ossia a quella forma di sapere a cui la modernità aveva attribuito quasi il monopolio della conoscenza. Sarà questo un problema che dovremo approfondire in seguito.

LE RIVOLUZIONI CONCETTUALI DELLA SCIENZA MODERNA

1. I tentativi di superamento delle antinomie e il programma formalista

Se è vero che l'intuizione sensibile era entrata in crisi nella scienza, non possiamo negare che anche l'intuizione intellettuale aveva passato i suoi guai, come abbiamo visto toccando il tema delle antinomie logiche apparse nella teoria delle classi e degli insiemi. I tentativi di superarle sono interessanti perché dietro ciascuno di essi sta una certa *filosofia della matematica*, ossia un certo modo di concepire l'esistenza degli enti matematici. Secondo i *logicisti* (Frege e Russell) gli enti matematici hanno esistenza propria e indipendente dal nostro modo di trattarne, pertanto le antinomie sono imputabili al nostro linguaggio e si tratterà di imporre a questo delle regole in grado di impedire la formulazione di proposizioni paradossali. È questa la tesi su cui Russell basò la "teoria dei tipi logici" come modo per evitare le antinomie. Altri invece ritennero che le antinomie fossero nate dal fatto di aver considerato come dati degli insiemi infiniti, mentre gli enti matematici sono soltanto quelli che si possono costruire mediante procedimenti intuitivi finiti, adottando i quali le antinomie non possono sorgere: posizione sostenuta da Luitzen Brouwer (1881-1966) e dagli *intuizionisti*. Ma le ricerche più articolate vennero svolte da coloro che ritennero le antinomie frutto dell'essersi fidati dell'intuizione, che aveva condotto a contraddizioni. Si sarebbe dovuto invece procedere anche per la teoria degli insiemi a darle una rigorosa *formulazione assiomatica astratta*, scegliendo gli assiomi in modo che le antinomie non sorgessero, e la prima di tali teorie assiomatiche fu formulata nel 1908 da Ernst Zermelo (1871-1953). Ma il problema era generale e può essere espresso nel modo seguente: non basta riuscire a mostrare che una data assiomatizzazione è tale che evita le antinomie o, in generale, le contraddizioni note, poiché una contraddizione inattesa potrebbe esser trovata in seguito. Ciò che occorrerebbe è una *dimostrazione di non contradd-*

*ditto*rietà interna di almeno un sistema assiomatico corrispondente a una certa teoria matematica, dal momento che poi, in forza delle successive “costruzioni” di cui già si è parlato in precedenza, sarebbe ragionevole sperare di estendere tale non contraddittorietà anche ad altre teorie e, al limite, all’intera matematica. Come si vede, questa estrema preoccupazione fondazionale si concentra sulle *dimostrazioni* matematiche, nel senso che è esaminando le dimostrazioni possibili entro una teoria che si può sperare di mostrare che nessuna di esse condurrà a una contraddizione. Tale tipo di indagine fu pertanto chiamato *teoria della dimostrazione* da David Hilbert (1862-1943), fondatore della scuola *formalista* centrata sulla visione della matematica come complesso di sistemi assiomatici puramente formali ed espressi mediante il simbolismo dei calcoli della logica matematica. Nessun limite veniva posto alla potenza espressiva di tali teorie (che, in particolare, debbono poter trattare anche gli infiniti attuali conquistati dalla teoria degli insiemi), e l’unica condizione richiesta era quella della loro non contraddittorietà. Il “programma hilbertiano” consisteva nella proposta di tentare una dimostrazione di non contraddittorietà “diretta” sul sistema assiomatico più semplice (quello dell’aritmetica elementare), sperando che, se l’impresa riusciva, si potesse poi estendere la non contraddittorietà anche all’analisi e alla teoria degli insiemi. Ma come provare una tale non contraddittorietà? Già i logici medioevali sapevano che da un sistema di premesse contraddittorie si può correttamente dedurre *qualsiasi* proposizione. Quindi, se si riuscisse a mostrare che nel sistema dell’aritmetica esiste per lo meno una proposizione indimostrabile (per esempio $0=1$) se ne sarebbe provata la non contraddittorietà. Ciò sembra plausibile, poiché a livello formale le dimostrazioni sono pure manipolazioni di segni mediante regole; ma gli assiomi sono catene *finite* di segni accessibili all’intuizione sensibile, e le regole logiche sono pure in numero finito; quindi sembra ragionevole attendersi che mediante ispezioni *finite* di questi procedimenti si arrivi a mostrare che almeno una certa sequenza di segni non è ottenibile. Nonostante questa plausibilità, il programma hilbertiano fallì perché nel 1931 Kurt Gödel (1906-1978) dimostrò che tale dimostrazione è impossibile.

2. Il teorema di Gödel e le sue conseguenze

Nella storia della scienza soltanto l’enunciazione della teoria della relatività ha avuto un impatto tanto profondo ed esteso non

solo all’interno di una scienza, ma in tanti campi della cultura, quanto il teorema di Gödel. Quello che viene così chiamato è in realtà un corollario di un più generale teorema dimostrato nella medesima memoria, e rientra fra altri risultati di non minore importanza dimostrati dal medesimo logico matematico durante la sua vita. Il suo enunciato corretto suona: “dato un qualsiasi sistema formale (presupposto non contraddittorio e tale che possa formalizzare almeno l’aritmetica elementare), è impossibile dimostrarne la non contraddittorietà impiegando mezzi formalizzabili nel sistema stesso”. Poiché la condizione di poter formalizzare almeno l’aritmetica elementare è talmente minimale che senza di essa nessun sistema formale sarebbe provvisto di un qualche interesse, il teorema viene di solito abbreviato dicendo che in esso si dimostra che “nessun sistema formale è in grado di dimostrare dal suo interno la propria non contraddittorietà”, e questa è una formulazione non rigorosissima, ma neppure errata, ed è questa la ragione del carattere estremamente generale che assume questo risultato. Infatti esso non solo decretò la fine del programma hilbertiano nella sua forma originaria (poiché i metodi “finitisti” proposti da Hilbert sono formalizzabili entro l’aritmetica elementare), ma chiarì che una dimostrazione di non contraddittorietà puramente “interna” è impossibile anche permettendosi di utilizzare i più potenti strumenti logici, come quelli della teoria degli insiemi e delle classi. Fu così che a partire da quella data il programma hilbertiano dovette proseguire in forma modificata, ossia accettando che le dimostrazioni di non contraddittorietà utilizzassero metodi che, pur non essendo finitisti, fossero per lo meno “costruttivi”, ossia ispezionabili e affidabili di per sé, in base a un criterio che in fondo recuperava, senza confessarlo, il ruolo dell’*intuizione intellettuale* e quindi decretava l’inadeguatezza della concezione *puramente formale* della matematica.

Un tale recupero, del resto, era implicito nella stessa complessa dimostrazione del teorema di Gödel che, come detto, è solo un corollario di un teorema in cui si dimostra che una certa proposizione dell’aritmetica elementare (opportunamente costruita), non è né dimostrabile né refutabile (ossia è “formalmente indecidibile”) dentro il sistema assiomatico dell’aritmetica medesima, pur essendo *vera* a proposito dei numeri naturali. Con ciò si affermavano molte cose: in primo luogo, che tale sistema formale non era *sintatticamente completo* (ossia che si potevano costruire al suo interno proposizioni tali che né queste, né le loro negazioni sono dimostrabili); in secondo

luogo, che, mentre tutte le proposizioni dimostrabili sono anche vere, non tutte le proposizioni vere sono dimostrabili (ciò vale nel caso particolare dell'aritmetica ma, come detto, vale anche per sistemi più potenti); ma allora, in terzo luogo, se siamo in grado di asserire di una certa proposizione che, pur essendo indimostrabile, è *vera a proposito* dei numeri naturali, dobbiamo concludere che i numeri naturali *esistono* indipendentemente dai sistemi formali che cercano di formalizzarli e godono di proprietà che tali sistemi solo in parte sono in grado di catturare. È questa una conseguenza che confuta il formalismo puro come adeguata *filosofia della matematica* (pur lasciando sussistere tutti i pregi della formalizzazione di cui già abbiamo discusso), anche se non induce in modo necessario ad abbracciare il *platonismo* (ossia la tesi che gli enti matematici hanno esistenza effettiva pur non essendo di natura materiale, come Frege e lo stesso Russell, almeno in una certa fase del suo pensiero, avevano ritenuto). Il risultato gödeliano ha esercitato influssi in vari settori e, in particolare, ha dato luogo a discussioni riguardanti la logica, la natura della conoscenza, l'ontologia. Per esempio, sul terreno dell'interpretazione della mente umana: una lettura "scientifica" di tipo riduzionista (perseguita da una certa corrente all'interno della cosiddetta "intelligenza artificiale") riduce la mente a un calcolatore, ma il teorema di Gödel, nella misura in cui dimostra che per *unqualsiasi* sistema formale esistono proposizioni indecidibili che tuttavia sono vere, indica che la mente umana (che è in grado di cogliere tale differenza) non è riducibile a un calcolatore. Questo infatti, a parte la sua costituzione materiale (il suo *hardware*), funziona grazie a un programma (*software*) che è un sistema formale. Ritorniamo più avanti su questo tema qui solo fugacemente accennato. Osserviamo infine che quanto appena detto introduce al notevole impatto che questo teorema ha avuto sul terreno informatico, come accenneremo in seguito.

Le cosiddette "limitazioni interne dei formalismi" messe in luce dal teorema di Gödel avevano ridato legittimità non solo all'intuizione intellettuale, ma anche al concetto di verità, lungamente esiliato, come si è visto, dal terreno delle matematiche assieme alla prima. Infatti nel 1933 il logico Alfred Tarski (1902-1983) pubblicava in polacco un ampio saggio di circa cento pagine, tradotto dopo due anni in tedesco, dal titolo *Il concetto di verità nei linguaggi formalizzati*, nel quale mostrava come utilizzare tale concetto in modo da non incorrere in antinomie, del tipo di quella del mentitore, ma nello

stesso tempo aderendo in pieno alla concezione classica della verità come proprietà di un discorso che dice a proposito degli oggetti cui si riferisce ciò che essi realmente sono. Ciò accade associando ai segni di un linguaggio formalizzato opportune *interpretazioni* su insiemi generici di oggetti, in modo che queste trasformino, per così dire, le espressioni simboliche in proposizioni vere a proposito di tali oggetti. Si tratta di un programma perseguito con grande rigore e sottigliezza anche tecnica su cui non possiamo soffermarci. Con questo lavoro prende l'avvio la cosiddetta *semantica* dei calcoli logici, diventata ormai una branca molto specializzata della logica matematica sotto il nome di *teoria dei modelli*. È interessante osservare che per questa strada si poteva proporre una soluzione del problema della non contraddittorietà secondo due sensi diversi. Un primo consiste nel prendere alla lettera l'affermazione che, trovando un modello, ossia mostrando come le espressioni di un sistema formale possano diventare *vere* a proposito di qualche cosa, possiamo concludere che da tale sistema non sarà mai derivabile correttamente una contraddizione. Infatti una contraddizione è *sempre falsa* e non potrà quindi esser resa vera da nessuna interpretazione, per strana che sia, la quale rende vere le premesse da cui è dedotta; quindi non potrà mai discendere correttamente da esse. Un senso più debole consiste nel fatto di considerare le interpretazioni non tanto come associazioni dei simboli con oggetti "reali", quanto piuttosto con i termini di un altro discorso intuitivo che le traduce, per così dire, in proposizioni vere, ma il problema rimane aperto a proposito della non contraddittorietà di questo ulteriore discorso. Questa prospettiva è giustificata dal fatto che le procedure interpretative tarskiane sfruttano ampiamente nozioni e operazioni della teoria degli insiemi, cosicché in sostanza si dà per presupposta la non contraddittorietà di quest'ultima. Ciò che si ottiene, quindi, è analogo a quella riconduzione della non contraddittorietà di una teoria a quella di un'altra (magari dimostrando anche che le due non contraddittorietà si implicano a vicenda) che abbiamo già incontrato trattando delle geometrie non euclidee. Si possono addirittura costruire dei "modelli interni" di una teoria su sue sottoteorie (per esempio nella teoria degli insiemi). Questi non sono comunque risultati di poco conto, poiché, mostrando in certo senso che le teorie matematiche fondamentali sono talmente solidali dal punto di vista della coerenza logica che o sono tutte contraddittorie o sono tutte non contraddittorie, si può concludere al di là di

ogni ragionevole dubbio che sono non contraddittorie. Questa è la ragione per cui il problema della dimostrazione di non contraddittorietà ha perso di interesse negli studi fondazionali dopo i risultati che abbiamo menzionato.

Vennero così assumendo importanza crescente, a partire dalla metà del Novecento, gli aspetti computazionali della matematica, non soltanto per l'ampliarsi delle applicazioni della matematica nei più diversi settori della tecnologia e in altre discipline, come l'economia, ma specialmente per il notevole impatto che ebbe su di essa l'uso dei calcolatori. L'aspetto algoritmico, ossia l'esecuzione dei calcoli, era sempre stato considerato accessorio dalla tradizione "scientifica" della matematica, anche se di quando in quando grandi matematici hanno legato il loro nome alla scoperta di un metodo di calcolo o a un certo tipo di equazione. Il rigore logico, l'esattezza concettuale, oppure la genialità e l'arditezza di certe concezioni nuove hanno in generale rappresentato ciò che maggiormente si apprezzava in queste discipline. Il calcolatore è una macchina che si limita a ripetere ad alta velocità poche operazioni elementarissime, al massimo rispettando un programma ingegnoso inventato da un matematico applicativo, ma è nel complesso un operatore "stupido", che non sa quello che fa ed è incapace di qualsiasi iniziativa o novità. Esso imita alla perfezione le sole due doti che si esigono da un operatore umano che esegue dei calcoli, ossia scrupolosa attenzione ed esattezza. Tuttavia si deve pur riconoscere che non pochi problemi matematici tradizionali erano rimasti senza risposta proprio perché esigevano calcoli eccessivamente lunghi, che un solo ricercatore non poteva eseguire anche dedicandovi mesi o anni. Quindi i calcolatori, che sono veloci e non si stancano perdendo di concentrazione e attenzione, sono *strumenti* utilissimi, anzi praticamente indispensabili, per la ricerca matematica nei campi più svariati. Ma non è tutto qui: il loro impiego ha condotto anche a una diversa valutazione di quella che si soleva considerare l'esigenza di *esattezza* in matematica. Impegno del matematico tradizionale, per esempio, era quello di dimostrare l'esistenza e l'unicità della soluzione di una certa equazione e, quando le condizioni necessarie e sufficienti a tal fine non si davano, si tendeva ad affermare che tale soluzione non esiste. Oggi il problema ha perso di rilevanza poiché, mediante il computer, si può calcolare la soluzione che interessa fino a un numero di cifre decimali grande quanto desideriamo, mentre la cosiddetta soluzione esatta (quand'anche ci fosse) dovrebbe consistere in un lungo elen-

co di cifre decimali non più "significative". Ma c'è pure un altro aspetto: la prova del talento matematico di uno scienziato (o anche di un semplice studente) consisteva spesso nella capacità di trovare un opportuno accorgimento o scorciatoia "logica" che permettevano di risolvere un dato problema "evitando i calcoli" (ossia riducendoli al minimo). Sarebbe stato difficile immaginare che i calcolatori potessero servire invece proprio per rendere possibile la dimostrazione di veri e propri teoremi che avevano resistito per decenni ai tentativi di *dimostrazione* dei matematici. Basti citare un esempio tanto semplice quanto istruttivo. Sin dal 1852 era stato enunciato il "teorema dei quattro colori", il quale afferma che, data una superficie piana divisa in regioni connesse, come per esempio una carta geografica politica, sono sufficienti quattro colori per colorare ogni regione facendo in modo che regioni adiacenti non abbiano lo stesso colore. Dopo molti infruttuosi tentativi operati da vari matematici (che riuscirono a ridurre a cinque il numero minimo dei colori necessari), la dimostrazione fu ottenuta da due matematici americani nel 1977 ricorrendo in modo essenziale ai calcolatori. La dimostrazione si basa sulla riduzione del numero infinito di mappe possibili a 1.936 configurazioni (poi ulteriormente ridotte a 1.476), per le quali la validità del teorema viene verificata caso per caso dal computer. Per ridurre al minimo la possibilità di errore, il programma fu eseguito su due diverse macchine con due algoritmi indipendenti; per completare l'analisi di tutti i casi possibili fu necessario far lavorare i computer per migliaia di ore. Alla fine, servirono più di 500 pagine per trascrivere a mano tutte le verifiche che costituivano la dimostrazione. Il rivoluzionario utilizzo di algoritmi informatici per verificare l'esattezza della congettura scatenò grandi polemiche sull'affidabilità di questi metodi. Ad ogni modo, nonostante le accuse di scarsa "eleganza", nell'algoritmo non è mai stato trovato alcun errore. Qualcuno potrebbe dire che, in fin dei conti, non siamo assolutamente "sicuri" che la dimostrazione sia corretta, ma forse è il caso di ricordare quante dimostrazioni tradizionali sono state scoperte non corrette dopo vario tempo e, manco a farlo apposta, ciò è accaduto proprio nel caso di alcune presunte dimostrazioni di tipo tradizionale di questo teorema, proposte anche nel corso del Novecento. E poi, non è forse vero che, sin dai tempi di Aristotele, si era compreso che la verifica del rigore logico di una dimostrazione è assicurata nel modo migliore utilizzando regole *formali* che servono per manipolare simboli senza lasciarsi ingannare dai significati dei ter-

mini di senso comune, e che proprio questa era stata la prospettiva *algoritmica* che da Leibniz in poi aveva condotto allo sviluppo della logica matematica moderna?

3. Le grandi rivoluzioni in fisica: relatività e quanti

Dedicheremo ora un'attenzione assai più breve alle due grandi teorie che hanno sconvolto dalle fondamenta la fisica sin dai primissimi anni del Novecento, ossia la relatività e la meccanica quantistica. Si tratta infatti di due temi sui quali esiste da decenni una vastissima letteratura anche di tipo divulgativo pregevole, a differenza di quanto si può dire rispetto alla logica e ai fondamenti della matematica. Pertanto, sorvolando sui contenuti specifici di tali teorie, ci limiteremo a menzionare quegli aspetti concettuali e logici che hanno avuto un carattere autenticamente rivoluzionario sotto diversi punti di vista, dal momento che non riguardavano più l'impossibilità di "visualizzare" il mondo fisico, ma addirittura quello di *pensarlo* impiegando le categorie che il *senso comune* utilizza per intendere il mondo e che, in particolare, sono state precisate ed elaborate in seno alla tradizione filosofica dell'Occidente. Si pensi, per esempio, al fatto di dover conciliare continuità e discontinuità nell'interpretazione del mondo microfisico, alla dualità della rappresentazione corpuscolare e ondulatoria delle particelle elementari, all'indeterminatezza di principio nell'attribuzione simultanea di valori a grandezze coniugate a livello microfisico, alla necessità di considerare la massa e le dimensioni spaziali di un corpo non più come le sue proprietà più inalterabili e intrinseche, ma come variabili in funzione della sua velocità, per non parlare delle interdipendenze fra due "entità" concettualmente tanto distinte come lo spazio e il tempo e, per finire, della conversione da una concezione "deterministica" a una "probabilistica" delle leggi naturali, con la correlata riconsiderazione del principio di causalità.

Daremo ora solo qualche breve cenno per mostrare come queste difficoltà siano venute dipanandosi e connettendosi l'una all'altra in modo irresistibile. Per il senso comune e per la fisica classica il concetto di *simultaneità* di due eventi ha un valore assoluto (essi sono tali se hanno luogo nel medesimo istante temporale). Albert Einstein (1879-1955) ha però chiarito che questo concetto ha un reale "significato fisico" solo se possiamo precisare *come* stabilire tale simultaneità, e la sua analisi ha condotto a riconoscere che essa dipende dal

sistema di riferimento e può risultare sussistente o non sussistente a seconda del moto relativo dei sistemi di riferimento. Tale simultaneità "intrinseca" ai due eventi può essere affermata dal senso comune solo con riferimento implicito a un *tempo assoluto*, ma questo è stato eliminato dalla teoria della relatività, la quale ha anche operato un mutamento più radicale, mostrando che spazio e tempo sono interdipendenti (per non accennare ad altre peculiarità il cui suono paradossale è quasi soltanto legato al fatto di attribuire un significato fisico intuitivo a locuzioni che hanno un significato convenzionale non problematico nel linguaggio matematico, come i concetti di spazio a quattro dimensioni o di spazio curvo).

Passiamo ora ad altre proprietà che il senso comune considera come "intrinseche" e invariabili per un dato corpo, come la massa e la lunghezza di un corpo rigido. La relatività mostra che esse dipendono dalla velocità di traslazione di quel corpo la quale, a sua volta, è relativa ai sistemi di riferimento. Per di più la massa, secondo la nota formula einsteiniana $E = mc^2$, può convertirsi in energia e viceversa, cosicché la vecchia legge di conservazione della massa deve essere riformulata in una più complessa formula di conservazione dell'energia (o della massa-energia). Si noti che, anche così, la vecchia convinzione dell'uniformità della natura, espressa dalle leggi fisiche, non è stata abbandonata, poiché la teoria della relatività è un grande sforzo per trovare una formulazione delle leggi di natura che sia *invariante* rispetto alla relatività delle misure possibili nei diversi sistemi di riferimento.

Passando alla fisica quantistica, basti ricordare che essa pone un limite teorico (e non solo pratico) alla possibilità di determinazione esatta e simultanea delle grandezze coniugate di un sistema microfisico (come, per esempio, posizione e velocità di una particella), secondo quanto stabilito nelle relazioni di indeterminazione di Werner Heisenberg (1901-1976) e ciò si riflette anche sulla possibilità di previsione esatta consentita dalle leggi fisiche (che assume un carattere soltanto statistico). Tutto ciò è anche conseguenza del fatto che nei procedimenti di misura si deve realizzare una "preparazione" che rende impossibile una netta separazione fra osservatore (o apparecchio di misura) e oggetto osservato, togliendo una delle caratteristiche più spontanee che il senso comune (e la fisica tradizionale) sottintendevano per una conoscenza "oggettiva" del mondo. Finalmente, perfino le due visioni rivali (corpuscolare e ondulatoria) sono obbligate a convivere, non già in campi separati della fisica, come

accadeva in precedenza, ma nella descrizione del comportamento di una medesima entità, secondo il cosiddetto “principio di complementarità” enunciato da Niels Bohr (1885-1962).

Possiamo fermarci qui e chiederci come mai gli scienziati accettino teorie tanto “strane” per il senso comune e gli stessi intelletti delle persone colte. La risposta è che esse non solo hanno ricevuto molte conferme sperimentali inoppugnabili e permesso applicazioni tecnologiche di grande rilievo, ma anche che relatività e fisica quantistica non hanno incontrato una sola smentita sperimentale e debbono esser considerate come “verificate” ancor più di quanto lo fosse, nel suo campo, la fisica classica. Proprio queste conferme sperimentali e queste riuscite applicazioni tecnologiche costituiscono un certo “ritorno” verso il senso comune, anche se sono venute meno quasi tutte le possibilità di *rappresentazione* di senso comune di cui godeva abbastanza ampiamente la vecchia fisica e che, ben inteso, possono esser tentate con strumenti più complessi anche per la nuova fisica. In particolare, proprio l’elaborazione di alcuni *calcoli logici* puramente formali (che rientrano nel campo delle “logiche polivalenti”) ha permesso di trattare in modo logicamente “comprensibile”, e quindi di rappresentarsi concettualmente anche se non intuitivamente, situazioni apparentemente paradossali legate al principio di indeterminazione e, addirittura, i fenomeni microfisici hanno potuto essere assunti come “modelli” di tali calcoli.

Questi fatti ben noti hanno alimentato, sin dai primi decenni del Novecento, dibattiti filosofici vasti e approfonditi sulla fisica, in cui sono intervenuti i maggiori scienziati del tempo, ma anche filosofi forniti di una sufficiente competenza scientifica; dibattiti che hanno riguardato temi di filosofia della conoscenza, di ontologia e metafisica, di filosofia della natura, di metodologia delle scienze e nei quali sono emerse le più diverse posizioni. Tutto ciò sta a confermare che una *filosofia della fisica* si sviluppò robustamente a partire dalla crisi dei fondamenti della fisica, non meno di quanto i dibattiti sui fondamenti della matematica e i risultati inattesi delle ricerche di logica matematica abbiano innervato una *filosofia della matematica*. Entrambe poi hanno contribuito notevolmente alla costituzione della *filosofia della scienza* come nuova branca ormai specializzata della filosofia.

L'AMPLIARSI DEL PANORAMA DELLE SCIENZE NEL NOVECENTO

Lo sviluppo delle scienze e delle tecnologie nel corso del Novecento è stato tanto vasto e impetuoso che non avrebbe alcun senso cercare di riassumerlo anche solo toccando le novità di maggiore spicco e, d’altro canto, proprio queste non hanno alcun bisogno di essere rievocate in poche righe, essendo ancora ben presenti nella memoria collettiva. Così, per esempio, il viaggio del primo astronauta nello spazio o lo sbarco del primo uomo sulla luna sono stati eventi in certo senso epocali e di grande impatto emotivo, ma il cui significato oggettivo rientra come un elemento in certo senso non eccezionale nel quadro complesso e complessivo della tecnologia spaziale che, viceversa, potrebbe meritare un discorso un po’ più articolato in quanto esempio significativo del convergere di una molteplicità di conoscenze scientifiche e tecnologiche, oltre che di fattori politici, economici e industriali. Azzardando una drastica semplificazione, potremmo dire che, lasciando da parte le matematiche a proposito delle quali già abbiamo accennato ai fondamentali aspetti di novità, la prima metà del Novecento si potrebbe caratterizzare come la grande *epoca della fisica*, poiché questa scienza (che durante l’Ottocento, nonostante i suoi numerosi progressi, si può dire fosse “vissuta di rendita” sulle fondamentali acquisizioni e impostazioni concettuali della meccanica) ha conosciuto, grazie alla relatività e alla fisica quantistica, le innovazioni teoriche maggiori, che si sono accompagnate a un accumulo stupefacente di conoscenze circa la struttura del mondo atomico e subatomico, costantemente accompagnata da impegnative elaborazioni teoriche e seguita da applicazioni tecnologiche svariatissime e di grande impatto. La biologia (sempre usando questi ritagli sommari) durante l’Ottocento era stata la scienza più fervida di innovazioni teoriche e acquisizioni conoscitive, mentre era “vissuta di rendita” su quella ricca eredità (pur non essendosi ridotta a uno stato di stagnazione), nella prima metà del Novecento, non diversamente dalla chimica. Nella seconda metà

del secolo, invece, la biologia riprende il ruolo di scienza trainante, grazie al sorgere della *biologia molecolare* che, dopo la scoperta del DNA quale chiave di lettura chimica dei fenomeni vitali, ha avuto ricadute teoriche decisive specialmente nel campo della genetica e un numero considerevole di applicazioni, già realizzate o in corso di realizzazione, nei diversi settori dell'ingegneria genetica e nella medicina. Proprio per il fatto di aver reso possibili interventi "manipolatori" diretti sul mondo dei viventi e, fra questi, sull'uomo stesso, la nuova biologia ha suscitato anche una serie di interrogativi, preoccupazioni, dibattiti di tipo etico, politico e sociale ancor più vivaci di quelli provocati dall'uso di altre tecnoscienze, come quella nucleare o chimica. Per queste ragioni dedicheremo ora alla biologia un discorso un poco più ampio.

Accanto alle scienze appena nominate, ne sono sorte parecchie altre, delle quali non avrebbe un gran senso stilare un elenco e che raggrupperemo sotto la denominazione di "scienze dell'artificiale", per ragioni che esporremo in seguito e che, sostanzialmente, si riconducono al fatto che scienza e tecnologia sono ormai giunte a un punto tale di fusione da aver dato luogo a un fenomeno unitario che è ormai entrato nell'uso chiamare *tecnoscienza*. Ciò del resto rispecchia il fatto (sul quale dovremo soffermarci) che ormai le stesse scienze naturali non si occupano della natura se non in misura molto debole e indiretta.

Tutto questo, tuttavia, non sarebbe ancora sufficiente per darci la misura del nuovo modello intellettuale che caratterizza nel suo assieme la scienza *contemporanea*, la quale si distingue dalla scienza *moderna* specialmente per l'abbandono della prospettiva strettamente *determinista e analitica* in nome di una giusta valorizzazione della *complessità e globalità*. Per questo dedicheremo una parte della discussione al tema della complessità, alla teoria dei sistemi, alla cibernetica.

1. I nuovi orizzonti delle scienze biologiche: la biologia molecolare

Abbiamo già avuto occasione di menzionare, parlando della chimica ottocentesca, il fatto che la chimica organica si costituì come disciplina mostrando che anche la materia di cui sono fatti i viventi non è costituita da sostanze chimiche diverse da quelle della materia inanimata, col che prese l'avvio la *biochimica* con tutte le sue scoperte e applicazioni.

Per comprendere bene il significato della biologia molecolare novecentesca, tuttavia, è necessario non limitarsi a vederla come uno sviluppo interno della biochimica, bensì come un passo importante nella comprensione delle più tipiche e riposte funzioni della vita. Ci sembra che un modo efficace per raggiungere questo scopo sia quello di vedere come la biologia molecolare è venuta a innestarsi sulla genetica.

Già negli anni 1856-1863 Gregor Mendel (1822-1884) aveva stabilito le leggi secondo le quali si trasmettono i caratteri "fenotipici" degli organismi (ossia i loro caratteri "manifesti") e aveva formulato, per spiegare le sue leggi, due ipotesi: (1) ogni carattere è determinato da una "unità particolare distinta"; (2) tali entità si trovano dentro i gameti che regolano la loro trasmissione da una generazione alla successiva. Nel 1902 Walter Sutton (1877-1916) postulava che dette unità particolari distinte dovevano trovarsi nei cromosomi, e a esse Wilhelm Johansen (1857-1927) dava il nome di *geni* in un lavoro del 1909, mentre fra il 1910 e il 1913 Thomas Morgan (1866-1945) e altri scienziati dimostravano sperimentalmente l'ubicazione dei geni nei cromosomi.

In tal modo la *genetica* si istituiva come settore della biologia che studia come le caratteristiche dei viventi si trasmettono basandosi su geni, la cui esistenza, pertanto, era già ben stabilita sin dal 1913. Inoltre veniva riconosciuto che ciascun gene è portatore di una "informazione" specifica.

Restava comunque aperto il problema di determinare la *natura* del gene e questo problema si avviò verso la soluzione quando si incominciò ad analizzare il materiale genetico a livello *molecolare* (di qui la nascita dell'espressione "biologia molecolare"). I progressi furono rapidi a partire dagli anni Cinquanta del Novecento: fra il 1940 e il 1952 la ricerca approdò a stabilire che la sostanza che veicola l'informazione genetica è un particolare acido, l'acido desossiribonucleico abbreviato con la sigla DNA secondo la dizione inglese (o ADN nelle pubblicazioni in francese). Poco dopo si ebbe la fondamentale scoperta della *struttura chimica* del DNA, ossia il famoso modello della "doppia elica" proposto nel 1953 da Francis Crick (1916-2004) e James Watson (1928-). Essa permise di stabilire che la specificità dell'informazione contenuta in ogni gene dipende da una successione ben definita e limitata delle quattro "basi" che costituiscono il DNA. A partire da quel momento sorse naturale il problema di decifrare il *codice genetico* e comprendere come si possa decodificarlo.

Queste furono le conquiste degli anni Sessanta dalle quali emerse la *struttura funzionale* dei geni che controlla il potenziale fenotipico delle cellule e degli organismi determinando, per lo meno in gran parte, la struttura delle proteine. La conferma più chiara di queste scoperte venne dalla *sintesi artificiale* di vari geni e dall'*analisi delle loro attività*. Nel 1976 diversi scienziati sintetizzarono geni che, incorporati a un batteriofago mutante per il medesimo gene "naturale", funzionavano perfettamente.

Per designare la totalità dei geni che ogni organismo vivente contiene, e che costituisce una specie di piano o programma del suo sviluppo e funzionamento, è stato coniato il termine *genoma*. A questo punto si presentava un compito immenso e affascinante agli scienziati: arrivare a leggere il testo completo del DNA, ossia scoprire come si succedono dentro ogni cromosoma i miliardi dei quattro tipi di molecole che costituiscono l'alfabeto del codice genetico, contare i geni, definire il loro codice e, finalmente, comprendere e analizzare la loro attività. Considerando il genoma di un qualunque organismo, si tratta in primo luogo di tracciarne una "mappa" (ossia di indicare la posizione esatta di ogni gene nei diversi cromosomi) e quindi di "sequenziarli", ossia determinare le sequenze di frammenti del DNA e, fra queste, scoprire quelle che costituiscono dei geni (il che significa stabilire la composizione molecolare di ogni gene). Se questa impresa è già complessa nel caso di genomi "corti" come quelli di batteriofagi, virus e batteri (che contengono poche decine di milioni di basi), diventa immensa quando ci si proponga di mappare, sequenziare e analizzare il genoma umano, incominciando con l'attribuire ai diversi cromosomi i geni, inizialmente stimati in numero di 80-140.000.

Questa enorme impresa è stata iniziata nel 1990 con la collaborazione di grandi laboratori e industrie in diverse parti del mondo (ma con prevalente impegno degli Stati Uniti d'America) sotto la denominazione *Progetto Genoma Umano* e ha raggiunto i risultati attesi nel 2003, addirittura con anticipo rispetto ai tempi previsti, anche perché nel corso della ricerca il numero dei geni stimati nel genoma umano era sceso a 25.000 (contro i 28.000 di una pianta o i 18.000 di un verme), e anche grazie ai rapidi perfezionamenti delle tecnologie impiegate.

Naturalmente, dicendo che tale "progetto" si è concluso si dice semplicemente che ha conseguito in modo soddisfacente gli obiettivi prefissati, ma non certamente che moltissimi altri problemi e campi

di ricerca non rimangano aperti. Anzi, è vero il contrario e, in particolare, dallo studio del genoma umano si attendono futuri risultati di grande utilità in medicina.

La rapida carrellata di dati storici che abbiamo offerto è già sufficiente per mostrarci un percorso per così dire "lineare" e strettamente scientifico dei progressi della biologia (intesa proprio come indagine dei "segreti della vita", come si suol dire), limitandoci soltanto a una sua sottodisciplina, la genetica, e ai decisivi contributi arrecati a questo progresso dalla collaborazione con un'altra disciplina scientifica, la chimica. Ma si potrebbe allargare facilmente il discorso considerando, per esempio, progressi altrettanto notevoli nell'indagine dei "segreti della vita" ottenuti grazie alla collaborazione con un'altra disciplina molto più giovane, ossia l'informatica. Diremo qualcosa di un po' più dettagliato in proposito quando verremo a parlare di questa disciplina, di cui sinora non abbiamo detto nulla, ma possiamo per lo meno accennare sin d'ora che la posizione di scienza trainante acquisita dalla biologia è dovuta in misura essenziale proprio al fatto di aver incorporato, in modo più rapido e significativo che qualsiasi altra scienza, i quadri concettuali e gli strumenti teorici dell'informatica e di aver così aggiunto, ai classici "principi sostanziali" delle scienze naturali (materia ed energia), il non meno sostanziale principio dell'informazione.

L'acquisizione dei concetti della "ingegneria dei sistemi" da parte del fisiologo e del neurologo ha consentito un progresso sostanziale nella *comprensione* dei processi che avvengono negli organismi viventi e che già erano stati individuati e *descritti* in precedenza. Basti menzionare il concetto di *omeostasi*, elaborato e presentato in modo adeguato specialmente dal fisiologo Walter Cannon (1871-1945) sin dal 1932, e che si può riassumere dicendo che ogni vivente ha la capacità di conservare entro limiti fisiologici le caratteristiche del suo "ambiente interno" pur in presenza di variazioni anche molto significative del suo "ambiente esterno". I fisiologi hanno descritto molti di questi meccanismi (che, per esempio, permettono la conservazione di certi intervalli di temperatura corporea, o di concentrazione di glucosio nel sangue), utilizzando in modo implicito lo schema cibernetico del feedback negativo, tuttavia fu proprio l'avvento della cibernetica che permise una *comprensione* più profonda di tali meccanismi e addirittura la proposta di un modello non biologico di essi, il famoso "omeostato" di William Ross Ashby (1903-1972). Veniva in tal modo emergendo una crescente

inclinazione verso la tesi di un'identità di struttura e di funzionamento fra organismo vivente e macchina automatica, che lo stesso autore estese anche all'interpretazione del cervello e del pensiero in un articolo del 1948 (*Progetto per un cervello*) poi ampliato in un noto libro.¹² Con ciò si avviava quell'utilizzo dell'informatica nel campo della neurofisiologia che negli ultimi decenni del Novecento ha raggiunto livelli notevoli e, di qui, si è dilatato a quelle che vengono ormai chiamate le *neuroscienze* e anche, al di là di esse, alle *scienze cognitive* che abbracciano molti capitoli della tradizionale psicologia scientifica. Diremo qualcosa in seguito su questi sviluppi, accennando anche ai notevoli impatti di natura filosofica che essi hanno circa la stessa interpretazione della natura umana. Per il momento vogliamo invece ritornare al tema della genetica per accennare ad altri tipi di impatti della ricerca biologica sulla società attuale.

Le conquiste della genetica sopra esaminate hanno un carattere eminentemente *conoscitivo*, anche se per conseguirle è stato necessario ricorrere a numerosi interventi tecnici, come in ogni scienza sperimentale (per esempio, per confermare la teoria del gene furono necessari *esperimenti* e addirittura *produzioni sintetiche* di geni; la prosecuzione della ricerca genetica, dopo che fu riconosciuta la natura chimica del gene, fu possibile grazie all'utilizzo di una *tecnologia chimica* molto avanzata; si utilizza un "bisturi chimico" per isolare e trapiantare un gene e poter conoscere le sue attività e funzioni).

Queste conoscenze, d'altro canto, hanno dato luogo a molte *applicazioni*, che costituiscono il campo della ingegneria genetica e che hanno suscitato tutta una serie di problemi e discussioni di natura *non scientifica*. Questa ingegneria abbraccia infatti un ventaglio assai ampio di *interventi concreti* praticati sui geni con finalità molto varie e pertanto rappresenta il terreno fondamentale di quella che viene spesso chiamata *manipolazione genetica*. Orbene, in tutto questo intreccio di *azioni* la presenza di questioni *morali* è del tutto naturale e legittima, ma è bene evitare confusioni al fine di non cadere in quegli atteggiamenti unilaterali o di preconcetta riprovazione o di entusiastica approvazione che purtroppo si registrano oggi e rendono molto difficile una gestione responsabile di queste nuove tecnologie.

¹² W.R. Ashby, *Design for a Brain*, 1952, trad. it. *Progetto per un cervello*, Bompiani, Milano 1970.

2. Le tematiche della complessità

2.1 Complessità computazionale e declino del determinismo

Il pensiero classico e medioevale aveva privilegiato, nella lettura della realtà, la ricerca della *semplicità*, il modo di ricondurre il molteplice all'uno, secondo un'ottica eminentemente qualitativa (uno o pochi "principi" semplici o "elementi", dai quali possono risultare costituite varie unità magari ordinate, ma la cui struttura non riveste specifico interesse). Anche l'avvento della scienza moderna non aveva introdotto sostanziali novità in proposito. Al contrario, tale programma di unificazione e uniformazione si era fatto più concreto: la fisica newtoniana, infatti, riesce nell'intento di *unificare* sotto poche *semplici* leggi una vasta gamma di fenomeni disparati, dalla caduta della mela alle orbite dei pianeti, al moto del pendolo, promuovendo quel programma *riduzionista* di cui abbiamo già parlato più volte e che consisteva nel fare delle varie scienze altrettanti capitoli della meccanica (o in generale della fisica), cancellando ogni autonomia sia dei loro oggetti che delle loro impostazioni epistemologiche. Qualsiasi fenomeno o oggetto complesso veniva idealmente ridotto a una *molteplicità* di elementi semplici tenuti assieme dalle azioni di poche forze secondo le ferree leggi della meccanica. Da ciò conseguiva quella visione rigorosamente *deterministica* espressa nel notissimo passo di Laplace, secondo cui un'Intelligenza superiore che potesse in un dato istante conoscere la posizione e la velocità di ogni corpo nell'universo, e fosse anche dotata della perizia in analisi matematica necessaria per risolvere le rispettive equazioni, sarebbe in grado di predire lo stato dell'universo in qualsiasi istante futuro, come di retrodirlo rispetto a qualunque istante passato. L'intelletto umano può già fare un buon cammino su questa strada, grazie alla meccanica, e la sua limitatezza lo obbliga soltanto a ricorrere al calcolo delle probabilità per compensare le imprecisioni delle informazioni di cui riesce a disporre circa l'*esatto* stato di tutti i corpi.¹³ Siamo ancora alla visione di una *molteplicità* che si ritiene oggettivamente unificata per semplice somma o accumulo di azioni ed elementi semplici, anche se l'esecuzione *pratica* della rappresentazione di tale unificazione urta contro quella che potremmo chiamare una

¹³ Il passo menzionato si può leggere in: Pierre-Simon de Laplace, *Saggio filosofico sulle probabilità*, in *Opere*, pp. 241-404, UTET, Torino, 1967, p. 243.

complessità di calcolo che, però, è in realtà una semplice *difficoltà* che molti scienziati ritennero superabile con il ritrovamento di più efficaci strumenti di calcolo e, in particolare, con l'invenzione dei calcolatori elettronici. Viceversa fu proprio nel tentativo di venire a capo di questa difficoltà di calcolo che spuntarono i primi germi della teoria contemporanea della complessità.

Infatti l'uso dei calcolatori fece scoprire che esistono problemi di computo detti *intrattabili* sono quelli per i quali esiste sì un algoritmo di calcolo adeguato (ossia capace di condurre in linea di principio alla soluzione), ma per i quali la lunghezza dei calcoli cresce esponenzialmente con l'ingresso dei dati, cosicché si dovrebbero attendere tempi lunghissimi, anche se non proprio infiniti, per avere la soluzione. In questi casi (che vengono talora designati come casi di "complessità statica") saremmo nella situazione dell'Intelligenza di Laplace che, viceversa, riuscirebbe a trattare anche problemi intrattabili per un computer molto potente, e ci sono effettivamente studiosi secondo i quali un giorno si arriverà a dominare queste forme di intrattabilità, o grazie a miglioramenti nella costruzione dei computer, o grazie alla scoperta di nuovi e più potenti algoritmi matematici. Tuttavia non si deve credere che le difficoltà incontrate dipendano dal fatto che in casi di questo genere entrano in gioco "troppi" elementi. In quella che viene detta talora "complessità dinamica" si constata infatti che l'impossibilità di trovare la soluzione dipende proprio dalla matematica o, se si vuole, che la soluzione esatta *non esiste*. Verso la fine dell'Ottocento Henri Poincaré scoprì infatti che perfino il comportamento del sistema deterministico per eccellenza, ossia del sistema gravitazionale newtoniano, è prevedibile solo finché contiene non più di due corpi. Già con tre corpi il sistema diventa instabile e, pertanto, le previsioni diventano sempre meno precise col passare del tempo, e diventano del tutto inaffidabili dopo un tempo più o meno lungo a seconda della massa dei corpi stessi e della forma delle loro orbite. Ciò accade perché da tre corpi in su la dinamica diventa *non lineare* ossia, per dirla in modo intuitivo, non è espressa da equazioni che hanno proprietà del tipo di quelle equazioni familiari la cui rappresentazione grafica è costituita da una retta nel piano. La caratteristica più importante di queste ultime è che a piccoli errori nella determinazione delle variabili indipendenti corrispondono piccoli errori anche nelle soluzioni. Le equazioni non lineari, invece, anziché conservare costanti nel tempo gli (inevitabili) errori sperimentali nella determinazione delle condi-

zioni iniziali, li *amplificano* progressivamente. Quindi *qualsiasi* errore, per piccolo che sia, produrrà alla fine conseguenze rilevanti per l'evoluzione del sistema.

2.2 La non linearità e il caos deterministico

Il risultato di Poincaré non fu approfondito per varie ragioni, la più importante delle quali, probabilmente, è la seguente: non esistendo una soluzione generale per le equazioni, queste potevano essere studiate solo numericamente, cioè provando molti differenti valori per ciascuna variabile e calcolando ogni volta il risultato, compito impraticabile finché si dovevano fare i calcoli a mano. Per questo si dovette attendere l'invenzione dei computer. E fu proprio utilizzando uno dei primi, a schede perforate, che nel 1961 il meteorologo del MIT Edward Lorenz (1917-2008) scoprì, per puro caso, il *caos*. Provando sul calcolatore un certo modello per le previsioni del tempo a lungo termine, gli accadde di introdurre in due prove successive gli stessi dati che però, in un caso, erano approssimati a tre cifre decimali, e nel secondo a sei. I due tracciati risultarono progressivamente divergenti: questa piccolissima differenza di una parte su diecimila era bastata a produrre due simulazioni che, nel tempo, erano giunte a previsioni addirittura opposte. Questo fenomeno venne in seguito chiamato *caos deterministico*, perché il sistema in se stesso *resta* deterministico, ma noi non siamo più in grado di calcolarne l'evoluzione oltre un certo limite, perché per farlo dovremmo poter compiere misure *infinitamente precise*. Ma anche se ciò fosse possibile non sarebbe tuttavia *sufficiente*, perché in qualsiasi sistema di equazioni appare sempre qualche numero irrazionale, cioè avente un'infinita serie di decimali, che noi per forza di cose possiamo usare solo "troncandolo" a un certo punto; questa approssimazione, per piccola che sia, porta comunque, alla lunga, le nostre previsioni a divergere dall'andamento reale del sistema, proprio come era successo a Lorenz. Questa perdita di predicibilità è quindi *di principio* e non è rimediabile per quanti progressi la scienza e la tecnologia possano conseguire. In presenza di sistemi di questo tipo (che, come si scoprì ben presto, sono diffusissimi in natura, dove rappresentano più la regola che l'eccezione) si può solo stabilire il limite oltre il quale la perdita di affidabilità diventa inaccettabile, restringendo quindi le nostre previsioni a un periodo di tempo inferiore a tale limite.

Il caos, tuttavia, non deve essere confuso col semplice *disordine*. Benché infatti anche la più piccola variazione di un fattore sia destinata a produrre una traiettoria differente da qualsiasi altra, tuttavia *queste traiettorie non si distribuiscono a caso nello spazio*, ma si raccolgono in oggetti dalla forma definita (detti *attrattori* del sistema, perché è come se attraessero a sé tutte le sue possibili evoluzioni). Questi oggetti, pur nascendo da regole in generale molto semplici, posseggono una struttura molto complessa e, spesso, anche assai bella. Un profondo *ordine complesso* si cela quindi dentro all'apparente disordine del caos deterministico. Qui emerge la caratteristica più notevole della moderna complessità dinamica rispetto ai precedenti tipi di complessità: le forme generate dalle dinamiche non lineari, oltre che "belle", sono spesso anche straordinariamente simili a quelle degli oggetti naturali, specialmente a quelle che caratterizzano gli organismi viventi. Inoltre si rileva una tendenza spontanea verso la *crescita della complessità* stessa, anche a partire da situazioni che non sembravano prepararla (fenomeno detto dell'*auto-organizzazione*), proprio come molte volte è accaduto nel corso dell'evoluzione naturale. Per questo si è incominciato a pensare (e in alcuni casi si è anche effettivamente dimostrato) che all'origine di molte, se non di tutte, tali straordinarie strutture vi siano dinamiche naturali di questo tipo.

Con ciò non avremmo un ritorno surrettizio al riduzionismo. Questo aspetto "creativo" della complessità non sopprime mai l'irriducibile limite alla nostra capacità di calcolare. Pertanto, se anche riuscissimo a determinare la dinamica che presiede alla genesi di una certa struttura, man mano che la struttura stessa si genera la nostra capacità di previsione diminuirà, e quindi non potremo comunque sapere quali saranno le proprietà globali della struttura stessa se non facendola evolvere e vedendo poi il risultato. Ossia, non sarà mai possibile, in generale, prevedere il comportamento di una struttura frutto di una dinamica non lineare a partire dalla legge che governa tale dinamica; per ottenere una previsione dovremo scoprire qualche *nuova* legge, che dovrà essere ricavata *dall'analisi diretta della realtà* e non dedotta dalla legge precedente. Ciò vale per tutti i livelli della realtà: gli atomi rispetto alle molecole, le molecole rispetto alle cellule, le cellule rispetto all'organismo e via dicendo. *Ogni volta* che si sale di livello occorre, per così dire, "ritornare alla realtà", andando a cercare in essa i suoi propri oggetti, secondo specifiche metodologie, con l'importantissima conseguenza di assicurare nuovamente

l'*autonomia* delle diverse scienze, che sono dunque, ciascuna nel proprio ordine, tutte altrettanto "fondamentali" quanto la fisica. Come recita il titolo di questo sottocapitolo, ci proponiamo semplicemente di accennare ad alcune "tematiche" della complessità e ci è parso utile introdurci ad esse presentando il suo forte significato *indeterministico*, che si aggiunge a quello ben noto e mille volte discusso della meccanica quantistica, ma ha carattere più profondo. Nel caso della meccanica quantistica, infatti, le relazioni di indeterminazione di Heisenberg mostrano un limite teorico e invalicabile alla determinazione simultanea di grandezze coniugate, il che significa una insuperabile *imprecisione* nella determinazione dello stato di un sistema microfisico. All'interno di una fisica *deterministica* ne consegue che tale imprecisione nella conoscenza delle "condizioni iniziali" si rifletterà anche sulla previsione dei risultati sperimentali attesi, i quali (proprio come già aveva detto Laplace) si potranno stabilire soltanto entro un certo intervallo di *probabilità*. Così di fatto accade, ed è *questo* il senso secondo cui si afferma che le leggi della meccanica quantistica sono di natura probabilistica. In un altro senso, invece, esse continuano ad essere *deterministiche*. Tale è infatti la fondamentale equazione di Schrödinger che governa l'evoluzione della "funzione d'onda": l'equazione stabilisce per tale funzione un'evoluzione nel tempo *determinata* in ogni istante t , mentre l'interpretazione della funzione è che la particella che essa rappresenta si trovi con una ben precisa probabilità p in un certo intervallo spaziale. Quindi è probabilistico il *significato* della funzione, mentre è deterministico il suo *andamento*, il che non costituisce difficoltà alcuna. Infatti, se una qualsiasi teoria scientifica prevedesse che un dato evento si verifici con probabilità, per esempio, di 0,24 e viceversa i risultati sperimentali mostrassero che esso si produce solo con frequenza di 0,15, diremmo che l'esperimento ha smentito la previsione, poiché questa non riguarda l'accadere dell'evento, bensì la probabilità del suo accadere, e questa si sa calcolare benissimo. Indubbiamente l'indeterminismo quantistico aveva un carattere più radicale di quello della *meccanica statistica* classica che veniva utilizzata per definire i concetti e dimostrare i principi e le leggi della termodinamica: in quel caso si ammetteva l'impossibilità *pratica* di conoscere a un qualsiasi istante posizione e velocità della miriade di particelle in agitazione dentro un gas e, introducendo opportune considerazioni di medie statistiche e utilizzando strumenti del calcolo delle probabilità, si deducevano proprietà *globali* che venivano

poi interpretate come equivalenti alle grandezze termodinamiche. Ma in realtà a nessuno sarebbe mai venuto in mente di voler determinare il moto o la traiettoria di una singola particella, mentre nel caso della meccanica quantistica gli oggetti che si vogliono studiare sono proprio le particelle e ci si deve accontentare di stime probabilistiche per ragioni a un tempo pratiche e teoriche (poiché *si vorrebbe* misurare con estrema esattezza posizione e velocità di una particella, e si sono anche approntati gli strumenti per farlo, ma si sa che la “preparazione” della misura non consentirà di superare un prefissato limite di esattezza). Il caso della non linearità è ancora più radicale, poiché qui neppure il decorso della funzione, ossia la sua evoluzione nel tempo, è più determinato, neppure probabilisticamente. Non vorremmo dar l'impressione, con quanto esposto, di aver salutato come una liberazione il declino del determinismo nella scienza contemporanea. In realtà abbiamo solo considerato i limiti di *un certo tipo* di determinismo e, anzi, ci affrettiamo subito ad aggiungere che, *in un certo senso*, ogni disciplina scientifica che non sia puramente descrittiva adotta, in misura più o meno accentuata, quello che potremmo chiamare un “determinismo metodologico”. Infatti se all'interno di tale disciplina si propone una qualche *teoria* intesa a spiegare i fatti che si studiano, questa cercherà di mostrare che tali fatti si sono verificati “così come dovevano accadere”, stando alle ipotesi proposte e alle circostanze effettivamente realizzate; dal che segue che, se circostanze di un certo tipo dovessero realizzarsi in un tempo successivo, “si dovrebbero produrre” anche fatti del tipo di quelli spiegati. Se poi quella con cui abbiamo a che fare è una scienza *sperimentale*, il determinismo è d'obbligo: che senso avrebbe infatti, di fronte a un esperimento che è in disaccordo con l'ipotesi che stiamo sottoponendo a verifica, dire che esso “confuta” l'ipotesi, se si potesse pensare che “non era proprio sicuro” che quell'evento dovesse prodursi? Solo nel caso di teorie probabilistiche possiamo ammettere che il risultato del *singolo* esperimento non sia conforme alle attese, ma anche in questo caso, come abbiamo osservato poco sopra, l'evento dovrà prodursi (entro una serie opportuna di ripetizioni) con una frequenza che non si discosta dalla probabilità prevista più di quanto sia ammesso dai “margini di variabilità” pertinenti, del tutto analoghi ai “margini d'errore” che si accettano in qualunque scienza sperimentale.

Passando da una scienza all'altra cambiano le forme e il rigore dei rispettivi determinismi. Per esempio, la medicina è in gran parte una

scienza empirica e in certa misura una scienza sperimentale, e grazie a ciò essa permette diagnosi, prognosi e terapie che presuppongono un determinismo di fondo; ossia, in presenza di tali sintomi si suppone l'esistenza di tale malattia, la cui terapia dovrebbe essere la seguente... È noto che ogni organismo ha caratteristiche peculiari, per cui un medicamento che serve a un ammalato può non servire a curare un altro affetto dalla stessa malattia, così come non è detto che certi sintomi siano sempre indicativi di una medesima malattia, specialmente apparendo in organismi diversi. Nonostante tutto ciò, la medicina ha compiuto e compie grandi progressi utilizzando opportune statistiche e, soprattutto, cercando di far *collaborare* dati provenienti da diverse fonti, e *competenze* provenienti da diversi rami, che consentono di *prevedere* in modo attendibile gli effetti di un certo trattamento e il raggiungimento dello scopo prefissato. Eppure nel caso degli organismi viventi la presenza di fenomeni non lineari è notevole, e l'imprevedibilità degli effetti di molte circostanze accidentali è elevata, ma ciò indica che la stessa indeterminatezza da essi derivante non impedisce *a un livello di sintesi più elevato* di recuperare una forma di determinismo *specifico e caratteristico* per quel livello e utilizzarlo per compiere previsioni. Potremmo ripetere discorsi analoghi anche per certe scienze umane, come l'economia o la sociologia, ma ci basti osservare che perfino nel caso di quella disciplina che ci è servita come punto di partenza per discorrere della non linearità, ossia della meteorologia, tentavi di previsione relativamente attendibili si sanno effettuare ricorrendo a opportuni stratagemmi, il più comune dei quali (noto come “previsioni di gruppo”) consiste nel fare un numero notevole di “simulazioni” al computer dell'evoluzione delle condizioni atmosferiche, ciascuna con valori iniziali leggermente diversi: quanto più le traiettorie tendono a rimanere vicine, tanto più la previsione è affidabile, mentre quando iniziano a divergere significa che la predicibilità si sta perdendo.

2.3 Complessità e prospettiva olistica: il tutto e le parti

Vogliamo ora passare a un'altra “tematica” connessa con la complessità, che è di natura più intuitiva e che abbiamo già in qualche modo anticipato quando abbiamo legato questa nozione all'idea di un sistema organizzato, strutturato, diverso da una pura *molteplicità* costituita da *elementi* sostanzialmente *dello stesso tipo*. Non a caso, anche i pochi esempi qui offerti di “determinismi” che non scom-

paiono, ma si presentano in forme e con caratteristiche specifiche a seconda dei vari “livelli” considerati, sono tratti da discipline i cui oggetti di studio comportano la considerazione simultanea di parecchie “sottounità”, ciascuna delle quali possiede i suoi determinismi e allo stesso tempo le sue sorgenti di non linearità, instabilità e imprevedibilità. Da questo punto di vista, la relazione che lega i componenti di un oggetto o processo complesso con questo medesimo oggetto considerato come un’unità non è la relazione di “appartenenza di un elemento a un insieme”, bensì quella del rapporto fra “il tutto e le sue parti”, e cercheremo ora di chiarire le differenze.

Nella teoria degli insiemi la costruzione assiomatica si può fare utilizzando come uniche nozioni primitive quella di elemento e la relazione di appartenenza di un elemento a un insieme. Ciò significa che la *natura degli elementi* è del tutto irrilevante, e che essi non si suppongono dotati nemmeno di strutture o relazioni interne. Potremmo dire che l’ontologia della teoria degli insiemi (ossia il tipo di enti che essa presuppone) è di tipo *atomistico*. Viceversa se consideriamo, per esempio, un organismo vivente, esso si concepisce naturalmente come costituito da “parti” e non già da “elementi”, e queste sono i vari “organi”, tutti diversi fra loro, caratterizzati da strutture e funzioni specifiche e nello stesso tempo connessi e concorrenti a costituire un’unità, ossia un *tutto* esso pure dotato di sue proprietà complessive (la più notevole delle quali è appunto la vita). Per di più, anche queste parti sono a loro volta un “tutto” rispetto ad altre parti che entrano a costituirle. L’ontologia sottostante a questa concezione è di tipo *olistico* (dal greco *ólon* che significa “tutto”). Nella prospettiva olistica la struttura e le funzioni delle parti sono di notevole importanza, e le relazioni fra parti e tutto non sono di semplice appartenenza, bensì di correlazione, interazione, e riposano altresì su altre relazioni che si istituiscono fra le diverse parti. Come risultato di tutte queste relazioni, si suol dire che ciascun tutto è *più che la somma delle sue parti* nel senso che gode di proprietà di cui non gode nessuna delle sue parti e non risulta neppure da una sorta di somma o combinazione di esse (troviamo qui quella caratteristica di *novità* o *creatività* di cui già si è detto in precedenza).

Il punto di vista olistico è sempre stato implicitamente sotteso alle scienze del vivente, ma soltanto nel Novecento esso è emerso con forza ed esplicitzza, proiettando una luce nuova su molti problemi e dando luogo a elaborazioni concettuali raffinate che si possono a buon diritto considerare come chiarimenti e sviluppi della nozione

di complessità al di là delle trattazioni della medesima dal punto di vista computazionale. Non possiamo qui entrare in dettagli e ci limiteremo a menzionare alcune tematiche in cui questi punti di vista olistici si sono mostrati particolarmente fecondi. Possiamo incominciare con la nozione oggi assai utilizzata di *ecosistema*: si tratta di un “tutto”? E, in tal caso, di un tutto fisicamente dato, oppure solo concettualmente costruito? Posto che lo sia, si tratta di un tutto semplicemente “strutturato”, oppure anche “gerarchizzato” (ossia costituito da una pluralità di livelli)? In che senso si potrebbe applicare all’ecosistema il principio che il tutto è più che la somma delle sue parti? Proseguiamo poi considerando come varia l’applicazione della nozione di causalità nel caso dei sistemi complessi: nei sistemi trattati dalla fisica tradizionale si avevano azioni causali fra singoli elementi, ma ci si era dovuti render conto che, quando queste azioni si “sommano” per il fatto che gli elementi aumentano di numero (problema “dei tre corpi” già visto), l’azione causale diventa intrattabile matematicamente, per quanto non si possa dire che si è in presenza di una “causalità globale”. Nel caso dei sistemi complessi, invece, non solo si riconosce che azioni causali hanno luogo separatamente fra le diverse parti del tutto, ma anche che ogni parte esercita sul tutto e riceve dal tutto un’azione causale. Si instaura in tal modo una sorta di “circularità” dell’azione causale che costituisce un’interessante novità rispetto non soltanto alla scienza, ma anche alla filosofia tradizionale e che merita un’analisi attenta e pertinente. Una questione importante è quella della “decomposizione” delle funzioni, indispensabile in particolare nella progettazione e costruzione di “macchine” o artefatti suscettibili di imitare o “emulare” organismi viventi; anch’essa è direttamente legata al concetto di complessità. Per cambiare di tema possiamo accennare al fatto che anche un fenomeno psichico come la memoria viene discusso in termini di tutto e parti, e si è tentato di introdurre una “dissociazione funzionale” della memoria (come di altri sistemi cognitivi), trovandosi nella necessità di salvaguardarne comunque una certa unità (altro esempio di intervento della tematica della complessità). Un vastissimo terreno si aprirebbe se volessimo entrare a discutere il ruolo della complessità nel campo della chimica, ruolo che tocca direttamente il “tipo di esistenza” degli oggetti chimici e, quindi, l’ontologia della chimica come distinta, per esempio, da quella della fisica. Termineremo menzionando ampliamenti verso orizzonti ancor più vasti, il primo dei quali è costituito dalla moderna *cosmologia*. In che senso l’uni-

verso si può considerare come un “tutto”? In tal caso, quali ne sono le parti? Il fatto che in concreto la moderna cosmologia studi l’universo utilizzando come fonti conoscitive soltanto le teorie della fisica (relatività generale e teoria dei quanti) non è forse in contrasto con la complessità che l’universo evidentemente possiede (da un certo punto di vista dovrebbe essere l’oggetto più complesso di tutti)? Perfino nel caso della struttura conoscitiva delle scienze si può porre la domanda se esse costituiscano un tutto complesso o meno e, in tal caso, quali sarebbero le loro parti e in base a quali caratteristiche autonome si distinguono e tuttavia collaborano (questione di un olismo epistemologico diverso da un riduzionismo monistico). Non siamo interessati a proseguire questo elenco semplicemente indicativo e fugacissimo, dal momento che quanto esposto ci conduce direttamente a trattare di un’altra fondamentale nozione e prospettiva che caratterizza la scienza contemporanea ed è strettissimamente apparentata con il concetto di complessità, ossia la nozione di *sistema*, la quale costituisce forse il modo più adeguato per tradurre e precisare il punto di vista olistico e la concezione dei rapporti fra tutto e parti. Prima di occuparci di tale nozione ci sembra opportuno soffermarci a considerare le conseguenze sul *modo generale di concepire la scienza* che hanno avuto le nuove prospettive indeterministiche legate alla complessità, ma non soltanto a questa.

3. La scienza come conoscenza “fallibile”

Vari fattori, che siamo venuti presentando quasi in tappe progressive, hanno contribuito a mutare profondamente il modo di concepire la scienza, e non soltanto la scienza naturale, ma addirittura quel modo di concepirla che l’ha accompagnata sin dagli inizi della cultura occidentale, quando scienza era sinonimo (come abbiamo visto all’inizio) di *sapere* in senso pieno. Sin da quei lontani tempi il sapere autentico era pensato come una *conoscenza certa* e i diversi criteri di scientificità via via proposti avevano il compito di assicurare delle garanzie di certezza al conoscere, sia che si trattasse della certezza offerta dall’evidenza immediata dei primi principi, sia che si trattasse di quella assicurata dalle rigorose dimostrazioni logiche. La scienza moderna non aveva per nulla rinunciato a una simile caratteristica e, in particolare, la rivoluzione galileiana era consistita nel cercare di assicurarla (nello studio della natura), mediante una rigida *delimitazione del campo d’indagine* e l’adozione di appro-

priati strumenti *metodologici*. Anche Kant aveva insistito nel riconoscere come caratteristica fondamentale della scientificità (ossia della autenticità del conoscere) quella della certezza, assicurata, secondo lui, dall’intervento delle forme trascendentali della ragione nella determinazione degli oggetti del conoscere (purché ridotti alla sfera dei fenomeni sensibilmente accessibili). Il significato storico dello *scien-tismo* positivista ottocentesco era quello di auspicare una progressiva dilatazione del tipo di conoscenza scientifica alla totalità dei problemi umani, proprio perché in tal modo si sarebbe potuta sfruttare la certezza dei risultati e dei metodi scientifici non soltanto per conoscere il mondo e la società, ma anche per compiere in modo sicuro le scelte destinate ad assicurare il progresso dell’umanità e adottare le strategie adatte a realizzarle.

Parlando della “crisi” delle scienze esatte manifestatasi già alla fine dell’Ottocento abbiamo assistito a un inizio di sgretolamento di questa fiducia nella certezza del sapere scientifico, crisi determinata in buona misura dal venir meno del sostegno della *intuizione* intellettuale nel campo delle matematiche e della stessa scienza fisica, ormai obbligata a occuparsi sempre più a fondo del mondo dell’*inosservabile*. L’autentico terremoto provocato dalla comparsa quasi simultanea della fisica quantistica e della teoria della relatività agli inizi del Novecento era stato interpretato come la prova che la fisica detta “classica” si era dimostrata *falsa*, pur avendo goduto di due secoli ininterrotti di conferme sperimentali e di trionfi interpretativi nei campi più disparati e pur avendo avuto il privilegio delle più splendide formulazioni matematiche. Come si poteva, di fronte a un evento epocale di tal genere, continuare a ritenere che la scienza offrissi un sapere *certo*? Che le teorie scientifiche che stavano nascendo sarebbero state finalmente quelle vere? Infatti, come si è già visto, autori come Mach e, in senso non altrettanto forte, come Poincaré e vari altri inclinarono verso una concezione della scienza che o le negava addirittura un’autentica portata conoscitiva, oppure la limitava fortemente, sottolineando il carattere sostanzialmente convenzionale e pragmaticamente utile delle sue costruzioni. In altri termini, già agli inizi del Novecento quella che possiamo chiamare scienza *contemporanea* si distingueva dalla scienza *moderna* per il fatto di riconoscere come sua caratteristica la *fallibilità* piuttosto che la *certezza*. La consacrazione più nota di questa concezione è costituita dalla filosofia della scienza di Karl Popper (1902-1994) il quale, agli inizi degli anni Trenta del Novecento, criticava le tesi del neopositivismo del Cir-

colo di Vienna sottolineando (in base ad argomenti molto semplici di pura logica formale) che le ipotesi scientifiche non possono mai essere riconosciute come “vere” in forza delle conferme sperimentali, poiché queste ultime riguardano sempre e soltanto le loro “conseguenze logiche” ed è ben noto che la verità delle conseguenze non assicura in modo certo la verità delle premesse, mentre la falsità di una conseguenza è sufficiente per asserire la falsità di almeno una delle premesse da cui è stata dedotta. Ebbene, la scienza, secondo Popper, si caratterizza rispetto ad altre imprese conoscitive proprio per il fatto di sottoporsi a questa procedura di “falsificazione” che consiste, di fronte a un *problema* conoscitivo, nel formulare una *congettura* capace di risolverlo ma, nello stesso tempo, di porsi alla ricerca di possibili situazioni sperimentali che potrebbero “falsificare” la congettura stessa. Se questa resiste a tali ripetuti sforzi, la si può ritenere “corroborata”, ma mai definitivamente stabilita con *certezza*. La scienza può soltanto accrescere il livello di “verosimiglianza” delle sue conquiste conoscitive, ma non può mai fregiarsi del titolo di conoscenza vera e certa. Presto o tardi (come del resto mostra la storia della scienza) ogni teoria scientifica viene “refutata” e abbandonata e non v’è alcuna ragione per ritenere che questo modo di avanzare debba arrestarsi a un certo punto: la *ricerca* non ha mai fine. Queste tesi erano sviluppate da Popper già in un’opera uscita a Vienna nel 1934 col titolo significativo di *Logik der Forschung* che, tradotto correttamente, significa *Logica della ricerca* ma che è poi stato tradotto, dapprima in inglese e poi in altre lingue compreso l’italiano, come *Logica della scoperta scientifica*,¹⁴ un titolo che è certamente più attraente dal punto di vista pubblicitario, ma banalizza in fondo la novità della sua concezione della scienza. Novità, appunto, che possiamo collocare nella sostituzione dell’ideale della scoperta con quello più modesto della ricerca, come vedremo fra poco. Vale per altro la pena di osservare che questa concezione era stata anticipata in modo molto significativo da un filosofo americano di notevole statura, Charles Sander Peirce (1839-1914), il fondatore della corrente filosofica nota come pragmatismo e autore di notevoli contributi nel campo della logica, della semiotica, della filosofia della scienza. A lui, in particolare, si deve l’introduzione del termine “fallibilismo” specificamente adottato a proposito della scienza ed esteso più in generale a ogni impresa conoscitiva unicamente fondata sulla ragione. In un testo pubblicato nella

¹⁴ K. Popper, *Logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1998.

raccolta dei suoi scritti sotto il titolo “L’atteggiamento scientifico e il fallibilismo” (e nel quale sono fusi appunti e note manoscritte redatti fra il 1896 e il 1899) compare esplicitamente la dizione “dottrina del fallibilismo” che viene ampiamente illustrata; una sua rapida caratterizzazione è la seguente: “Ci sono tre cose che non possiamo mai sperare di raggiungere mediante la ragione, cioè, assoluta certezza, assoluta esattezza, assoluta universalità [...] e non esiste certamente altro mezzo mediante cui si possano raggiungere”.¹⁵ Questa caratterizzazione viene applicata da Peirce non alla presentazione delle scienze operate nei manuali e nelle sistemazioni istituzionalizzate, bensì all’attività viva della ricerca scientifica in atto e movimento.

Le ragioni addotte da Peirce a sostegno del fallibilismo riposano sostanzialmente sul fatto che la conoscenza scientifica disponibile in ogni momento può basarsi soltanto su un campione molto limitato di dati e teorie, dal quale estraiamo generalizzazioni che non possono mai raggiungere la certezza della loro indefinita validità rispetto all’immenso campo che in ogni disciplina rimane da esplorare. Senza negare la validità di queste ragioni, possiamo menzionare, dopo quanto esposto nelle pagine precedenti, altre ragioni che venivano ad aggiungersi: in primo luogo la *crisi del determinismo* insita nella presa di coscienza dei fenomeni *complessi*, che (come si è visto) vanificava proprio ogni pretesa di assoluta esattezza, di previsioni certe e di universalizzazioni garantite. Tutto ciò, come in certa misura abbiamo visto, non determinava affatto una paralisi della ragione, ma la costringeva a sviluppare nuovi atteggiamenti, nuovi punti di vista, in cui il nuovo da scoprire non veniva più pensato come l’esplorazione di un medesimo territorio ancora sconosciuto nei dettagli ma idealmente affine a quello già esplorato, bensì come la necessità di entrare in contatto con territori di tipo nuovo, di correlare ambiti diversi, di cercare unità fatte di correlazioni piuttosto che di riduzioni. È per l’appunto quanto la scienza del Novecento si accingeva a fare attraverso la costruzione di discipline nuove, quali la teoria dei sistemi, la cibernetica, l’informatica, utilizzando anche una nuova metodologia basata sull’adozioni dei concetti di tali scienze, ossia quella dell’interdisciplinarietà. Di ciò passeremo ora a occuparci, ma prima di farlo vogliamo sottolineare un notevole aspetto di “autonomizzazione” che la scienza contemporanea viene in tal modo assumendo e che, paradossalmente, condurrà nella seconda metà

¹⁵ *Philosophical Writings of Peirce*, a cura di J. Buchler, Dover, New York 1955, p. 56.

del Novecento addirittura a porre in dubbio la sua capacità di assolvere a quello che da sempre è apparso come il compito essenziale del sapere, ossia quello di *farci conoscere la realtà*.

Dall'antichità fino al Rinascimento la scienza è in sostanza un conoscere che ha per oggetto la Natura e, pertanto, accetta tacitamente come presupposto che questa Natura esista e sia in se stessa ben definita e invariabile: si tratta di scoprire "ciò che essa è", ossia di coglierne l'essenza. In questa impresa l'uomo procede armato delle sue capacità naturali di *osservazione* e di *ragionamento* e, al massimo, può cimentare le proprie affermazioni discutendole a confronto con quelle di altri uomini, senza ancora pensare che si possa per davvero "porre domande alla Natura" e forzarla artificialmente a rispondere. Su questo preciso punto, la "rivoluzione galileiana" rompe solo parzialmente. È ben vero, infatti, che Galileo dichiara esplicitamente che, nel caso delle "sustanze naturali", è impresa disperata cercar "speculando" di "tentar le essenze", e che è più fruttuoso accontentarsi di conoscere soltanto "alcune loro affezioni". Tuttavia è non meno vero che queste affezioni sono da lui considerate reali ("accidenti reali") e che il compito dell'impresa scientifica permane quello di scoprire la "vera costituzione dell'universo", costituzione che, secondo lui, si coglie concentrando appunto la ricerca sugli accidenti matematizzabili. La diffidenza verso le qualità sensibili, già presente in Galileo, viene poi accentuata dai successori e diviene un cavallo di battaglia di Cartesio, cosicché prende corpo la convinzione che la vera sostanza della Natura è costituita da un insieme di *leggi matematiche*, che si deve esser capaci di scoprire "dietro" i fenomeni sensibili. Ma per giungere a ciò non basta (anzi, secondo alcuni, addirittura non serve) l'osservazione: occorre passare all'*esperimento*, cioè a quella domanda artificiale posta direttamente alla Natura, che la obbliga a svelarci quanto la semplice osservazione sensibile, occultando la purezza della struttura matematica sottostante, non ci permetterebbe mai di cogliere. Con ciò, non più i sensi, ma l'*intelletto* diviene il vero strumento di conoscenza della Natura. Iniziava in tal modo un cammino i cui esiti sono diventati sempre più palesi man mano che si procedeva verso quella che possiamo chiamare la scienza "contemporanea". Questa (preparata in ciò dagli sviluppi della scienza ottocentesca) presenta un volto diverso: essa non ha più per oggetto diretto la Natura, bensì quello spesso strato di mediazioni che la scienza stessa è venuta costituendo, mediante la costruzione di modelli, mediante complesse elaborazioni teoriche,

mediante il concorso di tecnologie sempre più raffinate e "artificiali". Se la scienza antica poteva considerarsi ispirata all'ideale dell'*osservazione*, e quella moderna all'ideale della *scoperta*, la scienza attuale viene significativamente presentata come *ricerca*, vale a dire come un'attività che si innesta su quanto già la scienza ha costruito, ma non già a titolo di patrimonio sicuramente acquisito, bensì come insieme di costrutti rivedibili, criticabili, abbandonabili. La scienza si alimenta della scienza stessa, si autocorregge, trova nell'interscambio tra una disciplina e l'altra gli strumenti, i suggerimenti, i modelli per proseguire, o per cambiare radicalmente di impostazione. I nuovi problemi nascono dalle stesse soluzioni date a problemi precedenti, e le loro soluzioni possono venire da fonti impensate, offerte da discipline che si ritenevano lontane. Lo scienziato che si inizia alla ricerca non viene "posto a contatto con la Natura", ma calato nel contesto di una disciplina, che diverrà ormai il suo *campo di ricerca*. In altri termini, la scienza non avverte più il bisogno di uscire da se stessa per continuare a vivere e svilupparsi, e persino i problemi della sua "fondazione" vengono sempre più affrontati e trattati al suo interno: essa stessa provvede a mutare i suoi concetti, a delimitare la loro portata, a crearne di nuovi, incurante degli scandali del senso comune e anche delle perplessità dei filosofi.

Quanto abbiamo detto equivale a riconoscere che la scienza contemporanea è ormai pervenuta a costituirsi come *sistema autonomo*, in quanto costruisce per conto proprio il campo dei suoi oggetti e, per quanto ci siamo limitati a parlare delle scienze della Natura, un discorso perfettamente analogo si potrebbe ripetere anche a proposito delle scienze umane. Ritorneremo più avanti su questa caratteristica di "sistema autonomo" raggiunta dalla scienza attuale, per discutere del rischio che essa si eriga a "sistema chiuso", e per il momento vogliamo considerare come qualcosa di analogo si sia prodotto anche per quanto concerne la tecnica, trapassata ormai al livello di tecnologia nel senso chiarito in precedenza. Ma questo discorso potrà esser svolto in modo più chiaro dopo aver trattato proprio della "teoria dei sistemi".

4. La teoria generale dei sistemi

La teoria dei sistemi è relativamente giovane, avendo preso quota nella seconda metà del Novecento, e si è venuta a trovare inizialmente al centro di vivaci dibattiti e polemiche. La cosa non

stupisce, poiché ogni disciplina “nuova” deve affrontare un dibattito più o meno polemico per riuscire ad affermare i suoi titoli di scientificità. Qualcuno potrebbe osservare che una situazione di questo tipo non è poi così generale, poiché il secolo scorso ha anche visto sorgere e svilupparsi parecchie discipline scientifiche nuove in modo poco o per nulla contestato. È vero, ma tutto dipende, per così dire, dal grado di intensità con cui si trovano combinate le pretese di scientificità con quelle di novità: in altri termini, la reazione istintiva della comunità scientifica, di fronte a una nuova disciplina, parrebbe essere quella di affermare che, se essa è veramente nuova, non è scienza e che, se essa è veramente scienza, non è nuova. Quando la novità si presenta non già nel senso di “un nuovo sviluppo” di un quadro esistente, ma nel più impegnativo senso di riuscire a fare un discorso che nel quadro precedente “non trova posto”, allora la reazione più diffusa è quella di dire che le pretese novità sono in realtà delle estrapolazioni o delle divagazioni “non scientifiche”. La teoria dei sistemi si è trovata per l'appunto a essere oggetto di controversia non tanto per i suoi contenuti, quanto piuttosto perché ha inteso presentarsi come un modo di concettualizzare e di teorizzare che voleva essere “nuovo” rispetto a criteri di scientificità collaudati e affermati, ma da essa ritenuti troppo ristretti.

Queste cose vanno dette e capite chiaramente, perché la nozione di sistema non è certo nata nel Novecento; essa è di uso molto antico e si trova impiegata tanto per designare costruzioni intellettuali logicamente coerenti e ordinate (si pensi alla nozione comunissima di “sistema filosofico”), quanto per denotare insiemi di oggetti e fenomeni essi pure soggetti a un ordine rigoroso: così, per esempio, il libro finale dei *Principi* di Newton si intitola “Il sistema del mondo”, e tratta in realtà di quello che, comunque, noi continuiamo a chiamare il “sistema planetario solare”, mentre l'opera fondamentale di Linneo si intitola *Il sistema della natura*. Gli esempi si potrebbero facilmente moltiplicare. Allora, perché tanta diffidenza nell'accogliere una “teoria dei sistemi”? Perché il concetto di sistema veniva utilizzato in un senso in buona parte nuovo e perfino alternativo rispetto a quello tradizionale. Quest'ultimo, infatti, corrispondeva a quella esigenza di *unificazione*, di *riduzione del molteplice all'uno*, di cui abbiamo già discusso in precedenza, che aveva trovato la sua espressione più compiuta nel riduzionismo determinista della meccanica (non è un caso che i comuni trattati di “meccanica razionale”, dopo il capitolo iniziale dedicato alla “meccanica del punto”, passino alla

“meccanica dei sistemi”, intesi come insiemi di punti materiali soggetti alle forze meccaniche). Viceversa la nuova teoria dei sistemi voleva essere un tentativo di comprendere il ruolo della *diversificazione* e il peculiare tipo di unità strutturata e ordinata che essa comporta.

Volendo accennare brevemente agli elementi fondamentali che caratterizzano la teoria dei sistemi, potremmo dire che essa ha dato un inquadramento e una trattazione rigorosa e armonica a una serie di nozioni, come quella di totalità ordinata, di funzionalità, di struttura gerarchizzata, di organismo, di sviluppo, di adattamento, di interrelazione tra individuo e ambiente, di centralizzazione, di autoconservazione, di processo finalizzato, le quali sono di impiego frequente e indispensabile in parecchie scienze (da quelle biologiche, a quelle psicologiche, a quelle sociali), ma che erano state usate in esse con un significato quasi esclusivamente intuitivo, o poco più precisato rispetto al loro uso in seno al linguaggio comune. Effettivamente, un'opinione diffusa fino a non molto tempo fa era che concetti di questo genere si potessero in sostanza “tollerare” entro certe scienze come modi figurati di parlare, data anche la relativa mancanza di maturità di queste. Il sottinteso più o meno tacito era però che, con l'avvento di tale maturità, questi concetti sarebbero dovuti sparire, o per lo meno risultare analizzabili senza residui in termini dei predicati scientifici “rigorosi” delle discipline fisico-chimiche. La teoria dei sistemi esprime invece il punto di vista che una tale caratterizzazione sulla base di parametri concettuali delle discipline fisico-chimiche possa riuscire solo in modo rudimentale e profondamente inadeguato e tenta quindi una rigorizzazione “diretta” di quei concetti, tenendosi volutamente su un piano di generalità. Proprio questa generalità, d'altro canto, è apparsa a molti criticabile, perché sembra contraddire quel requisito di precisazione degli ambiti e di circoscrizione del discorso, che viene non a torto ritenuto uno dei caratteri distintivi dell'esattezza scientifica. Su questo punto occorre però una certa chiarezza d'idee: di fatto, ciò a cui si assiste è assai spesso una definizione di concetti accurata entro un ambito circoscritto, cui segue però una generalizzazione tutt'altro che critica e accurata di tali concetti al di fuori di quell'ambito. Le esigenze della generalità non vengono pertanto eliminate, ma indebitamente soddisfatte attraverso una gratuita “generalizzazione del particolare”. È meglio, allora, trattare il particolare come particolare e il generale come generale, vedendo se anche di quest'ultimo si riesca a dare una caratterizzazione non vaga.

È quanto appunto cerca di fare la teoria dei sistemi la quale, prendendo atto della circostanza che i concetti sopra menzionati sono impiegati in vari campi di ricerca, tenta di precisarli con quel grado di astrattezza che consenta di non assumere una sola disciplina come “paradigma” di tutte le altre. Molto presto, infatti, essa è stata chiamata dai suoi cultori *teoria generale dei sistemi*. Pertanto, quando si prendono le difese di questa teoria sottolineando le possibilità applicative che essa ha rivelato nella costruzione di modelli per realtà o processi caratterizzati da alta complessità e da forte diversificazione nei tipi delle variabili in gioco, consentendo un loro inquadramento matematico e una loro trattazione tecnologica efficace, si dice cosa vera, ma forse non così essenziale. Le ragioni di forza della teoria dei sistemi stanno probabilmente nelle ottiche concettuali che essa ha aperto e chiarito, più ancora che nei risultati pratici che l'ingegneria dei sistemi e le tecniche di ottimizzazione di natura sistemica hanno permesso di raggiungere, per esempio, nella progettazione di impianti industriali, nella conduzione di imprese, nella pianificazione di reti distributive di vario genere, nella soluzione di problemi di traffico o di pianificazione urbanistica. Anche queste, a ogni modo, non si possono sottovalutare: espressioni come “ingegneria dei sistemi”, “analisi dei sistemi”, “ricerca dei sistemi” sono diventate da tempo denominazioni professionali; importanti imprese industriali e organizzazioni statali hanno dipartimenti, commissioni o almeno specialisti in qualcuna di queste branche e molte università offrono programmi e corsi per l'apprendimento a esse relativo.

Per la sua stessa aspirazione alla generalità, ma specialmente per essersi assunta il compito di rivendicare la legittimità di concetti del tipo precedentemente esemplificato, la teoria dei sistemi ha ben presto rivelato un vero interesse filosofico. Ciò risulta già dal fatto che quei concetti hanno alle loro spalle una storia complessa: largamente usati nella tradizione filosofica per interpretare diverse realtà naturali, o addirittura applicati (almeno alcuni di essi) alla natura nel suo complesso, essi erano stati progressivamente posti ai margini dell'attività conoscitiva per effetto dell'avanzare delle scienze fisico-sperimentali, che avevano drasticamente semplificato il quadro categoriale della scienza, lasciandovi spazio, sostanzialmente, soltanto per le categorie di quantità, di causalità e di azione reciproca (queste ultime, in particolare, specificate restrittivamente attraverso la nozione di forza), con l'aggiunta della nozione di processo casuale.

Il perdurare di quei concetti, dunque, veniva considerato in sostanza come una sopravvivenza “metafisica” destinata a scomparire col tempo.

La teoria dei sistemi, viceversa, sostiene che essi esprimono punti di vista sulla realtà i quali non si possono eliminare senza impoverirne arbitrariamente la ricchezza, e che si tratta non già di dimostrare la loro superfluità, bensì di precisarli ed esplicitarli in modo da renderli effettivamente fruibili sul piano conoscitivo. Già il vecchio vitalismo ottocentesco, infatti, aveva sottolineato non senza efficacia certi limiti e insufficienze delle pretese meccaniciste nell'interpretazione degli esseri viventi, ma non era poi riuscito a proporre una convincente alternativa a esse, perché l'aveva cercata in certi principi sostanziali (come la “forza vitale” o l’“entelechia”) invece che nell'elaborazione esatta di principi categoriali diversi da quelli meccanici. La teoria dei sistemi fa proprio questo e qui sta uno degli aspetti centrali del suo interesse filosofico.

Per concludere daremo qualche essenzialissimo cenno storico, semplicemente per giustificare l'affermazione, fatta in precedenza, che la teoria dei sistemi è disciplina recente. A parte, infatti, gli immancabili “precursori” agli inizi del Novecento, è corretto affermare che essa fu consapevolmente fondata, sviluppata e difesa per un certo periodo di tempo da un solo scienziato, Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), che esordì come biologo e iniziò proprio aderendo a quella nozione di “sistema” che già vigevo nella fisica tradizionale (come abbiamo visto), cercando nuovi modelli di organizzazione muovendo da uno studio dei *sistemi aperti*. Sullo slancio di queste ricerche, già nel 1934 Bertalanffy presenta, in un lavoro di biologia, le prime linee della sua teoria dei sistemi, e di lì incomincia a pensare a un'ulteriore generalizzazione, ossia: dopo aver esteso lo sguardo dai sistemi chiusi ai sistemi aperti, è possibile formulare una teoria generale dei sistemi? Si possono cioè descrivere caratteristiche e leggi che valgano per i sistemi di qualunque natura? Negli anni 1948-1950 egli pubblicò alcune importanti ed estese memorie scientifiche sulla *Teoria generale dei sistemi*, alla quale dedicò un trattato proprio con questo titolo che uscì nel 1969 ed ebbe ulteriori edizioni.¹⁶ Nel frattempo la teoria generale dei sistemi aveva attratto sempre maggiore attenzione e consensi, e si era addirittura costituita una specie

¹⁶ La traduzione italiana è: L. von Bertalanffy, *Teoria generale dei sistemi*, ILLI, Milano 1971.

di movimento dedicato a sviluppare e diffondere una “filosofia dei sistemi”.¹⁷ Ad accrescere la sua “rispettabilità” scientifica, inoltre, contribuivano anche trattazioni matematiche di notevole complessità (basti accennare a quelle riguardanti la teoria dei sistemi gerarchici a più livelli, che formalizza uno dei punti di vista centrali della teoria dei sistemi ossia, appunto, la concezione secondo cui un sistema è caratterizzato da livelli interagenti e disposti secondo un ordine gerarchico stabilito in base a criteri di complessità strutturale e funzionale). Passando poi nelle mani degli ingegneri, i diversi sistemi da loro studiati, progettati, realizzati esibiscono le stesse caratteristiche di matematizzazione e tecnicità che rivestono le più collaudate branche dell’ingegneria.

Tuttavia è lecito chiedersi se l’importanza della teoria dei sistemi è per davvero dipendente dalla capacità da essa mostrata di non sfigurare rispetto ai criteri “tradizionali” della scientificità, e qui sembra proprio di dover dire di no. Anzi, il suo aspetto di maggiore interesse e novità sta proprio nell’aver “rotto” quello schema tradizionale e, grazie a questo fatto, di aver introdotto prospettive nuove e feconde in molte discipline, non soltanto appartenenti alle scienze naturali. Abbiamo già menzionato alcune di esse; ricorderemo soltanto un esempio concreto: Gregory Bateson (1904-1980) aprì cammini nuovi nel campo dell’antropologia culturale e della psicologia (per non parlare d’altro), proprio ispirandosi alla teoria dei sistemi e la cosiddetta “scuola di Palo Alto” da lui fondata (e i cui meriti in campo psicologico sono riconosciuti specialmente per quanto riguarda il trattamento di certe psicosi e il campo della psicologia familiare) è essa pure ispirata a principi e metodologie di tipo sistemico.¹⁸

Per comprendere meglio il significato della teoria dei sistemi si deve a ogni modo tener conto di un’altra disciplina quasi coeva e con la quale gli intrecci sono stati fortissimi, la cibernetica e, inoltre, del contributo che proprio la teoria dei sistemi ha dato all’imporsi di una metodologia scientifica nuova, quella dell’interdisciplinarietà. Sono due temi di cui passiamo ora a occuparci.

¹⁷ L’autore che più si è dedicato alla promozione di questa prospettiva è Erwin Laszlo, che le ha dedicato parecchie opere, fra cui *Introduction to System Philosophy*, Harper Torchbooks, New York 1973.

¹⁸ Un’opera recente, nella quale sono poste in luce con chiarezza le nuove prospettive aperte dalla confluenza della teoria dei sistemi con la teoria della complessità mediante opportune illustrazioni dedicate a varie discipline scientifiche, è: Giovanni Villani, *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, Franco Angeli, Milano 2008.

5. La cibernetica e la teoria dell’informazione

5.1 La cibernetica

Anche il termine “cibernetica” ha radici molto lontane: nell’antichità greca indicava l’arte del timoniere (*kybernétes*), estesa analogicamente (da autori come Platone e Senofonte) anche a quella di “governare” in politica. Nel 1834, Ampère lo usa addirittura nella sua classificazione delle scienze. Tuttavia il significato moderno si è specificamente ristretto a quanto viene espresso nel titolo di una famosa opera del padre della moderna cibernetica (che rimise in circolazione il termine medesimo nel 1943), Norbert Wiener (1894-1964). Tale titolo suona: *Cibernetica, ovvero il controllo e la comunicazione nell’animale e nella macchina* (1948).¹⁹ Quando diciamo che il significato si è “ristretto” alludiamo soltanto a una delimitazione tematica, sotto la quale in realtà si è venuto sviluppando un ventaglio impressionante di applicazioni e discipline. Si può certo menzionare una specie di momento d’inizio concreto, costituito dal fatto che, durante la seconda guerra mondiale, Wiener e altri collaboratori erano stati impegnati in importanti progetti militari riguardanti l’uso di computer a fini balistici, in particolare per migliorare l’efficienza del puntamento dell’artiglieria antiaerea, basandosi sul calcolo della traiettoria del velivolo e sulla correzione del tiro conseguente al ritorno dell’informazione, rispetto al risultato del tiro precedente, fornito da un radar. A tal fine era necessario l’uso di un calcolatore che, elaborati rapidamente questi dati, inviasse *automaticamente*, al motore che azionava la torretta girevole del cannone, l’istruzione sul nuovo puntamento. Anche da questo schematico schizzo appaiono subito cose rilevanti. In primo luogo l’esistenza di calcolatori adeguatamente sviluppati, il che era stato possibile grazie al fatto che fin dal 1936 Alan Mathyson Turing (1912-1954) aveva saputo tradurre le fondamentali nozioni della *logica matematica* (riguardanti i sistemi formali e la computabilità) nella teoria di una macchina calcolatrice *universale* (nota appunto come *macchina di Turing*), alla cui struttura può ridursi quella di *qualunque calcolatore*. Basandosi su questi principi, e su idee che aveva elaborato anche Wiener, il grande logico, matematico e fisico John von Neumann

¹⁹ Edizione italiana, con tale titolo, presso Il Saggiatore, Milano 1982. Si tratta di un’opera la cui lettura richiede una preparazione matematica avanzata.

(1903-1957) aveva elaborato un modello rimasto poi definitivo per decenni, in cui si definisce l'architettura necessaria per realizzare un calcolatore di utilizzo generico (*general purpose*), ossia tale che il suo hardware (la sua costituzione materiale) risulti indipendente dal programma in esso installato. Con queste precondizioni fu possibile gettare le basi vere e proprie della cibernetica in un famoso incontro organizzato nel 1945 a Princeton da Wiener e von Neumann, e a cui parteciparono fisici, matematici, logici e ingegneri; da questo incontro uscì, cosa della massima importanza per il costituirsi di una nuova disciplina scientifica, la definizione esatta di alcuni concetti e la relativa terminologia (come quelli di "analogico", "digitale", "bit", "feedback"). Proprio alla definizione del concetto di *feedback* (tradotto in italiano spesso con "retroazione") si era dedicato negli anni immediatamente precedenti Wiener; questo è forse il concetto più fondamentale in cibernetica, unitamente a quello di *trasmissione dell'informazione* su cui pure il medesimo scienziato aveva lavorato negli stessi anni. Rispetto agli usuali programmi, che sono utilizzati per realizzare una ben determinata funzione, il feedback aggiunge la possibilità di un controllo che "retroagisce" sull'esecuzione del programma medesimo e, per così dire, gli consente di correggere gli errori (è ciò che accade, per esempio, in una vaschetta d'acqua munita di galleggiante che, quando è raggiunto un dato livello, interrompe il riempimento proveniente da una conduttura erogatrice; oppure quanto accade quando un termostato invia un comando elettrico che interrompe il funzionamento dell'impianto di riscaldamento quando una certa temperatura è raggiunta nell'ambiente, e lo rimette in funzione quando la temperatura scende al di sotto del livello prefissato). È questo il cosiddetto *feedback negativo* (in quanto si oppone alla crescita indefinita di una certa grandezza), grazie al quale i più svariati sistemi realizzano un *controllo automatico* che consente loro di conservare un certo tipo di equilibrio. Il *feedback positivo* è invece quello in cui quanto più aumenta il risultato, tanto più la retroalimentazione stimola l'incremento del processo. Sistemi in cui questo tipo di feedback non si possa limitare sono destinati alla perdita dell'equilibrio e alla disintegrazione.

Non è difficile rendersi conto che, parlando di cibernetica, abbiamo dovuto parlare spesso di "sistemi", e ciò conferma gli stretti legami fra questi settori, al punto che non di rado la teoria dei sistemi viene considerata un capitolo della cibernetica, il che si può anche ammettere se si considera che le relazioni fra sistemi e sottosistemi di

cui abbiamo trattato precedentemente sono in buona parte reazioni di feedback negativo. Va detto però che la trattazione sistemica aggiunge a ciò una prospettiva di *globalità* che di per sé non è implicita nei concetti cibernetici. Per altro verso questi sono indissolubilmente legati alla trasmissione dell'informazione, ossia alla *teoria dell'informazione*, le cui fondamenta furono gettate da un allievo di Wiener, Claude Shannon (1916-2001) a partire da una tesi di master nel 1937. Nel fondamentale lavoro *Teoria matematica della comunicazione* (1948) Shannon utilizza le ricerche di Wiener nel campo della probabilità per risolvere il problema del miglior modo di codificare l'informazione per trasmetterla. A partire da quel momento la teoria dell'informazione conosceva rapidissimi progressi tanto sul piano dell'elaborazione teorica quanto su quello delle applicazioni pratiche, al punto che non di rado la cibernetica viene considerata come un capitolo della teoria dell'informazione, in altri addirittura come coincidente con essa. Non è il caso di meravigliarsi di questi fenomeni, e nemmeno di cercare di introdurre più o meno sottili distinzioni. Ciò è la conseguenza del fatto che, come si è visto, queste nuove discipline sono talmente interconnesse da formare una vera e propria unità con molte facce e di costituire una chiave di lettura per una gamma svariatissima di fenomeni. Siamo partiti, infatti, considerando una semplice applicazione in campo militare, ma lo stesso Wiener passò ben presto a occuparsi di applicazioni della cibernetica allo studio dei viventi, collaborando con biologi e fisiologi in lavori pionieristici. Infatti egli osservò, in collaborazione con Julian Bigelow, che i meccanismi cibernetici da lui studiati per il puntamento automatico dell'artiglieria antiaerea (che implicano la fissazione di un obiettivo, il calcolo di una traiettoria successiva, la correzione di essa in funzione di un cambiamento dei dati) corrispondono a quelle caratteristiche di pianificazione, percezione, calcolo logico e matematico, previsione, correzione degli errori, memorizzazione, adattamento che si riscontrano nel *comportamento intenzionale* degli animali e degli esseri umani. Ulteriori collaborazioni con il neurofisiologo Arturo Rosenblueth misero in luce non solo le suddette affinità con il comportamento dell'uomo psichicamente normale, ma anche con il comportamento dell'individuo psichicamente perturbato, cosicché i tre studiosi poterono pubblicare nel 1943 un famoso articolo (*Comportamento, fine e teleologia*) in cui compare per la prima volta il termine "cibernetica" e in cui furono poste le basi teoriche di quella che, più tardi, fu chiamata *l'intelligenza artificiale*, secondo

due accezioni distinte: la prima, di tipo neuropsicologico (le basi fisiche dell'intelligenza sono riproducibili mediante opportuni meccanismi automatici), la seconda di tipo più direttamente psicologico (le grandi classi del comportamento sono le stesse nelle macchine e negli organismi viventi, per cui è sempre possibile costruire un automa capace di riprodurre gli stessi comportamenti umani).

È opportuno notare che queste teorie vennero esposte prima che nascesse la teoria dell'informazione strettamente intesa, la quale originò su un terreno diverso, ossia come risposta al problema di quantificare e misurare il contenuto di informazione dei messaggi, al fine di una loro efficace trasmissione (quindi come problema essenzialmente tecnico-ingegneristico, la cui soluzione fu ricercata principalmente sulle basi del calcolo delle probabilità, escludendo addirittura dal concetto di informazione ogni riferimento al significato), come ben dice il titolo dell'opera che si considera come il primo trattato in materia (C.E. Shannon e W. Weaver, *La teoria matematica della comunicazione*, 1949).

Sta di fatto, comunque, che tali sviluppi matematici si rivelarono essenziali per approfondire i concetti basilari della cibernetica e applicarli quindi nei più diversi campi. Tali campi abbracciano ormai la teoria e progettazione dei servomeccanismi, la tecnica delle telecomunicazioni, l'organizzazione aziendale, la costruzione di modelli in sociologia, economia, scienza politica, strategia militare, oltre ai settori già menzionati della fisiologia, neurologia e psicologia. Potremmo dire che la cibernetica si è mostrata come una "scienza di collegamento" fra discipline contenutisticamente molto diverse, ma nelle quali entrano in gioco alcune categorie essenziali della cibernetica, come il concetto di retroazione (feedback), il trasferimento di informazione (che marginalizza l'importanza del trasferimento di materia-energia), l'uso del ragionamento probabilistico. Proprio in ragione della centralità del concetto di informazione in questo ampio processo di generalizzazione, il termine "cibernetica" è oggi caduto abbastanza in disuso ed è stato fondamentalmente sostituito da quello di *informatica*, che è più generale di quello di "teoria dell'informazione" e copre, accanto ai contenuti di questa, anche la gamma dei vari aspetti tecnologici e applicativi che la cibernetica aveva già delineato. Si deve proprio a questo fatto se oggi l'intera società viene percepita (e lo è in effetto) come un grande "sistema" globale, in cui ciò che accade in un settore (scienza, tecnologia, politica, economia, ideologia, religione, mode, costumi) si riverbera rapidamente non

solo in tutto il mondo, ma anche da un settore all'altro, secondo dinamiche di adattamento e autoregolazione che sembrano sfuggire (e in gran parte sfuggono) a concrete possibilità di controllo diretto da parte degli uomini, alimentando un diffuso senso di fatalismo e ineluttabilità che può facilmente provocare un mutamento del senso della vita e una perdita di significato dell'idea di responsabilità personale. Ma su questi temi ci soffermeremo più avanti.

Proprio le ultime considerazioni permettono di cogliere una ragione fondamentale per la quale i sistemi di cui tratta la moderna teoria dei sistemi sono *concettualmente diversi* da quelli della fisica tradizionale: in essi trova esplicito posto l'*informazione*. Un sistema aperto, in altre parole, non è più soltanto quello che ha con l'esterno uno scambio di materia ed energia, ma ha anche uno scambio di informazione e ciò si riflette puntualmente nei successi che la teoria dei sistemi e la cibernetica hanno nell'interpretazione dei sistemi biologici, psicologici e anche sociali. Tanto per dare un esempio: quando si schematizza la struttura di un'impresa ricorrendo alla teoria dei sistemi gerarchici a più livelli e in base a essa si studiano i migliori organigrammi e distribuzioni di risorse e funzioni, le relazioni tra i vari livelli non si riducono al fatto che risorse finanziarie, materiali e umane debbono essere "razionalmente" ripartite, ma risulta importante anche lo studio del fatto che "dall'alto" partono verso i livelli inferiori ordini e istruzioni (ossia informazioni), e anche che "dal basso" risalgono verso l'alto *informazioni* che rendono possibile il *controllo* ed eventualmente la correzione delle strategie decisionali.

5.2 Applicazioni dell'informatica: informatica e scienza del vivente

Avendo già dichiarato che le applicazioni dell'informatica sono molteplici e dei tipi più diversi, ci accontenteremo di indicarne alcune fra quelle che hanno aperto gli orizzonti più nuovi e originali.

Ci limiteremo ora ad accennare all'analisi di quei rapporti tra informatica e interpretazione del vivente che già abbiamo visto emergere esplicitamente sin dalle origini della cibernetica. L'impiego di concetti tratti dalla "ingegneria dei sistemi", come già abbiamo ricordato, ha permesso di progredire nella *comprensione* dei processi che avvengono negli organismi viventi e che già erano stati individuati e descritti in precedenza, quali l'*omeostasi*, elaborata in modo adeguato, come già si è detto, specialmente dal fisiologo Walter Cannon che pubblicò nel 1932 una celebre opera dal titolo *La saggezza del cor-*

po), ma meglio *compresa* utilizzando in modo esplicito lo schema cibernetic del feedback negativo, che permise addirittura la proposta di un modello non biologico con il famoso “omeostato” di Ross Ashby (pure da noi già ricordato), in cui vengono stabiliti degli intervalli entro cui debbono permanere i valori delle variabili di un elementare sistema di circuiti elettromagnetici, e indicati i meccanismi che riconducono il sistema a quei valori quando sia perturbato in modo arbitrario. Ashby presentò il suo dispositivo non solo come costruito interessante di per sé, ma anche come interpretazione adeguata dell’omeostasi biologica, e allargò la sua prospettiva anche all’interpretazione del cervello e del pensiero (abbiamo già citato il suo libro *Progetto per un cervello*). Sviluppando questa linea di ricerca, William Grey Walter (1910-1977) iniziò la ricca serie delle costruzioni di “animali sintetici”, ossia di automi capaci di esibire fototropismi, riflessi condizionati, comportamenti adattativi risultanti da apprendimento per tentativi ed errori e via dicendo, mentre altri ricercatori – fra i primi vanno citati Warren McCulloch (1898-1969) e Walter Pitts (1923-1968?) – sin dal 1943, utilizzando le teorie della logica matematica del tempo, si dedicarono alla progettazione di reti logiche, realizzate mediante componenti elettronici, in grado di imitare le funzioni della rete nervosa e le attività logico-matematiche e percettive dell’uomo, nonché il riconoscimento delle forme e certe funzioni degli organi di senso. Era in tal modo aperta la strada a un’imponente serie di sviluppi che, oggi, fanno parte del vasto campo dell’*intelligenza artificiale* e che sono venuti sfruttando i rapidi progressi realizzati nel campo della progettazione e costruzione dei *calcolatori elettronici*.

5.3 Applicazioni dell’informatica: l’intelligenza artificiale

È opportuno introdurre una distinzione fra due aspetti che convivono sin dalle origini nell’intreccio tra informatica e bio-psicologia e che interessano, in particolare, il campo dell’intelligenza artificiale. Li chiameremo rispettivamente il programma dell’*emulazione* e il programma dell’*imitazione* dei processi bio-psichici mediante calcolatori (non ci piace usare il termine corrente di *simulazione*, un anglicismo che, in italiano, implicherebbe quel significato negativo che si accompagna al concetto di “simulare” qualcosa occultando la verità). Da un punto di vista strettamente ingegneristico, l’intelligenza artificiale si propone di fornire macchine capaci di “emulare” le at-

tività del pensiero umano, ossia di raggiungere certi *risultati* delle attività di pensiero in modo più rapido, affidabile, efficiente di quanto possa fare l’uomo usando la sua intelligenza (per esempio, eseguire calcoli complessi, tenere sotto controllo numerosi parametri, risolvere in modo approssimato equazioni differenziali o sistemi di equazioni, memorizzare, catalogare e recuperare quantità enormi di dati e via dicendo). Per far ciò ci si avvale di conoscenze tratte dall’informatica, dalla logica, dall’elettronica, dalla matematica, dalla tecnologia della miniaturizzazione, e così via, senza bisogno di fare appello a conoscenze circa la mente e neppure il cervello: la macchina raggiunge quei risultati *alla sua maniera* e lo fa meglio di noi quando ci applichiamo ai medesimi compiti *alla nostra maniera*. Diremo che, da questo punto di vista, l’intelligenza artificiale non presenta un vero *impatto antropologico*.

Diversa è la situazione quando, attraverso i calcolatori, si intenda *imitare la costituzione e il modo di funzionare* del vivente e dell’uomo, perché in tal caso entriamo anche sul terreno della *comprensione e della spiegazione* della natura del vivente e dell’uomo, ossia proponiamo un *modello esplicativo* cui è facilissimo attribuire un senso riduzionistico: il vivente “non è altro che” un calcolatore molto complesso; il pensiero “non è altro che” un sistema di simboli recanti una informazione trasformata, elaborata e tradotta da quel particolare calcolatore che è il cervello. Dal momento, però, che la comprensione della struttura e del funzionamento di un calcolatore è ottenibile sulla base esclusiva delle *scienze fisiche*, corredate dalle conoscenze *formali* dell’informatica, ne segue che questo uso “imitativo” veicola facilmente una *concezione fisicalista* del vivente e dell’uomo, il che ha ovviamente un *impatto antropologico* di grande portata.

Riprenderemo in esame più avanti questi aspetti più filosofici delle ricerche sull’intelligenza artificiale. Qui ci basterà segnalare che esse rientrano in un tipo di indagini più vasto, che prende il nome di *bionica* (termine risultato dalla fusione di *biologia* ed *elettronica*): questa si propone di sfruttare le conoscenze ottenute circa sistemi e organismi viventi, analizzate in termini informatici, al fine di teorizzare e realizzare automi capaci di imitarle. Per esempio, il pipistrello è dotato di un elevato potere risolutivo del suo radar acustico, che è interessante comprendere nel suo funzionamento per realizzare apparecchi in grado di approssimare le sue prestazioni; oppure, i viventi esibiscono, come già osservato, un elevatissimo grado di adat-

tabilità al mutare di condizioni ambientali avverse, ossia posseggono una “affidabilità” (come si suol dire) che siamo ancora ben lungi dal conseguire negli apparati artificiali che realizziamo. Nel tentativo di comprendere le ragioni di tale affidabilità, già von Neumann aveva ipotizzato (1952) che essa fosse legata a una notevole “ridondanza” degli elementi costitutivi e che, per esempio, il numero elevatissimo dei neuroni presenti nel nostro sistema nervoso fosse la ragione della sua capacità di funzionare affidabilmente anche in presenza di lesioni ad alcuni di essi. Ciò faceva sorgere, ovviamente, l’interesse tecnico di come realizzare per “imitazione” una simile ridondanza nei sistemi artificiali. Rientrano in questo tipo di programma i numerosi studi dedicati all’imitazione (attraverso calcolatori opportunamente programmati) di processi di apprendimento e decisione presenti nell’animale e nell’uomo, ivi compresi quelli che si applicano in giochi del tipo degli scacchi, oppure di processi di generalizzazione, inferenza induttiva e previsione tipici dell’attività dello scienziato, o dei processi in base ai quali l’uomo riesce a operare traduzioni da una lingua a un’altra. Anche da questi pochi cenni risulta chiaro come le nuove macchine a cui si mira non sono più limitate a conseguire i medesimi risultati *funzionali* dell’uso della mente, bensì a imitare le *strutture* del vivente e le funzioni che si ritengono il prodotto di tali strutture. Se le macchine così progettate e costruite risultano essere meno efficienti dell’“originale” imitato (per esempio, della mente) nell’eseguire certi compiti, il loro valore viene riconosciuto semplicemente a livello di *interpretazione e spiegazione* di tale originale; se, viceversa, esse risultano più efficaci, l’interesse si sposta sul piano tecnologico, ossia sulla loro valenza “emulativa” (e ciò mostra che i due aspetti, per quanto distinti concettualmente e filosoficamente, non sono poi separabili nella pratica). Questo campo di ricerche viene spesso indicato come lo studio dei *sistemi auto-organizzanti* e, considerate nel loro insieme, mirano in sostanza a realizzare *organismi artificiali* capaci di autoriproduzione ed evoluzione selettiva in tutto equivalenti a quelli vegetali e animali, ivi compresi la progressiva formazione di un sistema elaboratore di informazioni paragonabile al cervello umano. In questi studi (che vengono spesso indicati come ricerche nel campo della *vita artificiale*) sono stati messi a profitto (oltre alle tradizionali conoscenze offerte dalle teorie matematiche degli automi, dalla teoria dell’informazione e dalla fisiologia del vivente) anche i contributi della *biofisica*: basti solo accennare che l’applicazione della teoria dell’informazione alla geneti-

ca ha costretto a superare il più elementare concetto della trasmissione “per contatto” dell’informazione contenuta nei cromosomi di una cellula alle copie da essi fabbricate prima delle successive divisioni, al fine di spiegare la progressiva differenziazione delle cellule nell’organismo in crescita. Si è così riconosciuta la presenza di meccanismi di “trasporto a distanza” di tale informazione da parte di “messaggeri chimici” che intervengono in molti processi morfogenetici, e ciò ha stimolato la ricerca teorica e tecnica di meccanismi artificiali (sinora relativamente trascurati) in grado di imitare/spiegare simili processi biofisici.

6. L’interdisciplinarietà

Da quanto esposto in precedenza appare chiaro che teoria dei sistemi, teoria dell’informazione, cibernetica, teoria della complessità sono discipline i cui concetti, metodi, principi trovano diretta applicazione in molti campi della ricerca scientifica, delle realizzazioni tecnologiche, delle strutture produttive, delle istituzioni sociali, della organizzazione di vari servizi nella civiltà contemporanea. In base a ciò, molti direbbero che tali teorie hanno un tipico carattere “interdisciplinare”, utilizzando una nozione che negli ultimi tempi è diventata molto di moda. Esigenze di esattezza, tuttavia, inducono a precisare che questa presenza in diversi settori si può caratterizzare meglio come *transdisciplinarietà* (ossia come una presenza di concetti, metodi e modelli che “attraversa” parecchie discipline, come già accadeva, del resto, per il metodo sperimentale o per l’impiego di strumenti dell’analisi infinitesimale nella scienza tradizionale). Con ciò non si vuole negare che le suddette teorie siano rilevanti anche rispetto all’*interdisciplinarietà*. Anzi vedremo subito che quest’ultima ha potuto assumere le dimensioni notevolissime che occupa nei diversi settori sopra menzionati, e addirittura trasformarsi nella modalità più tipica della scienza, della tecnologia e dell’organizzazione sociale contemporanea, proprio grazie al fatto di poggiare in modo decisivo sull’impiego di concetti, metodologie e modelli tratti dalla teoria dei sistemi, dalla cibernetica, dall’informatica. Ciò che caratterizza l’interdisciplinarietà come qualcosa di diverso dalla semplice “compresenza” di varie discipline (che viene spesso indicata come *multidisciplinarietà*) è il fatto che la prospettiva interdisciplinare mira a raggiungere una convergenza, una coordinazione, un mutuo interscambio fra discipline diverse al fine di risolvere un de-

terminato problema (o una determinata serie di problemi) di natura conoscitiva o pratica. In tal senso si tratta di uno sforzo di “unificazione” che è l’opposto della *riduzione*. L’unità che si cerca di prospettare non è vista come riduzione del complesso al semplice, delle differenze all’uniformità, bensì come comprensione della *complessità* mediante la coordinazione e la sinergia delle diverse *parti* di un *tutto* che risulta olisticamente comprensibile proprio perché ogni parte concorre in modo specifico al funzionamento del tutto e al costituirsi delle sue irriducibili proprietà. Sono, per l’appunto, termini e concetti che abbiamo visto costituirsi e funzionare parlando dei sistemi e della complessità e che risultano elementi portanti della nozione di interdisciplinarietà, cosicché, in assenza di questi, non è corretto adottare questa categoria concettuale: sono ancora frequenti, oggi, i convegni detti “interdisciplinari” perché, sopra un dato tema, raccolgono contributi di specialisti di discipline diverse ma, in realtà, leggendo gli atti, si constata che ogni contributo sviluppa il suo discorso “disciplinare” in modo totalmente isolato rispetto agli altri, al punto che in generale un solo lettore non è in grado di comprendere bene tutti i contributi, non essendo presente alcuno sforzo di dialogo e *comunicazione* fra le diverse ottiche e competenze specialistiche. Non è detto che tali convegni e volumi siano privi di interesse, ma non si possono qualificare come interdisciplinari.

Veniamo quindi a una caratterizzazione esplicita della nozione di interdisciplinarietà, vedendone le complesse scaturigini, che sono di ordine conoscitivo, ma anche pratico in un senso molto profondo, ossia nel senso che sono legate alla necessità di adottare *decisioni* in situazioni di complessità. Data l’importanza del tema (e i non rari equivoci che ancora lo circondano), non sarà spreco il tempo che dedicheremo a una discussione piuttosto articolata.

La ragione per cui la nozione di interdisciplinarietà è relativamente recente non sta nel fatto che il termine è stato coniato da poco tempo (al punto che anche dizionari autorevoli e recenti non lo registrano), ma nel fatto che è abbastanza recente il contesto entro cui hanno preso corpo i lineamenti distintivi dell’interdisciplinarietà. Si tratta di un contesto *pratico-operativo*, rappresentato dalla conduzione di quelle imprese la cui gestione efficace esige il concorrere organizzato e finalizzato di una vasta serie di competenze, informazioni, capacità, al fine di prendere *decisioni* corrette. In tal senso qualcuno ha potuto asserire che le origini dell’interdisciplinarietà si possono rintracciare nella conduzione della guerra moderna (in parti-

colare a partire dalla seconda guerra mondiale), quando i capi di stato più avveduti hanno esplicitamente compreso che la condotta militare efficace doveva basarsi non soltanto sulla potenza degli eserciti, ma anche sul *coordinamento* di una serie assai complessa di pianificazioni nell’industria, nelle comunicazioni, nella raccolta di informazioni, nella propaganda, nella ricerca di nuove tecnologie, tutte *finalizzate* alla migliore condotta della guerra. Anche fuori da un simile contesto, comunque, è innegabile che l’interdisciplinarietà (anche senza esser chiamata in tal modo) costituisce la caratteristica implicita della scienza applicata (non importa se nel campo delle scienze naturali o di quelle umane), quando si tratti di realizzare progetti di notevoli dimensioni, nei quali è essenziale tener conto di una grande quantità di *elementi di giudizio* che non possono esser forniti da un manipolo ristretto di competenze specializzate (ancorché altamente qualificate). L’insieme di questi elementi, poi, deve essere soppesato e valutato da qualcuno (persona o gruppo), che non è più competente degli altri in alcun settore, ma che deve esser capace di operare la *sintesi* e prendere la decisione operativa più opportuna.

Questo modello di comportamento si è ormai generalizzato e ha dato luogo alla preferenza ormai diffusa in ogni settore per le prese di decisione informate, basate su prospettive tecnicamente fondate e su quadri d’insieme fatti di conoscenze affidabili e precise. Potremmo dire che il modello più generale di un tale tipo di interazione è costituito dalla *ricerca operativa*, in cui l’*organizzazione* delle conoscenze è determinata dal *problema* da risolvere, mentre la molteplicità delle *informazioni* necessarie deve esser disponibile a partire da diverse *fonti specializzate*, ma nello stesso tempo risultare *comunicabile* mediante codificazioni intersettoriali opportune, che consentano di utilizzare tali informazioni in un *programma* risolutivo comune.

In seno alla discussione culturale del nostro tempo, l’interdisciplinarietà viene quasi sempre motivata come una doverosa reazione *contro la specializzazione* estrema, che ha condotto a una specie di sbriciolamento del sapere. La specializzazione, in realtà, è resa necessaria dall’aumento delle conoscenze e dei metodi di indagine; tuttavia ha condotto a una vera e propria *segregazione* delle discipline e a una specie di torre di Babele dei linguaggi disciplinari, i quali sono ormai compresi soltanto dagli “addetti ai lavori” di ogni piccolo settore. D’altra parte, sia la complessificazione crescente delle imprese tecnologiche, sia l’insorgere di problemi di grande ampiezza e diffi-

coltà (per esempio quello dell'ambiente, ma in genere tutti i cosiddetti "problemi globali" di cui oggi tanto si discute), stanno imponendo come una vera necessità l'interscambio effettivo fra discipline diverse.

In ciò appunto consiste l'*interdisciplinarietà*, che ha come presupposto l'accettazione della complessità e si propone di comprenderla. In questa caratteristica si collocano le differenze concettuali che, come già accennato, sussistono fra multidisciplinarietà, transdisciplinarietà e interdisciplinarietà. La *multidisciplinarietà* (o *pluridisciplinarietà*) si realizza quando le competenze di discipline diverse vengono utilizzate in un'impresa conoscitiva o pratica comune, senza che ciascuna debba mutare le proprie prospettive concettuali o i propri metodi, ma limitandosi a fornire i propri "risultati". In molti casi questo modo di procedere può essere sufficiente, ma non conduce a una visione d'insieme in cui si veda come si rapportano i diversi aspetti studiati e come, eventualmente, si influenzino reciprocamente. L'uso dei risultati di certe scienze all'interno di altre è un sottocaso di questa pratica (per esempio, l'impiego dell'analisi matematica in fisica, o di metodi radioattivi di datazione in archeologia: essi non accrescono la comprensione del problema, ma possono facilitare la *soluzione* di un suo aspetto particolare). La *transdisciplinarietà* si realizza quando alcuni metodi, concetti, o modelli risultano proficuamente utilizzabili in discipline diverse (è il caso di certe equazioni matematiche, dei modelli cibernetici che si applicano alle apparecchiature di controllo automatico, a certi processi fisiologici, ad alcune forme di apprendimento, allo studio di sistemi economici e sociali). L'interdisciplinarietà, infine, comporta la messa a confronto di *ottiche diverse*, lo sforzo di mutua *integrazione* fra queste, la consapevolezza della parzialità di ciascuna e nello stesso tempo della sua indispensabilità nella comprensione di un problema o di una realtà complessa. Va detto comunque che queste distinzioni non sono da intendere rigidamente: nei casi concreti esse si sovrappongono molto spesso e l'importante è intendere il diverso tipo di preoccupazione che le caratterizza, senza accanirsi in modo pedante a far loro dire più di quanto esse comportano, a titolo di utili criteri di distinzione concettuale.

Quanto precisato consente di vedere subito che le esigenze dell'interdisciplinarietà non possono ritenersi soddisfacenti mediante una soppressione della specializzazione. Questa infatti è certo una conseguenza dell'aumento delle conoscenze, ma è anche una loro *con-*

dizione, cosicché rinunciare alla specializzazione significherebbe privarsi di conoscenze sempre più affidabili e avanzate per le nostre realizzazioni pratiche, non meno che rinunciare a un aumento del sapere. La specializzazione, infatti, non si è imposta nelle scienze perché nessun genio umano sarebbe più in grado di "albergare nella sua testa" (per usare le parole di Helmholtz) tutta la massa delle attuali conoscenze, anche solo all'interno di una sola scienza, e non è neppure vero che le applicazioni tecnologiche sono divenute incontrollabili essenzialmente perché ormai troppo numerose e rapidamente incalzanti. Pur senza trascurare tali aspetti, dobbiamo riconoscere che la specializzazione è una *condizione necessaria*, assai più che un male o una *conseguenza necessaria*, della stessa conoscenza scientifica. Ogni scienza si costituisce infatti in quanto apre sulla realtà un *punto di vista*, un'ottica delimitata e specifica, ossia *specializzata*. Ciascuna di queste ottiche può a sua volta essere ulteriormente particolareggiata, attraverso l'adozione di punti di vista ancor più specialistici, dando luogo alle branche via via più settoriali di ciascuna scienza. Ogni ottica si caratterizza poi per il fatto di esplicitare il proprio punto di vista mediante l'adozione di certi *concetti*: questi si traducono sul piano del linguaggio in *predicati* specifici, i quali ricevono un significato il più preciso possibile, che diviene in tal modo un *significato tecnico* (anche se di fatto la parola continua a essere quella impiegata nel linguaggio comune). Per di più, alcuni dei concetti così precisati debbono accompagnarsi alla determinazione di *operazioni standardizzate*, che permettano l'accertamento intersoggettivo dei *dati* di quella data scienza e che consentano il controllo delle sue affermazioni e ipotesi. Ciò equivale a dire che ogni scienza si fornisce di *criteri metodologici* e di procedimenti inferenziali (ossia di *logiche*) proprie. In mancanza di ciò non è possibile istituire un discorso *oggettivo e rigoroso*, cioè in sostanza un discorso *scientifico*, il quale risulta così inevitabilmente caratterizzato da una specificità di linguaggio, di concetti, di metodi e di logiche.

A questo punto possono esser già chiare due cose. In primo luogo, che non si può pensare l'interdisciplinarietà come una soppressione delle specializzazioni, perché ciò significherebbe un regredire a uno stadio di conoscenza pre-scientifico, di puro senso comune più o meno intelligentemente argomentato. È questo in fondo l'errore in cui sono finiti molti propositi di presunta interdisciplinarietà i quali, illudendosi di poter scavalcare o rimpiazzare le competenze disciplinari, si sono ridotti a discorsi generici e superficiali, attirando sulla

interdisciplinarietà stessa un giudizio severo quanto ingiusto. La vera interdisciplinarietà, infatti, si costruisce a *partire dalle discipline* e rispettando la serietà e l'impegno della loro tecnicità di indagine. In secondo luogo, è chiaro che l'impossibilità di dominare molte specializzazioni non è legata tanto al fatto di non riuscire a contenere nella memoria una massa eccessiva di conoscenze, quanto piuttosto da quella di non poter adottare simultaneamente tante ottiche, tanti abiti mentali, tante impostazioni metodologiche diverse e padroneggiare anche i relativi concetti e metodologie operative. Tutto questo costituisce senza dubbio un ostacolo, ma costituisce pure una ricchezza: ancora una volta non tanto perché, accettando la pluralità delle discipline, si conosce *di più* del reale, quanto perché lo si conosce *meglio*, ossia se ne possono cogliere più aspetti, se ne esplora più a fondo la ricchezza, in quanto ci si pone in grado di apprezzarne più adeguatamente la *complessità*.

La domanda cruciale è però questa: attraverso questa proliferazione dei punti di vista riusciamo per davvero ad aumentare la nostra comprensione della realtà? Quante volte non ci è accaduto, seguendo questo stile di ricerca, di chiederci se avevamo davvero incontrato la risposta che cercavamo? Il fatto è che l'unità della cosa non garantisce da sola l'unità della conoscenza: occorre che questa unità si ricostituisca nel *soggetto*, ossia che questo riesca a rifare la *sintesi* di quanto è riuscito a guadagnare mediante l'*analisi* specializzata. Orbene, è proprio perché un singolo soggetto non è di solito in grado di operare da solo questa sintesi (salvo i casi di problemi poco complessi, e dunque trattabili in modo specialistico) che si profila il tentativo di far interloquire le discipline, cioè di tentare l'impresa interdisciplinare.

Le condizioni fondamentali per il successo di questa impresa sono ormai abbastanza evidenti. La prima è la presa di coscienza (ben più che la semplice presa d'atto) della specificità delle diverse ottiche disciplinari e della loro legittimità. In tal senso non è lavoro propriamente interdisciplinare quello in cui una disciplina si avvale di strumenti tratti da altre: anche se per condurre certe ricerche in biologia si devono utilizzare metodi chimici, si sta pur sempre facendo della biologia, poiché l'ottica privilegiata è quella biologica, i problemi posti sul tappeto sono problemi biologici, la scelta dei metodi dell'altra disciplina è dettata dal fatto che possono "servire" alla ricerca biologica in corso e così via. Il discorso veramente interdisciplinare si instaura quando si ammette che, di fronte a un problema com-

plesso, diverse ottiche sono *necessarie* per la sua comprensione e ci si sforza di considerarlo sotto ciascuna di esse, confrontandole e cercando di vedere come ciascuna concorra alla comprensione del tutto. Un'altra condizione che il lavoro interdisciplinare esige è uno spirito di sintesi e una ragionevole vastità di conoscenze, ossia la disponibilità di conoscenze piuttosto estese in settori diversi; anzi tanto più diversi quanto più impegnativa è la sintesi che si ricerca. È ben vero infatti, e l'abbiamo ammesso poco sopra, che un solo studioso non può pretendere di padroneggiare i linguaggi, le concettualizzazioni e le tecniche di molte discipline; tuttavia, se si deve istituire fra queste un colloquio, se si devono poter intendere reciprocamente le rispettive impostazioni, è indispensabile che ciascuno intenda almeno in parte il senso del discorso dell'altro e, anche senza conoscere i dettagli dei risultati della sua ricerca, sia in grado di coglierne le categorizzazioni di fondo, i principi essenziali, ossia proprio quei fattori che rimangono spesso presupposti e difficilmente accessibili e che costituiscono gli ostacoli più seri alla comunicazione che dovrebbe approdare alla sintesi.

Dopo tutto quanto siamo venuti precisando, dovrebbe esser chiaro che un progetto concreto di ricerca interdisciplinare nasce attorno a un ben delineato *problema di comprensione di una realtà complessa*. Esso presuppone dunque l'esatta individuazione del problema e altresì di quei suoi *aspetti* significativi e diversi che esigono appunto il concorso di più competenze per analizzarlo e comprenderlo. Una volta scelto il problema e individuate le discipline che debbono analizzarlo, è necessario procedere alla *esplicitazione delle differenze* di concettualizzazione, linguaggio, metodologie di accertamento e di spiegazione che ciascuna adotta. In un primo momento si potrà avere l'impressione che ciascuna "sta parlando di una cosa diversa", ma ci si renderà presto conto che, in realtà, tutte parlano della stessa cosa, ma da *punti di vista* diversi e che, all'interno del proprio punto di vista, ognuna cerca di raggiungere un suo livello di oggettività e di rigore. Ciò è ben lungi dal "creare equivoci", ma è proprio la condizione per evitare gli equivoci. Questi, infatti, nascono quando si *crede* di parlare dello stesso oggetto, mentre si sta parlando di oggetti diversi.

Non possiamo qui dilungarci sull'indicazione di alcune metodologie che si rivelano utili per condurre il lavoro interdisciplinare. Ci limitiamo a osservare che la ricerca di unità nella differenza, in cui tale lavoro consiste, assume i caratteri di un'impresa *ermeneutica* in un

senso che si fa ora più preciso: lo specialista di ogni disciplina, mentre si fa attento al discorso di quello di un'altra, cerca in qualche modo di "interpretarlo senza tradirlo" dentro il proprio orizzonte concettuale e, nello stesso tempo, cerca anche di pensare come il proprio discorso potrebbe farsi intendere dentro l'orizzonte concettuale dell'altra disciplina. Quindi, piuttosto che ricercare rapidamente un'intesa convenzionale (livello della pluridisciplinarietà, accettabile per fini sostanzialmente pratici), si tenterà piuttosto di intendere se stessi nel linguaggio dell'altro e di intendere l'altro nel proprio linguaggio.

Il coronamento del lavoro interdisciplinare è rappresentato dal raggiungimento di una certa *sintesi*. Questa però non può essere intesa come il raggiungimento di una *immagine* unica e definitiva, quanto piuttosto come il superamento delle unilateralità delle singole ottiche, attraverso la presa di coscienza delle loro differenze, della loro parziale traducibilità reciproca, dell'esistenza di interconnessioni, omologie, analogie, che aumentano la nostra comprensione della realtà studiata, pur senza esaurirla: alla unità della "cosa" corrisponde ormai anche una certa unità nella nostra conoscenza della cosa, ma l'intrinseca complessità di quest'ultima non è mai completamente catturata. Il lavoro interdisciplinare pertanto non è mai interamente compiuto: esso può ragionevolmente arrestarsi quando abbia raggiunto gli *obiettivi* desiderati (è questa la ragione per cui un elemento *pragmatico* è inevitabilmente connesso al lavoro interdisciplinare, anche quando si tratti di un "mettersi all'opera" che ha scopi conoscitivi e non direttamente pratico-operativi). Pretendere che questo lavoro giunga a un termine definitivo e assoluto equivarrebbe alla pretesa di poter esaurire l'impresa della conoscenza della verità che per l'uomo non ha mai fine.

7. Alcune nuove scienze

Il ritmo di espansione del progresso scientifico è talmente elevato che, si dice spesso, si sono compiute più scoperte negli ultimi trent'anni che in tutta la storia passata dell'umanità. Si tratta forse di un'affermazione esagerata, se non altro perché non pare che esista un inventario delle scoperte e meno ancora che esse siano state contate, tuttavia essa esprime una realtà che è sotto gli occhi di tutti. In particolare, queste "nuove" conoscenze non si limitano a una massa di "scoperte" (fenomeni o leggi prima sconosciuti), ma

includono anche la nascita di parecchie nuove discipline, alcune delle quali si possono considerare come branche specializzate di scienze già esistenti (come la fisica atomica e nucleare, o la biologia molecolare), e altre invece come ambiti di ricerca dei quali in passato non esisteva l'analogo. Di alcune di queste abbiamo già avuto occasione di parlare (per esempio, della cibernetica, della teoria dei sistemi, della teoria dell'informazione), ma vogliamo menzionarne ancora altre tre, la cosmologia, la climatologia, le scienze dei nuovi materiali, dal momento che sono esempi significativi di quelle nuove impostazioni, legate all'interdisciplinarietà, alla complessità, alla visione sistemica, che abbiamo visto caratterizzare il nuovo spirito della scienza contemporanea.

7.1 La cosmologia

La cosmologia è stata una branca tradizionale della filosofia, costituitasi nel Settecento all'interno di quella che veniva già chiamata "filosofia della natura", e aveva come suo oggetto specifico la riflessione sull'universo considerato come un tutto. La scienza naturale moderna, come si è visto, si era consapevolmente istituita come studio di fenomeni delimitati, la cui conoscenza si riteneva conseguibile anche senza far riferimento all'intero complesso dell'universo (è questo quel carattere di "località" dei fenomeni fisici che è stato loro attribuito fino a tempi molto recenti, quando si è aperto in fisica quantistica un dibattito circa la "non località", sul quale per altro sorvoliamo in questa sede). Ciò non toglie che, occasionalmente, le riflessioni degli scienziati si allargassero fino a considerare alcune caratteristiche complessive del mondo e già Newton, come si è ricordato, concludeva i suoi *Principia* con un capitolo dedicato al "Sistema del mondo" in cui, in pratica, mostrava come la sua teoria della gravitazione spiegasse la struttura e i moti del sistema planetario solare. Nella seconda metà del Settecento il termine *cosmologia* viene utilizzato con una certa frequenza anche fuori dalla filosofia: per esempio, il fisico Pierre Louis Maupertuis (1698-1759) pubblicò nel 1750 un *Saggio di cosmologia*, mentre Johan Heinrich Lambert (1728-1777) pubblicava nel 1761 le *Lettere cosmologiche* nelle quali cercava di mostrare come la teoria gravitazionale newtoniana fosse adeguata per spiegare lo stato attuale del mondo astronomicamente descrivibile. Tuttavia la teoria cosmologica più nota è quella conosciuta come "ipotesi cosmologica di Kant-Laplace" che riguarda l'o-

rigine e la strutturazione del cosmo procedente da una iniziale nebulosa in rotazione, soggetta unicamente alle forze e alle leggi stabilite dalla meccanica di Newton. Tale teoria (che Kant aveva anticipato nel saggio del 1755, *Storia naturale universale e teoria del cielo* riferendola a un qualsiasi sistema stellare, e Laplace aveva elaborato in modo indipendente nel 1796 nella Nota VII della sua *Esposizione del sistema del mondo*, con riferimento al sistema solare) è rimasta la dottrina comunemente accettata e insegnata praticamente fino alla metà del Novecento, ossia fino al sorgere della cosmologia contemporanea, intesa come vera e propria disciplina scientifica autonoma. Possiamo ancora aggiungere che una portata cosmologica venne attribuita nell'Ottocento al secondo principio della termodinamica, il quale asserisce che in un sistema chiuso l'energia "si degrada", tendendo irreversibilmente a trasformarsi nella sua forma più elementare, ossia in calore; essendo l'universo, ovviamente, un sistema chiuso, ne seguiva la cosiddetta "morte termica" dell'universo medesimo, ossia la scomparsa di ogni forma di vita e di ogni organizzazione della materia (insomma, invece che l'origine del mondo, si pretendeva di costruire lo scenario della fine del mondo). Quelle sin qui accennate non erano certamente né vere e proprie teorie scientifiche, né ancor meno costituivano in senso proprio delle discipline specializzate; si trattava piuttosto di estrapolazioni generalizzanti di teorie fisiche, costituenti modelli concettuali più o meno plausibili e non empiricamente controllabili.

Nel Novecento, invece, sorge una vera e propria *cosmologia* con pretese scientifiche; ciò si spiega col fatto che le sue origini e i suoi sviluppi si collocano nell'ambito delle scienze fisiche, poiché essa trae tutto il suo bagaglio concettuale e teorico dalle due teorie fondamentali della fisica contemporanea, la relatività generale e la fisica quantistica; inoltre i suoi cultori sono solitamente degli scienziati, che considerano il loro lavoro come scientifico e pubblicano su riviste di tipo scientifico. Anche in questo caso, come già in passato, l'interesse si è portato sul problema dell'origine dell'universo, ma non tanto in seguito a una curiosità filosofica, bensì perché le equazioni della teoria generale della relatività ammettono soluzioni diverse, a ciascuna delle quali corrisponde un "modello di universo" differente. Senza entrare in particolari (che si possono trovare facilmente in buone esposizioni divulgative della cosmologia oggi disponibili), basti dire che lo stesso Einstein si era reso conto, poco dopo la pubblicazione della memoria del 1915 sulla teoria generale della relatività, che (sotto ipotesi molto

plausibili) le sue equazioni avrebbero comportato un "collasso" dell'universo, a meno che si fissasse un particolarissimo valore molto esatto per una costante introdotta esplicitamente (la "costante cosmologica"). Einstein condivideva allora la concezione di senso comune secondo cui l'universo è statico ed eterno, ma nel 1922 il matematico Alexander Friedmann (1888-1925) e indipendentemente da lui nel 1927 Edouard Lemaître (1894-1966) abbandonarono tale concezione e trovarono che in base alle equazioni della relatività generale l'universo ha avuto un'origine in cui sarebbe stato infinitamente denso e da allora sarebbe venuto continuamente espandendosi. Nel 1929 Edwin Hubble (1889-1953) scopriva che le galassie si allontanano da noi con una velocità che è proporzionale alla loro distanza, legge che si spiega facilmente supponendo che l'universo sia in espansione. Sono questi i prodromi della teoria del *Big Bang* (del "grande scoppio"), secondo cui l'universo è nato da un'originaria esplosione a partire da uno stato iniziale di altissima concentrazione energetica, dal quale sono sorti nell'intervallo di frazioni ultrainfinitesime di secondo le particelle elementari fondamentali (neutroni, protoni, elettroni), poi (dopo circa un minuto) i nuclei atomici; dopo un sufficiente periodo di raffreddamento, l'energia comincia a dar luogo alla materia; dopo circa 300 mila anni si formano gli atomi, e poi via via, dopo altre centinaia di milioni di anni, gli elementi chimici, le molecole e i costituenti della materia, dapprima inanimata, poi vivente, da cui prese inizio l'evoluzione delle specie. Nel frattempo si formavano anche le galassie, gli ammassi galattici, i diversi tipi di stelle e via dicendo. Non ci interessa accennare ad altri modelli cosmologici che sono stati proposti, e neppure alle poche, ma significative, risultanze empiriche che sostengono il modello del *Big Bang* o ne mostrano invece certe difficoltà. Neppure vogliamo soffermarci sulle non semplici questioni epistemologiche connesse con l'attribuzione di ordini di grandezza tanto disparati all'interno di una medesima scienza: basti pensare alle distanze enormi fra le galassie, stimate con approssimazioni dell'ordine dei miliardi di chilometri, rispetto alle dimensioni lineari dell'universo iniziale dell'ordine di 10^{-33} centimetri, o agli intervalli temporali che variano dai 15 miliardi di anni stimati come età dell'universo, rispetto ai 10^{-43} secondi dopo il *Big Bang* (il cosiddetto "tempo di Planck") a partire da cui si possono fare iniziare i computi dell'evoluzione dell'universo in base alle teorie fisiche attuali.

Gli aspetti per noi più interessanti derivano dal fatto che questa disciplina, che viene ormai riconosciuta come una scienza, e per di

più una scienza fisica, può esser considerata tale soltanto allargando non poco gli abituali criteri di scientificità delle scienze naturali. In primo luogo risulta difficile identificare l'oggetto della cosmologia: che tipo di oggetto è l'universo? Non lo si può denotare empiricamente come un ben definito sistema di cose e neppure lo si può caratterizzare come un insieme strutturato di certi attributi o proprietà (come si fa nelle altre scienze). Rispetto alle scienze naturali (al cui ambito essa vuole appartenere) la cosmologia non soddisfa il requisito della *controllabilità empirica*, ossia la possibilità di sottoporre a verifica le sue ipotesi teoriche. Non si pretende che si tratti di un controllo specificamente *sperimentale* (ossia ottenuto grazie a esperimenti appositamente costruiti), che è assente anche in altre scienze di osservazione, come l'astronomia. Basterebbe che questa scienza potesse offrire delle previsioni controllabili (come appunto è in grado di fare l'astronomia), ma essa non è in grado di farle e, al massimo, può contare come sostegno dei suoi modelli su certe *scoperte empiriche*, come la legge di Hubble o la scoperta della "radiazione di fondo" nello spazio cosmico che ben si accordano con le sue ipotesi. Si potrebbe dire che essa è comunque in grado di fare delle *retrodizioni*, come fanno certe scienze fisiche e come fanno, in un certo senso, le scienze storiche. Ma anche questo non è del tutto vero; infatti una retrodizione conferma un'ipotesi se questa dice qualcosa di inatteso rispetto al passato e, andando a vedere, si hanno conferme indipendenti che l'evento retrodetto è realmente accaduto, ma le retrodizioni della cosmologia circa origini e tappe di sviluppo dell'universo non sono accessibili a un simile controllo. Certamente, nel caso delle scienze puramente *descrittive* (come la botanica o la zoologia sistematiche) non si richiedono tali requisiti, ma la cosmologia è e vuole essere una scienza altamente *teorica*, utilizza di fatto le teorie fisiche più avanzate e ne elabora di proprie impiegando anche strumenti matematici molto complessi. Le difficoltà di questo tipo si possono superare riconoscendo che la cosmologia, proprio perché in sostanza si impegna a ricostruire una *storia* dell'universo, ha il diritto di rivendicare quelle condizioni di scientificità che vengono riconosciute alle scienze storiche, le quali appunto non sono di natura sperimentale, non possono "disporre" a loro piacimento dei dati del passato, eppure sono "empiriche" (cioè non possono fare a meno di basarsi su dati di fatto) e cercano di non limitarsi a descrizioni, ma offrono anche interpretazioni e spiegazioni.

Per fornire queste ultime la cosmologia attinge alle scienze fisiche e alle loro teorie e *leggi*, per cui sembrerebbe che essa riesca ad adottare quel modello "nomologico-deduttivo" della spiegazione scientifica che (almeno secondo l'epistemologia corrente) caratterizza le scienze mature e la fisica in primo luogo. Eppure non si può dire neanche questo. Infatti le leggi delle teorie fisiche oggi accreditate servono per spiegare fenomeni che hanno luogo *dentro l'universo*, ma non esistono leggi per spiegare i fenomeni *dell'universo* preso nel suo insieme. Questo fatto taglia la strada a una possibile soluzione di tipo analitico-riduzionista che, come si è visto in precedenza, consisterebbe nel far vedere che le proprietà di un "tutto" risultano per composizione delle proprietà delle sue parti, ossia che le leggi che governano le parti permettono di dedurre le leggi del tutto (così, per esempio, c'è chi pensa che le proprietà e le leggi studiate dalla biologia si possano ricavare da quelle della chimica). Il fatto, però, è che non esistono proprietà o leggi dell'universo nel suo insieme che si possano stabilire con un minimo di esplicitezza, per passar poi a mostrare come esse derivino dalle leggi della fisica.

Queste, che agli occhi di vari studiosi, rientrano fra le obiezioni che si possono rivolgere al riconoscimento della cosmologia come scienza, perdono in realtà quasi tutta la loro forza se torniamo a sottolineare che le caratteristiche epistemologiche di questa disciplina sono molto prossime a quelle delle scienze storiche, ossia costituiscono un esempio significativo di una *scienza naturale come storiografia*. Pertanto, come lo storico "scientifico" può avvalersi di conoscenze settoriali relative a diversi ambiti della storia umana in cui forse si possono rintracciare alcune "leggi" o per lo meno "regolarità", senza con ciò esser costretto a riconoscere delle "leggi della storia" presa nel suo insieme, così il cosmologo utilizza diversi apporti di teorie dotate di leggi relative ad alcuni aspetti dell'evoluzione dell'universo, al fine di ricostruire le linee di una tale evoluzione, di *narrare* una tale storia nel modo più *oggettivo e rigoroso* possibile. Questa ricerca dell'oggettività e del rigore è già il contrassegno necessario e sufficiente per qualificare come *scientifica* un'impresa conoscitiva (anche se, ovviamente, i suoi risultati dovranno esser giudicati e valutati proprio alla luce dei requisiti di rigore e oggettività effettivamente raggiunti).

Il poco che si è detto può essere già sufficiente per segnalare l'interesse e la peculiarità di questa nuova scienza che, in particolare, ha potuto costituirsi grazie alla legittimazione del punto di vista "olisti-

co” che caratterizza la scienza contemporanea, la quale ha superato da ogni parte la ristrettezza della specializzazione a oltranza dell'impostazione strettamente analitica, come si è già chiarito in precedenza. Osserviamo altresì che la cosmologia è una scienza a carattere chiaramente *interdisciplinare* nel senso corretto che abbiamo chiarito a suo luogo, ossia nel senso che chiama a “collaborare” non un ventaglio “diversificato” di molte discipline, bensì quelle poche discipline che servono per davvero a indagare i problemi che essa si pone. In sostanza si tratta della fisica, dell'astronomia, dell'astrofisica, della matematica. Non molto, in apparenza, ma andando a vedere le cose un po' più a fondo constatiamo che essa utilizza contemporaneamente due teorie fisiche fondamentali che, sino a oggi, non si è riusciti a “unificare”, ossia la teoria della relatività e quella dei quanti, solo che, per così dire, essa le utilizza evitando le collisioni insuperabili, nel senso che la relatività serve essenzialmente per determinare la scelta del “modello di universo” (per esempio, quello dell'universo in espansione piuttosto che quello dello stato stazionario), mentre la fisica quantistica, fin nelle sue parti più avanzate riguardanti le particelle elementari, serve per “riempire” il modello e scrivere effettivamente i diversi capitoli della storia dell'universo. Ovviamente, solo grazie a una sofisticata elaborazione matematica dei modelli prescelti e utilizzando strumenti e risultati dell'*astrofisica* e dell'*astronomia* per assicurarsi quelle poche ma significative scoperte *empiriche* su cui poggiare.

In realtà non è tutto qui: la cosmologia è ricca di presupposti e implicazioni *filosofiche*, senza le quali le sue teorie non si sarebbero costituite. Abbiamo già accennato, per esempio, che Einstein era stato indotto a introdurre nelle sue equazioni un'artificiosa “costante cosmologica” perché era ancorato alla concezione filosofica di un universo eterno e stabile. Abbandonata questa, si è eliminato l'artificio, accettando l'idea che l'universo possa aver avuto un'origine e che non sia statico, bensì in espansione. Solo dopo aver compiuto questo passo si è potuto procedere a costruire un'effettiva teoria che sviluppasse scientificamente un simile punto di vista. Ma non è solo questa la premessa filosofica implicita nella cosmologia, altre se ne potrebbero menzionare, come quella dell'isotropia dello spazio-tempo e della distribuzione della materia nell'universo. Perfino qualcosa di molto simile al “tempo assoluto”, che tutti sanno essere stato eliminato dalla fisica in seguito alla teoria della relatività, ricompare in cosmologia sotto il nome di “tempo cosmico” in base al quale (in

sostanza) si può calcolare l'età dell'universo e “datare” gli eventi fondamentali della sua storia. Riemergono pure questioni che sembravano appartenere a sterili dibattiti della vecchia cosmologia filosofica, come la domanda se l'universo sia chiuso e finito, oppure aperto e infinito, e non si tratta di un'oziosa curiosità, poiché in cosmologia si dimostra che la risposta a tale domanda dipende da quella che si deve dare a una questione strettamente fisica, ossia se la densità media della materia nell'universo è minore o uguale, oppure superiore, al valore della cosiddetta “densità critica”. Come si vede, stiamo qui considerando proprietà che riguardano l'universo considerato come un tutto, ossia ci collochiamo da quel *punto di vista dell'intero* che caratterizza la riflessione filosofica.

Come ultimo esempio menzioniamo il famoso *principio antropico* che, nella forma forse più semplice, si può enunciare nel modo seguente. Risulta in modo scientificamente fondato che se tutta una serie di costanti fisiche avessero avuto un valore anche leggerissimamente diverso da quello che hanno, la storia dell'universo sarebbe stata radicalmente diversa (non ci sarebbe stata espansione, oppure non si sarebbero prodotte certe stelle o galassie, non si sarebbero formati gli atomi, gli elementi chimici, e quindi non sarebbe stata possibile la vita sulla Terra e la sua evoluzione, e via dicendo). La cosa ancor più sorprendente è che tutte queste determinazioni esattissime hanno dovuto verificarsi simultaneamente e in modo coordinato sin dall'inizio della storia dell'universo, senza di che non avremmo avuto l'universo che abbiamo e, in particolare, la vita e gli esseri umani sulla Terra. C'è una *spiegazione* di questa coincidenza altissimamente improbabile? Alcuni scienziati hanno risposto che tutto ciò è avvenuto perché solo in questo modo poteva apparire nel mondo la vita e l'uomo (è per questo riferimento all'uomo che questa tesi viene chiamata principio “antropico”). Inutile dire che questo principio ha ricevuto formulazioni diverse e di maggiore o minore “forza” ed è stato criticato soprattutto in quanto introdurrebbe nella scienza il concetto di *finalità*. Ma proprio questo fatto indica chiaramente che la discussione è, in ultima analisi, di tipo filosofico, giacché abbiamo visto a suo tempo come l'esclusione della finalità dell'ambito della scienza naturale sia stata una *scelta* metodologica compiuta, assieme a molte altre, dai fondatori di questa scienza, ma che non ha in sé una giustificazione chiara. Abbiamo anche visto che, nelle scienze che studiano l'azione umana, la considerazione della finalità intenzionale è insopprimibile, e non si vede perché anche a li-

vello di scienze naturali non dovrebbero esser permesse forme adeguate e controllabili dell'uso della categoria di finalità. Anzi, proprio la teoria generale dei sistemi e la cibernetica, come si è visto, hanno ridato spazio e controllabilità scientifica a questa nozione.

Un'ultima considerazione. La cosmologia è una scienza di tipo interamente *speculativo*, ossia risponde a quel puro interesse di sapere come stanno le cose che gli antichi qualificavano come l'ideale della "scienza teoretica", senza finalità pratiche e operative. In effetti, si è visto, la cosmologia non consente neppure di fare previsioni e si potrebbe dire che essa cerca di dominare la *complessità* dei fenomeni che accadono nell'universo tentando di ricostruire una traiettoria plausibile, tra le moltissime possibili, secondo la quale si sono svolti eventi altamente improbabili e non "predicibili" sulla base delle condizioni iniziali. Senza negare un determinismo delle leggi di natura (che essa addirittura postula identiche lungo tutti i tempi, poiché solo così può ricostruire ipoteticamente la storia passata dell'universo utilizzando la fisica di questo nostro momento), essa fa necessariamente posto alla *contingenza*, adottando quei punti di vista legati alla non linearità, alla "caoticità deterministica", all'imprevedibilità che non implica il disordine assoluto, di cui abbiamo già trattato.

Nello stesso tempo la cosmologia apre l'orizzonte verso domande che vanno oltre le semplici ricostruzioni scientifiche. Una scienza che è interdisciplinare per il fatto di chiamare a collaborare diverse discipline scientifiche, e la stessa filosofia, per risolvere i propri problemi conoscitivi, non può, quando giunge alle proprie frontiere, chiudersi e negare alla filosofia di aprire le sue domande. Proprio questa è una delle ragioni del fascino della moderna cosmologia e un indice di come la scienza possa continuare ad avere un impatto anche sulle dimensioni più generali della cultura umana.

7.2 La climatologia

La nascita di scienze che si aprono allo studio di fenomeni globali, che si propongono una visione "in grande", piuttosto che focalizzarsi su settori di ricerca delimitati e specializzati, non si traduce necessariamente in discipline tanto grandiose come la cosmologia, che pone come suo oggetto di studio addirittura l'universo (sia pure inteso in senso limitatamente fisico). Altre discipline di questo tipo si collocano a un livello più modesto, ma sono comunque interessanti e, per di più, hanno il vantaggio di rivestire un interesse con-

creto rispetto alle preoccupazioni della vita ordinaria delle nostre società. Fra queste scegliamo come esempio la climatologia, una scienza relativamente giovane e non particolarmente complicata, il che ci permetterà di dirne qualcosa in modo semplice.

Volendo darne una definizione, si può dire che questa disciplina si occupa delle condizioni medie del clima durante un certo periodo di tempo e si configura come una branca delle scienze dell'atmosfera. Ciò per altro non va inteso come se essa fosse una sottodisciplina di una disciplina più generale e ben riconosciuta. In realtà dire scienze dell'atmosfera è come dire scienze della terra, ossia alludere ad un campo tematico ben più che a un settore disciplinare canonico. Quindi è più utile cercare di caratterizzarla differenziandola da altre discipline con cui potrebbe essere confusa, e la prima di queste è la *meteorologia*, la quale studia il cosiddetto "tempo atmosferico" ("bel tempo", "brutto tempo", piogge, annuvolamenti, venti, neviccate, grandinate, temporali, e anche uragani e cicloni), compiendo soprattutto *previsioni* la cui affidabilità si estende al massimo per un periodo di un paio di settimane e diventa quanto mai aleatoria per periodi più lunghi (si veda quanto detto in proposito nel capitolo dedicato alla complessità e alla non linearità). La climatologia, invece, studia dei "sistemi climatici", di durata in generale abbastanza lunga e le cui caratteristiche sono costituite, per esempio, dal grado maggiore o minore di umidità, dall'abbondanza o scarsità di precipitazioni, dal livello delle temperature medie, dalle escursioni termiche diurne o stagionali e via dicendo. Così i diversi "tipi di clima" risultano variamente distribuiti sulla faccia del pianeta e ne caratterizzano le regioni, sia in grande, sia, talvolta, in piccolo (microclimi). A differenza della meteorologia, inoltre, la climatologia si interessa molto anche al passato, non soltanto cercando di ricostruire i climi che hanno accompagnato le più lontane ere geologiche (si pensi, per esempio, alle diverse "glaciazioni"), ma anche occupandosi delle periodicità con cui i differenti climi si sono manifestati nel corso dei millenni, in relazione alle condizioni atmosferiche. Proprio su questa base la climatologia si sforza essa pure di compiere le sue *previsioni*, che sono a medio o lungo termine. Essa può cimentarsi in questa impresa perché cerca di determinare dei *fattori* che, senza la pretesa di "determinare", possono senza dubbio "favorire" i cambiamenti climatici e quello dei *cambiamenti climatici* è per l'appunto uno dei temi che oggi appassionano l'opinione pubblica.

La climatologia è venuta accreditandosi come scienza poiché cerca di raggiungere i suoi obiettivi sfruttando al massimo *conoscenze oggettive* e facendole cooperare in un vero discorso *interdisciplinare*. Così, per esempio, sono di diretto interesse climatologico lo studio della stratificazione atmosferica, quello della circolazione delle masse e del calore (per irraggiamento, per moti convettivi o per calore latente). Altro campo di indagini a cui attinge la climatologia è quello delle interazioni tra l'atmosfera, gli oceani e i continenti. Qui si mostra importante soprattutto l'effetto della presenza della vegetazione, ma anche l'uso o l'abuso che gli uomini fanno di un certo territorio, a parte, ovviamente, il ruolo giocato dalla sua topografia (presenza di bacini idrici, di catene montuose, di zone desertiche). Anche la composizione chimico-fisica dell'atmosfera ha evidentemente una rilevanza climatologica non trascurabile. In questo lavoro si intrecciano apporti di tipo empirico ed elaborazioni teoriche. Così, per esempio, lo studio dei climi più recenti si avvale dei dati meteorologici accumulati nel corso degli anni, come la quantità di pioggia caduta, la temperatura e la composizione atmosferica, mentre la conoscenza dei meccanismi atmosferici e della loro dinamica è riassunta in modelli teorici, sia statistici sia matematici, che possono aiutare i ricercatori correlando osservazioni diverse; questi modelli vengono utilizzati per conoscere meglio le condizioni climatiche del passato, per comprendere quelle del presente e infine per prevedere quelle future.

I pochi cenni qui fatti consentono pertanto di elencare un discreto numero di discipline "specializzate" che contribuiscono al discorso interdisciplinare della climatologia, dalla chimica, all'ecologia, alla geologia, alla geofisica, alla glaciologia, all'idrologia, all'oceanografia, alla vulcanologia. Ma ciò non può stupire, dal momento che quello di clima è un tipico concetto *sistemico*: il clima non è un'entità semplice, bensì il risultato complessivo di molti fattori concorrenti che si influenzano a vicenda poiché rispecchiano le interazioni fra diversi *sistemi* sia naturali sia artificiali che interagiscono e concorrono, fra l'altro, a determinarne quel complesso di caratteristiche dell'atmosfera che conveniamo di chiamare *clima*.

Ogni ricerca sul clima è resa difficile dalla grandezza della scala a cui si lavora, dall'ampiezza dei periodi di tempo che si considerano e dall'intrinseca complessità dei processi che governano l'atmosfera. Molti studiosi sostengono che anche i fenomeni climatici sono governati da equazioni differenziali che trovano fondamento nelle leg-

gi della fisica, ma quali siano esattamente queste equazioni è ancora oggetto di dibattito. Tuttavia questo non sembra un requisito essenziale. Abbiamo infatti visto, nel capitolo sulla complessità, che quando le equazioni differenziali non sono lineari, il loro impiego non è di grande aiuto per effettuare previsioni e, nel caso di una realtà talmente complessa come è il clima, siamo proprio in una situazione di questo genere. Pertanto è alquanto illusorio pretendere di ricavare dalla climatologia indicazioni sufficientemente precise circa la futura evoluzione del clima. Sappiamo tutti che non si tratta di una constatazione piacevole; infatti il clima non si limita a essere un sistema a sé, non è un sistema chiuso, ma influenza in modo magari poco percettibile sul breve periodo, ma effettivo e costante, le *condizioni di vita* del pianeta, ed è proprio questa la ragione per cui questa scienza ha assunto un interesse anche a livello sociale e politico.

Come già si è accennato, infatti, un tema diventato oggi appassionante a vari livelli è quello del *cambiamento climatico*, inteso non in senso generale, ma nel senso più ristretto delle conseguenze negative che potrebbe avere il *riscaldamento globale* attualmente in corso sulla Terra. Con tale espressione si designa l'aumento nel tempo della temperatura media dell'atmosfera e degli oceani, e che tale aumento sia effettivamente in corso è empiricamente documentato, così come lo sono alcune sue conseguenze già in atto, come il riscaldamento della crosta terrestre, l'arretramento e la riduzione del volume dei ghiacciai e delle nevi perenni sulle alte montagne, lo scioglimento dei ghiacci polari, le desertificazioni di tante regioni del pianeta. Pure abbastanza condivise sono le previsioni circa conseguenze negative che deriverebbero da un persistente e considerevole aumento del riscaldamento in corso, come l'aumento del livello dei mari causato dallo scioglimento dei ghiacci polari, che sommergerebbe intere regioni costiere, a cui si accompagnerebbe anche una diluizione della salinità dell'oceano Atlantico che potrebbe interrompere il flusso della corrente del Golfo, facendo abbassare notevolmente la temperatura in Europa, con possibili impatti molto negativi sulle possibilità di vita su questo continente. Questo elenco potrebbe continuare, e del resto non c'è bisogno di farlo in questa sede, trattandosi di temi ampiamente illustrati e discussi anche attraverso i mezzi di comunicazione di massa. Il vero problema non è quello della più o meno grande plausibilità di questi "scenari" (i quali quasi sempre si basano sulla accentuata valorizzazione di pochi fattori, trascurandone altri che pure potrebbero intervenire a bilan-

ciarli nel contesto sistemico globale del clima), bensì quello di valutare fino a che punto tra le cause del riscaldamento globale rientra l'*attività dell'uomo*, cosicché si possa ragionevolmente valutare che cosa l'uomo stesso *potrebbe o dovrebbe fare* per rallentare tale processo; diciamo rallentare perché a esso concorrono molti fattori che non dipendono affatto dall'uomo. Infatti la climatologia storica ha ben documentato (e del resto ciò fa parte della cultura corrente) l'esistenza di cicli di riscaldamento e raffreddamento globale in epoche preistoriche, in cui "ere glaciali" si sono alternate con ere in cui il clima terrestre era sensibilmente più caldo, e in quei cicli non si poteva verificare alcun intervento umano. Del resto anche in epoche "storiche" si hanno testimonianze di alternanze analoghe, sia pure su cicli più brevi (per esempio, in epoca romana e nel Medioevo la temperatura in Europa era sensibilmente più fredda, tant'è vero che il Tamigi gelava in inverno e lo si attraversava a piedi, tenendo anche dei mercati sulla sua superficie ghiacciata, mentre l'attuale riscaldamento è un processo in corso da circa cinquecento anni).

Tra i fattori che producono il riscaldamento globale ha assunto fama particolare il cosiddetto *effetto serra*, ossia il processo per cui, in seguito all'accumulo di una notevole quantità di gas nell'atmosfera, il calore che si irraggia dal suolo viene in parte riflesso dall'atmosfera e torna verso il suolo, anziché disperdersi per irraggiamento nello spazio e, in tal modo, aumenta la temperatura degli strati più bassi dell'atmosfera, degli oceani e della stessa crosta terrestre (così come accade in una serra in cui si coltivano piante che necessitano temperature particolarmente miti). Ebbene, è fuori dubbio che l'effetto serra esiste e ha un ruolo non trascurabile nel riscaldamento globale del pianeta, tuttavia esso, per un verso, è *indispensabile alla vita*, poiché questa ha potuto sorgere e svilupparsi sulla Terra proprio perché, grazie all'effetto serra "naturale", si erano realizzate sul nostro pianeta condizioni di temperatura favorevoli al sorgere della vita stessa (in sostanza, perché la temperatura media stabilizzatasi sulla Terra è superiore a quella di congelamento dell'acqua). Quindi l'effetto serra è sempre esistito e sempre esisterà finché durerà la Terra e si tratta, semmai, di indicare quali sono i limiti oltre i quali esso diventa pericoloso *per l'uomo*.

A questo punto si deve correggere un altro luogo comune, secondo il quale la causa dell'effetto serra è l'accumulo di anidride carbonica nell'atmosfera. In realtà i "gas serra" sono diversi e fra questi l'anidride carbonica rappresenta solo il 5% circa, mentre il banale vapo-

re acqueo costituisce circa il 50%. Inoltre è provato che il riscaldamento globale è determinato anche da altri fattori oltre l'effetto serra, per esempio dalle variazioni dell'attività solare e da altri fattori cosmici, così come dalle eruzioni vulcaniche di grandi dimensioni. Senza dilungarci in dettagli, le domande a cui rispondere riguardano in primo luogo la valutazione del grado di innalzamento della temperatura terrestre che riuscirebbe davvero pregiudizievole al mantenimento di condizioni di vita sopportabili per l'umanità; in secondo luogo, la valutazione della rapidità di questo incremento di temperatura; in terzo luogo, il contributo che a esso recano i diversi fattori menzionati e altri eventuali (ossia mutamenti nell'attività solare, fattori cosmici, vulcani ed effetto serra); a quel punto si dovrebbe valutare quanto in tutto questo dipende o può dipendere dall'attività umana. In proposito, ci si riduce a considerare l'effetto serra e ci si concentra sull'aumento di anidride carbonica nell'atmosfera che dipende in parte non più trascurabile principalmente dal fatto che oggi le industrie, la circolazione dei veicoli, la produzione di energia elettrica e tante altre attività delle nostre società "avanzate" si basano sulla combustione di grandi quantità di sostanze fossili (dal carbone al petrolio). Queste avevano "immagazzinato" nelle ere geologiche passate enormi quantità di anidride carbonica *sotto forma* non gassosa, ma bruciandole si libera ora nell'aria questa anidride carbonica in forma di gas e questa ha ormai raggiunto una quantità tale da non essere smaltita se non a metà (almeno secondo certi calcoli) da parte dell'unico agente naturale capace di farlo, ossia la *funzione clorofilliana* dei vegetali (le cosiddette *biomasse*). Questo processo si intensifica anche in seguito ad un altro fenomeno sempre più diffuso nel mondo attuale, la *deforestazione*, ossia la rapida distruzione di centinaia di ettari di foreste vergini (per esempio quella amazzonica) operata per ricavarne legname, per ottenere terreni da coltivare o su cui costruire. In realtà la deforestazione è sempre esistita, da quando l'uomo ha sottratto spazio alla foresta per sviluppare l'agricoltura, per costruire città e coltivare campagne, ma l'effetto di tale attività era compensato dall'esistenza più che sufficiente di altre estensioni di vegetazione, mentre oggi la tendenza è quella di una rapida diminuzione di queste. Non parliamo degli allevamenti intensivi, essi pure annoverati tra i fattori di incremento dell'effetto serra.

Anche dal poco che si è detto balza agli occhi il numero impressionante di dati e conoscenze che dovremmo possedere per rispondere alle domande sopra enunciate ed è certo che, nonostante la serietà

degli studi climatologici, non disponiamo affatto di simili informazioni sufficientemente esatte ma, al massimo, possiamo avere alcune indicazioni di “tendenza”, esse pure legate alla plausibilità di modelli matematici che cercano di formalizzare delle dinamiche incerte e che, in ogni caso, per essere attendibili nelle loro previsioni, dovrebbero essere “alimentati” da dati sufficientemente precisi, senza di che (lo abbiamo ormai visto più volte), l’affidabilità delle previsioni si attenua fortemente. Ma allora, si dirà, che senso hanno tutti questi studi? Che senso ha basarsi su di essi per proporre politiche ragionevoli nell’uso delle fonti di energia e imporre eventualmente anche sacrifici al nostro attuale modo di vivere e produrre? Di questo tipo di questioni ci occuperemo quando verremo a discutere il tema dei rapporti fra scienza e decisione politica. Per il momento ci basti dire che questi studi non sono inutili, purché i loro risultati vengano assunti con la consapevolezza dei loro margini di imprecisione. In conseguenza di ciò le decisioni che ne tengono conto dovranno corrispondere a una logica di *razionalità prudentziale*, cioè alla capacità di prendere le migliori decisioni possibili *in condizioni di incertezza* e non potranno più essere del tipo di quella diretta applicazione delle *certezze scientifiche* sulla cui illusione si fondava la fiducia positivista nel *progresso* garantito dalla scienza.

7.3 Nuovi materiali

Dopo aver considerato una scienza naturale dell’“infinitamente grande” di tipo speculativo e senza applicazioni pratiche (la cosmologia), e una scienza essa pure impegnata in indagini di carattere globale e di ampia estensione nello spazio e nel tempo, ma anche dotata di possibilità di utilizzazione pratica (la climatologia), vogliamo completare il nostro piccolo campionario trattando brevemente di alcune nuove scienze che, viceversa, riguardano il mondo dell’“infinitamente piccolo” e hanno notevoli impatti pratici.

Sin dall’inizio di questa nostra opera abbiamo sottolineato come la creazione dell’artificiale sia forse la caratteristica più “naturale” dell’uomo, in quanto egli, più che adattarsi all’ambiente, adatta l’ambiente a se stesso e alle sue esigenze e, anzi, viene costruendosi un proprio ambiente di vita in cui soddisfare tutta la gamma delle sue esigenze, da quelle strettamente materiali e biologiche a quelle più “culturali” e spirituali. Per lungo tempo l’uomo ha dovuto limitarsi a utilizzare i materiali che trovava in natura, ma già in epoche prei-

storiche aveva incominciato a produrre dei materiali artificiali, non soltanto perché, per esempio, raffinava i metalli estraendoli dai minerali corrispondenti mediante fusione, ma anche perché già sapeva realizzare le leghe metalliche, fabbricando il bronzo che, in natura, non esiste. Lungo i secoli la metallurgia ha proseguito questa pratica e oggi, fra i cosiddetti “nuovi materiali”, si elencano metalli e leghe speciali inventati e prodotti con particolari requisiti di resistenza al calore e agli sforzi, di leggerezza, di maggiore resistenza a fattori di tipo corrosivo o usurante. Essi trovano impiego, per esempio, nell’industria aeronautica e in quella spaziale, ma non solo. Fin dai tempi antichi gli uomini hanno inventato particolari vetri o ceramiche, e ne hanno gelosamente custodito i segreti di fabbricazione, destinati per lo più alla produzione di suppellettili di lusso. Oggi si producono diversi tipi di ceramiche dotate di particolari proprietà che le rendono indispensabili in numerose applicazioni tecnologiche. Abbiamo già illustrato a suo tempo come, a partire dall’Ottocento, la chimica abbia permesso non soltanto di ottenere per sintesi parecchie sostanze non presenti in natura, ma addirittura di ottenere per sintesi anche sostanze organiche che in natura sono prodotte soltanto dagli organismi viventi. Nella miriade di “prodotti” così ottenuti si collocano coloranti, esplosivi, farmaci, ma anche “materiali” di impiego molto vario, come le diverse materie plastiche e i cosiddetti “polimeri avanzati”. Non v’è certamente bisogno di spendere parole per sottolineare come l’introduzione di tutti questi nuovi materiali abbia profondamente influenzato le nostre economie, le nostre condizioni di vita, le nostre abitudini nei campi più disparati. È fuori di dubbio che la maggior parte di queste novità trova la sua collocazione più adeguata in seno alla tecnologia, ma non si può per nulla negare che esse non soltanto sono state ottenute come conseguenze o “ricadute” della ricerca scientifica, ma sono anche oggetto esse stesse di ricerca scientifica, in quanto vengono studiate scientificamente le proprietà che esse possiedono e che, molto spesso, non sono semplice proiezione prevedibile delle proprietà dei costituenti impiegati, ma sono nuove e inattese (come abbiamo visto parlando della complessità e dell’emergere di nuove proprietà quando si passa da un certo “livello” a uno più elevato). Pertanto molte delle scienze attuali sono in sostanza delle *scienze dell’artificiale*. D’altro canto, come abbiamo già anticipato e come vedremo meglio in seguito, le frontiere fra artificiale e naturale stanno sempre più sfumando, così come quelle fra scienza e tecnologia. Non

per nulla, quando abbiamo caratterizzato la tecnologia come (in buona parte) “scienza applicata”, e abbiamo sottolineato che proprio grazie a questo fatto la tecnologia ha contrassegnato la “rivoluzione industriale”, abbiamo anche precisato che ciò appariva in modo molto chiaro nel caso della “seconda rivoluzione industriale” (quella durata all’incirca un secolo, ossia dalla metà dell’Ottocento alla metà del Novecento). Ma abbiamo anche detto che dopo prende inizio una “terza rivoluzione industriale” le cui industrie caratterizzanti sono quella atomica, quella spaziale, l’elettronica, la telematica, l’informatica. In esse si impegna tutta una gamma di tecnologie basate sulle scienze dell’infinitamente piccolo, sull’utilizzo di nuovi materiali, sullo sfruttamento di conoscenze e realizzazioni legate alla teoria dell’informazione e a quel connubio tra elettronica e informatica che viene spesso denominato “scienza dei calcolatori” (*computer science*).

7.4 Le nanotecnologie

Un fatto comune a queste nuove scienze e tecnologie è che esse hanno sempre più a che fare con la sfera dell’infinitamente piccolo, in piena sintonia con quanto abbiamo già osservato a proposito delle scienze contemporanee, che sono essenzialmente scienze dell’inosservabile. Ciò che è molto significativo è che questo mondo dell’inosservabile, che sfugge alla conoscenza diretta dei nostri sensi, non soltanto può essere “osservato” (in un senso allargato ma non improprio) mediante opportuni strumenti, ma può anche essere manipolato concretamente. È quanto fanno le cosiddette *nanotecnologie*, un termine coniato in epoca recente (1986) da Eric Drexler e da lui definito in modo abbastanza preciso (“una tecnologia a livello molecolare che ci potrà permettere di porre ogni atomo dove vogliamo che esso stia. Chiamiamo questa capacità ‘nanotecnologia’, perché funziona sulla scala del nanometro, 1 milionesimo di metro.”). Il termine, ormai, indica genericamente la manipolazione della materia a livello *atomico* e *molecolare* (dove il nanometro è la comune unità di lunghezza) ed è a volte usato per descrivere in generale *altre tecnologie microscopiche*. Tuttavia la nanotecnologia in senso stretto è quella correlata a lunghezze dell’ordine di pochi passi reticolari (un passo reticolare è la distanza che separa i nuclei atomici in un solido), pertanto la nanotecnologia propriamente detta si colloca sostanzialmente a livello atomico, una scala che vede confon-

dersi le applicazioni della chimica con quelle della fisica, l’ingegneria genetica con la quantistica. La nanotecnologia agisce infatti sulla natura delle connessioni fra gli atomi, dalle quali risultano le proprietà della materia. Gli strumenti di questa tecnologia consistono pertanto in “macchine” microscopiche in grado di agire su singoli atomi. Potremmo dire che, in certo senso, esse cercano di imitare alcune nanomacchine già esistenti in natura, come i batteri e in generale le cellule che sono in grado di autoreplicarsi. Questa è una delle ragioni per le quali i rapporti forse più stretti sono quelli fra nanotecnologie e ingegneria genetica e, come nel caso della genetica, anche in quello delle nanotecnologie si manifestano aspettative che possono sembrare fantascientifiche. Fra le conquiste che la nanotecnologia potrebbe mettere a portata di mano (alcune di queste, nell’opinione di molti, sono già associate all’ingegneria genetica) figurano la trasformazione della materia a livello atomico e la sua duplicazione, la realizzazione di computer delle dimensioni di 1/100 di micron cubico, la conquista dello spazio, la definitiva demolizione dei rifiuti, la messa a punto di nuovi materiali resistenti come il diamante, lo sviluppo di una medicina che agisce selettivamente sulle molecole, la ricostruzione in vitro di tessuti organici, un’anestesia estremamente efficace, un prolungamento eccezionale della vita. Naturalmente si profila, come al solito, anche lo spettro della costruzione di nuove e più terribili armi di distruzione di massa. Non c’è bisogno di sottolineare come questi sviluppi, in parte in atto e in parte attesi, connettano strettamente il settore delle nanotecnologie con quello dello studio dei nuovi materiali, parecchi dei quali sono progettati e realizzati ricorrendo a nanotecnologie: basti menzionare lo studio di nuovi materiali per le protesi (polimeri biocompatibili) dotati di proprietà che li rendono vantaggiosissimi dal punto di vista medico e che si possono ottenere mediante manipolazioni di sostanze a livello molecolare.

Vogliamo concludere osservando che le nanotecnologie rientrano, in senso lato, in quel processo tecnologico più generale che possiamo chiamare della “miniaturizzazione” e che ha notevolmente cambiato il nostro modo di concepire la natura dei sistemi complessi. Basti un esempio: poco dopo la metà del Novecento aveva incominciato a prender corpo la dottrina secondo cui il cervello umano non è altro che un computer e, si diceva, non possiamo immaginare di poterlo concretamente ricostruire poiché dovremmo realizzare un calcolatore delle dimensioni dell’Empire State Building, alimen-

tato da tutta l'energia elettrica prodotta dalle centrali della Tennessee Valley. Insomma, difficoltà di puro ordine quantitativo e non di principio. Si ragionava così perché, a quell'epoca, l'elemento fondamentale dell'elettronica era la valvola termoionica, relativamente pesante e voluminosa e che consumava una quantità non trascurabile di energia. Non molto tempo dopo, il transistor (già scoperto nel 1948) diventava l'elemento fondamentale dell'elettronica; questo granello di silicone soppiantava le valvole termoioniche a causa delle sue dimensioni ridottissime, del suo peso trascurabile, del consumo infinitesimo di energia, per non parlare d'altro. Incominciava così quella miniaturizzazione che oggi ci consente di disporre di computer potenti che occupano poco spazio e possono essere alimentati a pile. In essi sono assemblati miliardi di transistor opportunamente collegati fra di loro in reti (*circuiti integrati*), che possono attivare, disattivare e amplificare segnali di ogni tipo. Così ci siamo abituati a pensare che la complessità si rivela molto di più andando verso il piccolo che non verso il grande. Il prefisso "nano" (accettato nel sistema internazionale delle misure come abbreviazione per indicare la potenza di 10^{-9} , ossia di un milionesimo, di una certa unità di misura) viene spesso usato per alludere a questi ordini di grandezza. D'altro canto non è detto che questa "piccolezza" dimensionale di ciò che è "nano" sia incompatibile con dimensioni molto più grandi di altra natura: il simmetrico del prefisso "nano" è il prefisso "giga" (che indica la potenza di 10^9 , cioè di un miliardo dell'unità di misura) e così troviamo oggi a buon mercato dei dispositivi di pochi centimetri quadrati di superficie in cui possiamo immagazzinare uno o più "Gigabyte" di informazione, ossia uno o più miliardi di byte (che è l'unità di misura dell'informazione usata in informatica), proprio perché in quel piccolo dispositivo sono compattati milioni di elementi a scala "nano" (per esempio, oltre 50 miliardi di transistor si possono immagazzinare in un elemento la cui superficie non raggiunge quella di un'unghia della mano).

7.5 Il laser

La scala atomica non è la più piccola alla quale possono spingersi la ricerca scientifica e le sue applicazioni tecnologiche e, di fatto, tutti sappiamo che le ricerche di punta nella fisica dell'infinitamente piccolo riguardano il livello *subatomico*, ossia quello in cui si studiano esistenza, proprietà e interazioni fra le "particelle ele-

mentari". Si può ricondurre a questo tipo di studi la storia del *laser* (1960 circa). È difficile dire se in questo caso siamo di fronte a una scoperta o a una invenzione, dal momento che, in certo senso, il laser (acronimo ricavato dalle lettere iniziali dell'espressione inglese *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) risponde a un interessante quesito di fisica teorica, ossia se sia possibile ottenere, per dirla intuitivamente, un raggio luminoso allo stato "puro". La luce emessa dalle normali sorgenti, come il sole, le fiamme, le lampade elettriche, risulta da una miscela di fotoni dotati di lunghezze d'onda differenti e viene in parte assorbita e in parte riflessa dai vari corpi fisici, in funzione delle caratteristiche degli atomi che costituiscono la loro superficie. Già Newton era riuscito, mediante l'uso di un prisma di cristallo, a scomporre questa luce bianca in uno spettro di diversi colori, a ciascuno dei quali (quando si costituì la teoria elettromagnetica della luce) è associata una determinata lunghezza d'onda. Una luce costituita da raggi di una sola lunghezza d'onda è detta *monocromatica* (ed entro certi limiti di precisione si riesce a ottenerla usando opportuni filtri colorati che trattengono le onde luminose di lunghezza non desiderata). Le onde luminose si propagano in modo rettilineo soltanto in un certo senso; come onde, infatti, si propagano in tutte le direzioni, ed è impossibile ottenere, dalle usuali sorgenti luminose, luce *unidirezionale*. Infine la luce ordinaria, anche quella monocromatica, è "incoerente", nel senso che nell'emissione spontanea ogni fotone viene emesso in maniera casuale rispetto agli altri. I requisiti della monocromaticità, unidirezionalità e coerenza vengono invece raggiunti se i fotoni vengono emessi dagli atomi (di particolari sostanze che a ciò meglio si prestano) in seguito a *stimolazione esterna*. Detto in breve, quando un fascio di luce, ossia di fotoni, attraversa una data sostanza, l'energia di questi viene progressivamente assorbita, ossia cede potenza agli atomi che incontra, eccitandoli, perché li trova in uno stato energetico "basso". Se però interveniamo eccitando gli atomi del materiale con una fonte di energia esterna, allora, in base a una legge della meccanica quantistica, la probabilità che avvenga l'*emissione stimolata*, invece che l'assorbimento, aumenta in modo considerevole in funzione della percentuale di atomi eccitati rispetto a quella di atomi nello stato energetico di base. Come si vede, si tratta di conseguenze ricavate da pure considerazioni di fisica teorica, implicite in una legge fisica stabilita da Einstein. Quando si è passati a realizzare effettivamente questo genere di stimolazione, si è ottenuto un ti-

po di luce che, in modo almeno in parte inatteso, godeva delle proprietà eccezionali sopra indicate: monocromaticità, unidirezionalità, coerenza, e anche di altre come la notevole brillantezza e l'elevata energia. Questo era il laser che, sulle prime, non aveva le caratteristiche di una "invenzione" tecnologica, quanto piuttosto quelle di una "scoperta" scientifica. La frontiera fra i due aspetti era comunque assai tenue e, infatti, le applicazioni tecnologiche si sono ben presto realizzate e moltiplicate. Alcune di queste hanno riguardato il perfezionamento delle ricerche fisiche (la direzionalità e la monocromaticità, per esempio, hanno permesso notevoli progressi in spettroscopia, consentendo fra l'altro l'ottenimento degli spettri Raman); l'elevatissima brillantezza, data dal concentrare una grande potenza in un'area molto piccola, permette ai laser il taglio, l'incisione e la saldatura di metalli; la monocromaticità e coerenza li rende ottimi strumenti di misura di distanze, spostamenti e velocità anche piccolissimi, dell'ordine del millesimo di millimetro; sempre la monocromaticità li rende adatti a trasportare informazioni nelle fibre ottiche e per distanze lunghissime. Le applicazioni più note al grande pubblico si trovano nel campo medico, dalla frantumazione dei calcoli renali, a diverse applicazioni in oftalmologia (come la correzione della miopia, dell'astigmatismo e di altri difetti della vista), all'asportazione non invasiva di tumori in fase iniziale o alla limitazione della loro metastasi, per finire con le utilizzazioni in chirurgia estetica. Ma esistono ormai applicazioni del laser in moltissimi campi, comprese quelle "frivole" come l'eliminazione totale e permanente dei peli e dei tatuaggi. Insomma, questo è un esempio significativo di come la scienza più avanzata possa rapidamente tramutarsi in tecnologia di punta e avere poi ricadute su uno spettro larghissimo della vita individuale e sociale, rendendo sempre più palpabile il fatto che viviamo ormai in una *civiltà tecnologica*. Ma per comprendere in tutta la sua pienezza il significato di questa espressione è ormai necessario entrare in un discorso più ampio.

LA TECNOSCENZA COME SISTEMA GLOBALE

1. L'intreccio inestricabile fra scienza e tecnologia

Abbiamo insistito più d'una volta sul fatto che, già durante l'età moderna, si vengono a stabilire fra ricerca scientifica e realizzazioni tecnologiche dei legami sempre più stretti di vera e propria interdipendenza. Già le scoperte astronomiche di Galileo (che tanta decisiva importanza ebbero nell'imporsi della teoria copernicana su quella tolemaica) furono possibili grazie all'impiego del cannocchiale e della sua accurata costruzione (tant'è vero che Keplero, in un primo tempo, non riuscì a osservare le lune di Giove, la cui scoperta Galileo aveva annunciato nel *Sidereus Nuncius*, perché non disponeva di uno strumento sufficientemente perfezionato). Questo esempio mostra come la tecnica potesse venir posta al servizio della scienza "pura", un fatto che col passare del tempo ha assunto dimensioni gigantesche, a tal punto che ormai i progressi nel campo delle scienze naturali sono possibili soltanto se si dispone di attrezzature tecnologiche estremamente raffinate e complesse, dai radiotelescopi ai microscopi elettronici, ai grandi acceleratori di particelle, agli apparati laser, ai calcolatori di estrema potenza. L'uso di questi ultimi, poi, è diventato indispensabile anche al di fuori del campo delle scienze naturali; abbiamo già visto, per esempio, che un difficilissimo problema di topologia, ossia di matematica pura, come quello dei "quattro colori" fu risolto *dimostrandone* la soluzione grazie all'impiego di calcolatori; i calcolatori servono inoltre per realizzare modelli e "simulazioni" di una vasta serie di fenomeni sociali, gestionali, strategici, economici, oltre che per predisporre indici e lessici nel campo delle più classiche discipline umanistiche. Questo aspetto è interessante perché costituisce una specie di "contraccambio" che la *tecnologia* offre alla scienza in risposta al fatto che la tecnologia stessa ha potuto costituirsi come tale (rispetto alla semplice tecnica) in quanto poggia sulle conoscenze acquisite dalla scienza, e per questa ragione è possibile caratterizzarla fonamen-

talmente come scienza *applicata*. Abbiamo detto “fondamentalmente” perché, come vedremo fra poco, la tecnologia è diventata in realtà molto più che questo (costituisce un vero e proprio “sistema”). A ogni modo tale sua caratteristica rimane pur sempre quella più tipica, anche perché gli intrecci con la scienza sono diventati molto più profondi di quella sorta di “anello di feedback positivo” che abbiamo appena menzionato (il progresso dell’una promuove il progresso dell’altra, e viceversa). In effetti è concretamente impossibile, per esempio, separare le tecnologie che sono nate e si sono sviluppate “al servizio della ricerca scientifica” da quelle che vengono utilizzate a “scopi pratici”. Quando è stato costruito attorno a Ginevra il famoso acceleratore di particelle LEP, si sono dovute approntare decine di soluzioni tecnologiche avanzate e inedite nel campo dei materiali da usare, delle apparecchiature elettroniche più diverse e via dicendo. Inizialmente queste erano tecnologie che non avevano altra finalità e utilizzazione che quelle previste in quel gigantesco progetto, ma nel giro di non molti anni sono state impiegate in molti altri settori dell’attività produttiva. Qualcosa di analogo si deve ripetere per il laser, di cui si è visto come, nato inizialmente quale scoperta scientifica e utilizzato per realizzare strumenti scientifici di grande efficacia e precisione, abbia poi avuto in svariatissime applicazioni, che vanno dalle fibre ottiche alla chirurgia estetica. Gli esempi si potrebbero facilmente moltiplicare.

Un analogo assottigliarsi delle frontiere si verifica anche nel campo della scienza e, in particolare, riguarda la distinzione fra “scienza pura” e “scienza applicata”. La prima perseguirebbe fini esclusivamente conoscitivi, mentre la seconda sarebbe ricerca orientata a fini pratici. Tuttavia, se qualificiamo la tecnologia come “scienza applicata” ci troviamo già in difficoltà, poiché in tal caso faremmo rientrare in essa tutta una vastissima area di scienze che in realtà non sono tecnologie, bensì ricerche “indirizzate” a fini applicativi. La soluzione, sul piano terminologico, non è difficile: basterebbe chiamare “scienze applicative” quelle che sinora sono state chiamate, per brevità, “scienze applicate”, e qualificare la tecnologia come “scienza applicata” (ossia una attività umana in cui l’applicazione della scienza si è effettivamente realizzata). In realtà non c’è bisogno di coltivare tali preoccupazioni terminologiche, dal momento che la stessa espressione “scienza pura” è entrata in desuetudine (si preferisce parlare di “ricerca di base” o “ricerca fondamentale”, distinguendola dalla “ricerca applicativa”); ma soprattutto perché molti risultati

che originariamente erano di tipo puro o “fondamentale” sono poi stati alla base di ulteriori sviluppi che hanno consentito applicazioni concrete dirette. Per esempio, la formula stabilita da Einstein, $E=mc^2$, che esprime il valore dell’energia come prodotto della massa per il quadrato della velocità della luce, è in un certo senso la conoscenza “di base” fra le cui applicazioni rientra anche la costruzione della bomba atomica; analogamente, per circa un secolo la genetica è stata una scienza eminentemente “pura” e le sue applicazioni nel campo dell’ingegneria genetica sono relativamente recenti (come si è visto), mentre quelle nel campo medico sono in realtà ancora a uno stadio di attesa e speranza. D’altro canto, può accadere che ricerche intraprese con scopi applicativi conducano a scoperte di tipo “puro”, ossia portino in luce proprietà generali che non interessano ai fini del progetto perseguito, ma che a loro volta potranno essere alla base di applicazioni in altri campi. Tanto per dare un esempio che fuoriesce dal solito campo delle scienze naturali, consideriamo un caso di “matematica applicata” quale la meccanica celeste, nel quale si pone il “problema dei tre corpi” di cui abbiamo parlato a suo tempo. Nel tentativo di risolvere questo problema “concreto” e delimitato, Poincaré compì scoperte circa la non linearità, la divergenza delle traiettorie, l’impossibilità di compiere previsioni esatte a lungo termine che aprirono la strada a una branca del tutto nuova e generale delle scienze pure, come la teoria della complessità e del caos deterministico.

A dare, per così dire, il tocco definitivo a questa confluenza fra scienza e tecnologia (che, a ogni modo, non equivale a una identificazione, bensì a una “unità nella distinzione”, secondo l’ottica sistemica che già conosciamo e su cui torneremo) si aggiunge anche l’assottigliarsi della differenza fra *naturale* e *artificiale*. Non solo, come abbiamo già sottolineato, l’artificiale è semplicemente quanto l’uomo produce in conformità con la propria “natura”, ma ormai si è visto che la tecnologia, ancor più che “adattare la Natura” ai bisogni dell’uomo, “sostituisce la Natura” in un numero crescente di settori e, accanto al mondo naturale, cresce e si dilata il mondo degli artefatti, dell’artificiale, che gradatamente viene costituendo il vero e proprio *ecosistema* dell’uomo, vale a dire non soltanto il sistema *dentro il quale vive*, ma addirittura *del quale vive*. L’abbiamo già osservato in precedenza, ma vale la pena di ribadirlo anche ora, in quanto possiamo così meglio capire il perché di un fatto che abbiamo segnalato ed esemplificato in precedenza, ossia che molte fra le scien-

ze attuali sono *scienze dell'artificiale*. Come stupircene se, ormai, l'artificiale è diventato il nostro ecosistema, attraverso il quale soltanto entriamo in relazione con il più vasto ecosistema rappresentato dal mondo della Natura? E come non tenerne conto quando, non dimenticando questa ulteriore immersione, ci preoccupiamo giustamente di non trascurare i rapporti corretti con l'ecosistema naturale, rapporti che non possono essere ingenuamente concepiti come un saltare o metter fra parentesi il sistema artificiale, bensì come compatibilizzare i due? A ulteriore conferma di tutto questo si aggiunge il fatto che, per usare un'espressione già impiegata in precedenza, la scienza contemporanea si è costituita come "sistema autonomo" nel senso particolare a suo tempo chiarito, ossia nel senso che essa ormai cresce su se stessa, si nutre delle conoscenze acquisite, le sviluppa, le corregge, le pone in relazione con altre conoscenze sempre di tipo scientifico, studia metodi nuovi e, anche nel campo delle scienze naturali, il contatto con la Natura diventa sempre più indiretto, filtrato com'è da un vasto spessore di metodi e teorie scientifiche cosicché, come dicevamo, lo studioso che si inizia alla ricerca scientifica in tali ambiti non viene "posto in contatto con la Natura", bensì messo a contatto con un determinato *settore di ricerca*, reso competente in esso e addestrato a utilizzare determinati metodi e strumenti.

Per tutte queste ragioni è stato introdotto e divulgato da alcuni decenni un termine fortunato per denotare questa unità inestricabile di scienza e tecnologia, il termine *tecnoscienza*.

2. L'autonomizzarsi del sistema tecnologico

Prima di entrare a parlare specificamente della tecnoscienza come sistema è opportuno dedicare una certa attenzione al suo sottosistema che è, per così dire, complementare al "sistema scientifico" di cui già abbiamo trattato, ossia al "sistema tecnologico". Esso pure, infatti, è venuto assumendo un'*autonomia* non inferiore a quella del sistema scientifico, da intendere per altro in modo corretto. L'universo tecnologico *contemporaneo* ha ormai largamente debordato i confini dell'industrializzazione (pur avendola incorporata); la tecnologia ha ormai invaso tutti i settori della vita attuale: essa si estende dall'organizzazione sanitaria alle comunicazioni, dal funzionamento dell'amministrazione pubblica alla gestione automatizzata delle fabbriche e delle imprese, dall'istruzione alla gestione

dei rapporti interpersonali, dall'editoria alla produzione degli alimenti e alla loro distribuzione, dalla cosmesi alla meditazione trascendentale. Non esiste praticamente ambito della vita individuale e collettiva in cui non vengano proposte le tecniche più efficienti per conseguire qualsiasi risultato.

Non solo, ma ormai questo universo è divenuto perfettamente intercomunicante e si *autoalimenta*, non diversamente da quanto abbiamo visto accadere per l'universo della scienza contemporanea. Tutto ciò obbliga a riconoscere che, anche nel caso della tecnologia, siamo ormai pervenuti al suo costituirsi in *sistema autonomo*, che vive di sue dinamiche e interscambi puramente interni. L'autore che ha forse più efficacemente studiato questo problema è Jacques Ellul (1912-1994), il quale così descrive la struttura di tale sistema:

In effetti, tutte le parti sono in correlazione, una correlazione accentuata dalla tecnicizzazione delle informazioni. Ciò comporta due conseguenze: innanzi tutto, non si può modificare una tecnica senza provocare delle ripercussioni, delle modificazioni su un gran numero di altri oggetti o metodi. In secondo luogo, le combinazioni tra le tecniche producono effetti tecnici, generano nuovi oggetti o nuovi metodi. E queste combinazioni hanno luogo in modo necessario, inevitabile. Ma ancor più, come ogni sistema, il mondo della tecnica ha una certa propensione all'autoregolazione, ossia a costituirsi un ordine di sviluppo e di funzionamento in forza del quale la tecnica provoca a un tempo i propri acceleratori e i propri freni. Questo aspetto è tuttavia, come vedremo, il più incerto. Questo sistema sembra dunque molto indipendente dall'uomo (come l'ambiente naturale era pure indipendente).²⁰

Nell'ultima frase di questa citazione ritroviamo due elementi che già abbiamo posto in luce: da un canto, che il sistema tecnologico costituisce per l'uomo d'oggi un ecosistema da lui largamente indipendente così come lo era per l'umanità primitiva quello della Natura, e dall'altro canto l'allusione al fatto che questo sistema si frappone tra l'uomo e la Natura, sostituendosi a essa, in modo non diverso da quello secondo cui abbiamo visto poco sopra che la scienza contemporanea si isola in un mondo che con la Natura ha ormai rapporti molto remoti.

Un'ulteriore affinità col sistema scientifico, che sottolinea l'autonomia del sistema tecnologico, è quella che potremmo chiamare la sua

²⁰ J. Ellul, *Le système technicien*, Calmann-Lévy, Paris 1977, p. 103.

identità: esso possiede cioè una fisionomia propria, che non si lascia se non molto marginalmente intaccare dalle diversità delle culture. Come la scienza contemporanea è la stessa in tutti i paesi e al di sopra di tutte le frontiere, non risentendo di peculiarità culturali (a differenza di quanto avveniva per la scienza antica), così anche lo sviluppo della tecnologia presenta i medesimi caratteri sostanziali e produce i medesimi effetti, indipendentemente dal fatto che si svolga in Europa, in America, o in Asia.

Un'altra caratteristica fondamentale dell'autonomia del sistema tecnologico è l'*autoaccrescimento*, caratteristica che sta alla base di molte preoccupazioni che oggi si nutrono nei confronti del suo progresso, in quanto autoaccrescimento non significa soltanto un processo che avviene al di sopra delle intenzioni dell'uomo (il quale si trova anzi risucchiato in questo processo fagocitante), ma suscita anche il timore che la logica interna di questo sviluppo possa condurre a conseguenze fatali per la stessa sopravvivenza dell'umanità.

A questo punto vale la pena di menzionare un aspetto sul quale dovremo ritornare (in ottica non più descrittiva, ma valutativa) quando entreremo tematicamente nella discussione del concetto di *civiltà*: il funzionamento del sistema tecnologico si attua in una sostanziale *indifferenza rispetto ai fini*. Quando certe possibilità sono disponibili, la tecnologia si avvia inesorabilmente a tradurle in pratica. Si tratta di quella tendenza a *realizzare tutti i possibili* che è la molla dello spirito tecnologico e che va presa in seria considerazione, anche se, come cercheremo di vedere in seguito, il pessimismo di autori come Ellul è eccessivo. Esso però è eccessivo non già perché il sistema tecnologico abbia *in se stesso* dei fini (e quindi un vero significato), ma perché questa sua indifferenza rispetto ai fini non esclude che esso possa venire *investito* di fini e valori. A ogni modo è importante notare che, se questo sistema viene assolutizzato, ossia se si passa alla ideologizzazione della tecnologia, la sua intrinseca assenza di finalità interne può davvero tradursi in una globale insensatezza.

Sono proprio queste caratteristiche di estrema complessità, autosufficienza, onnipervasività, che fanno del sistema tecnologico qualcosa di qualitativamente assai diverso dal sistema industriale, e la *civiltà tecnologica* qualcosa di altrettanto diverso dalla *civiltà industriale*. Quest'ultima è essenzialmente caratterizzata, come già si è detto, dalla macchina, e questa, bene o male, rimane pur sempre uno strumento di cui l'uomo può usare, almeno teoricamente, a suo piacere (e può anche distruggere o rinunciare a impiegare). Ma la tecnolo-

gia, come abbiamo ampiamente visto, costituisce ormai una rete inestricabile di concatenazioni tra i più diversi settori dell'attività umana, un modo di vivere, di comunicare, di pensare, un insieme di condizioni da cui l'uomo è largamente dominato, assai più che averle a sua disposizione. Per questo, parecchie critiche della civiltà tecnologica, proprio perché implicitamente e quasi sempre inconsapevolmente la identificano con la civiltà industriale, sono alquanto inadeguate, così come lo sono parecchie illusioni ottimistiche circa i modi di correggere o guidare lo sviluppo tecnologico, di cui si crede di poter continuare a considerare come nucleo essenziale il fenomeno industriale.

3. La tecnoscienza come nuova unità sistemica della civiltà attuale

Nonostante, per chiarezza di analisi, abbiamo trattato distintamente dell'autonomia del sistema scientifico e di quello tecnologico, è già chiaro in base a quanto detto circa gli intrecci inestricabili fra scienza e tecnologia che queste stesse "autonomie" sono possibili soltanto perché si realizzano insieme. Sembra un paradosso, ma basta poco per rendersi conto che l'autonomia della scienza, la sua capacità di autoaccrescimento, la sua tendenza a espandersi indefinitamente riposano sul fatto che, man mano che avanza, la ricerca scientifica può contare sulla disponibilità di tecnologie sempre più progredite che, talvolta, sono addirittura create "al suo servizio". Non diversamente, le medesime caratteristiche possono essere riconosciute alla tecnologia perché questa può continuamente disporre di conoscenze scientifiche sempre più avanzate e, in particolare, stimola ricerche scientifiche esplicitamente indirizzate a risolvere problemi tecnologici aperti. Il vero sistema autonomo, pertanto, è piuttosto quello tecnoscientifico, quello della *tecnoscienza*, che funziona sinergicamente in modo analogo a quello del cosiddetto "sistema cuore-polmone" nell'organismo umano. Il paragone non è scelto a caso: infatti il sistema cuore-polmone occupa una posizione assolutamente fondamentale e centrale nell'organismo, è grazie a esso che l'ossigenazione raggiunge tutte le cellule del corpo e le mantiene in vita, cosicché se questo sistema cessasse di funzionare anche per poco tempo, l'organismo tutto intero morirebbe. Per le società attuali la tecnoscienza sembra occupare una posizione analoga e ciò risulta chiaro non soltanto considerando (e allungando molto) l'elenco degli esempi sopra menzionati di attività umane che dipendono dalla

tecnologia, ma in base a un ragionamento molto semplice: i “problemi umani” sono in sostanza di due tipi, *conoscitivi* e *pratici*. Per risolvere i primi dobbiamo “sapere come stanno le cose” e le migliori risposte in proposito ci sono fornite dalle *scienze* (sia pure con gradi di certezza non assoluti e più o meno elevati a seconda dei diversi ambiti di conoscenza, ma in nessun caso superabili da altre forme di sapere diverse dalle scienze). Per risolvere i secondi dobbiamo “sapere che cosa fare e come fare”, e questo “sapere pratico” (diverso dall’azzeccare fortunatamente la soluzione corretta, magari grazie a una felice intuizione) ci è offerto dalla *tecnologia*. Il ragionamento sembra impeccabile, e di fatto è esplicitamente o implicitamente condiviso da molti che per questa ragione difendono una concezione *scientista* (o, meglio si direbbe, *tecnoscientista*) della società e della civiltà. Agli occhi di costoro c’è indubbiamente molto di *ignoto* di fronte a noi, ma nulla di *inconoscibile*; è solo necessario sviluppare con fiducia e senza remore la ricerca scientifica per accrescere indefinitamente le nostre conoscenze. Analogamente, ci sono moltissime cose ancora *non realizzate*, ma nulla è davvero *irrealizzabile*; l’uomo ha debellato grazie ai progressi della medicina epidemie e malattie che hanno costituito per millenni flagelli immani di fronte a cui l’umanità era impotente, e oggi possiamo pensare di intervenire sulla nostra stessa costituzione genetica per curare o sradicare malattie ancora ribelli; se nella seconda metà dell’Ottocento la tecnologia aveva raccolto e vinto la sfida di un’impresa che appariva ciclopica e quasi impossibile, come quella di collocare dei cavi transoceanici, semplicemente per assicurare delle comunicazioni telefoniche, oggi non ci emozioniamo per nulla di fronte al fatto che vengano messi in orbita nello spazio cosmico dei satelliti artificiali per assicurare delle migliori telecomunicazioni. Ma ciò accade perché uno degli elementi fondamentali che hanno segnato la transizione dalla seconda alla terza rivoluzione industriale è proprio l’accresciuta importanza dell’informazione e della sua trasmissione, cosicché la telematica è diventata una delle industrie più caratteristiche e più attive del nostro tempo. Da essa dipende l’attività del mercato borsistico non meno che la vita di milioni di imprese e anche il lavoro che svolge nel proprio ufficio e in casa propria il privato cittadino che attinge a una banca dati, si documenta su una fonte bibliografica o semplicemente programma in Internet la prossima vacanza. Senza dilungarci oltre vogliamo sfruttare un’ultima volta il nostro paragone per osservare che il sistema cuore-polmone, per quanto

svolga una funzione centrale e fondamentale per la vita dell’organismo, è sì in certo senso autonomo, ma è sottoposto a sua volta a un sistema *regolatore* che garantisce in parte il suo stesso funzionamento e per altro verso lo coordina con il funzionamento di altri sottosistemi dell’organismo. Questo altro sistema è il sistema nervoso, incentrato sul cervello. Ebbene, anche per il sistema tecnoscientifico si pone un problema analogo: esso è autonomo, è capace di autoaccrescimento, ma questo non significa che sia anche in grado di *autoregolarsi*, non già nel senso banale di assicurare mediante meccanismi interni la sua crescita, bensì nel senso di *orientarla o indirizzarla*. In altri termini, non è per nulla assodato che il sistema tecnoscientifico sia un sistema chiuso, e meno che mai, che esso possa costituire il sistema globale. Pertanto, accettiamo senza difficoltà che quella attuale possa essere qualificata come *civiltà tecnoscientifica*, poiché la presenza della tecnoscienza è in essa altrettanto preponderante e caratterizzante quanto potevano esserlo un tempo la capacità di lavorare la pietra o il ferro (per cui parliamo di “età della pietra” o di “età del ferro”), ma è poi necessario considerare molti altri elementi che giustificano il chiamare “civiltà” questa epoca storica.

4. Dalla civiltà delle macchine alla civiltà tecnoscientifica

4.1 A proposito di civiltà

In apertura del sottocapitolo dedicato alla “civiltà delle macchine” abbiamo già discusso della pluralità di significati che assume il concetto di civiltà, soffermandoci sul fatto che con esso si tende a compendiare un complesso di caratteristiche “positive” che una data società in una determinata epoca storica presenta nel suo insieme come tratti salienti del suo “mondo della vita”. Abbiamo allora constatato alcune cose: in primo luogo, che quel modello di civiltà, che noi occidentali abbiamo lungamente ritenuto di valore universale (ossia il modello della civiltà industriale o civiltà delle macchine), non era in realtà “globalizzabile”, analizzando criticamente i fallimenti incontrati nel tentativo di esportarlo nei paesi del cosiddetto Terzo Mondo. In secondo luogo, abbiamo rilevato che in seno allo stesso Occidente si sono sviluppate da almeno vari decenni critiche molto forti nei confronti di un simile modello di civiltà. In terzo luogo, avvertivamo che la civiltà industriale è in certo senso alle

nostre spalle, essendole subentrata una più complessa civiltà che abbiamo chiamato “tecnologica” ma che, dopo le precisazioni offerte poco sopra, dobbiamo chiamare piuttosto “tecnoscientifica”.

A questo punto possiamo e dobbiamo chiederci nuovamente: “È questa una civiltà? È globalizzabile?”. La prima domanda è particolarmente complessa ed è utile iniziare discutendo la seconda.

Si parla molto oggi di globalizzazione, avendo in mente soprattutto il mondo dell’economia, degli scambi, della finanza, ma tutti ci rendiamo conto che questi sono soltanto aspetti più evidenti di un fatto più generale, che potremmo denotare come la intercomunicazione, interazione e interdipendenza delle diverse regioni e culture del pianeta, e che si manifesta nel fatto che nulla di quanto accade nel mondo “non ci riguarda”, “non ci tocca”, “non ci interessa”. Possiamo esprimere tutto questo dicendo che il nostro “mondo della vita” ha assunto di fatto una dimensione planetaria, non soltanto in fatto di estensione per così dire geografica, ma specialmente perché viene sempre più delineandosi come un grande *sistema complesso*. Il modello di tale organizzazione sistemica è costituito da quel sistema tecnoscientifico di cui abbiamo discusso in precedenza, e anzi il profilarsi di una civiltà globale è proprio la conseguenza dell’inarrestabilità della crescita del *sistema tecnoscientifico* che abbiamo visto essere per l’appunto una delle sue caratteristiche salienti. Per questo possiamo dire che il cammino verso la globalizzazione è *inarrestabile* e, in certo senso, *inesorabile*. esso traduce quelle dinamiche interne di autoaccrescimento e autonomia che connotano il sistema tecnoscientifico e che si prestano tanto più facilmente a essere diffuse e assimilate in quanto, come si è pure visto, il sistema tecnoscientifico non contiene *fini suoi propri*. In apparenza ciò costituisce un vantaggio per l’instaurazione di una nuova civiltà, ma per altro verso può essere un grave ostacolo, perché una civiltà non è un semplice accostamento di componenti e fattori disparati, ma richiede altresì quell’unità di ispirazioni, quella condivisione di valori e di senso che non si possono delineare fuori dalla considerazione di un certo numero di fini essenziali. Possiamo dire pertanto: la globalizzazione è un processo in atto, stiamo avviandoci verso un mondo globalizzato, verso un “mondo della vita” globalizzato, ma questo di per sé non assicura ancora l’avvento di una *civiltà globale* e non basta, per farci credere nell’avvento di questa, il fatto puro e semplice che questa civiltà non potrà fare a meno di essere una *civiltà tecnoscientifica*. La tecnoscienza spinge verso la globalizzazione, ma non è sufficiente

per produrre una civiltà globale. In sostanza il problema cruciale dei nostri tempi è quello di che cosa fare *con* la tecnoscienza e, soprattutto, *della* tecnoscienza, problema tanto più arduo quanto più siamo consapevoli della forte autonomia di quest’ultima e della sua capacità di crescere anche fuori da ogni intenzione e controllo. Per far sì che tale crescita si traduca per davvero in una promozione di *civiltà* bisognerebbe essere in grado di “prendere in mano” lo sviluppo del sistema tecnologico e orientarlo, ma come ciò potrebbe esser possibile?

4.2 Le difficoltà di intervento sul sistema tecnoscientifico

Il complesso delle condizioni già considerate di autonomia, autoaccrescimento, insensibilità rispetto ai fini, resistenza intrinseca al mutamento controcorrente hanno indotto molti autori a manifestare un profondo scetticismo riguardo alla possibilità di intervenire sul sistema tecnoscientifico, in vista di disciplinarlo, orientarlo, tenerlo sotto controllo. La ragione più forte spesso addotta a sostegno di questa tesi non è tanto l’insieme delle considerazioni sopra illustrate circa l’autonomia e inattaccabilità del sistema tecnologico, quanto (in aggiunta ovviamente a esse) la considerazione del fatto che l’uomo, ossia il preteso protagonista di questa operazione di controllo e orientamento, è in realtà prigioniero e non già signore di quel sistema che dovrebbe governare. L’uomo contemporaneo non può esercitare le sue opzioni se non tra le varie alternative che questo mondo gli offre, ma queste sono per l’appunto tutte alternative tecnologiche. Per di più, la formazione intellettuale che egli riceve è esplicitamente orientata a favorire il suo inserimento efficace in questo sistema tecnologico, cosicché gli manca anche lo stimolo intellettuale necessario per assumere un atteggiamento critico nei confronti di esso; anzi, egli è intellettualmente attrezzato per accettarlo.

Non è difficile rintracciare, sotto le argomentazioni qui tratteggiate, le fattezze del *determinismo sociologico*, trascritte in chiave solo leggermente diversa: al posto del sistema sociale, è il sistema tecnoscientifico a presentarsi come il tutto condizionante e incondizionato. Orbene, proprio in questo tipo di presentazione si attua quel trapasso dalla considerazione del sistema tecnoscientifico come sistema *autonomo* alla sua concezione come *sistema chiuso* o addirittura *sistema totale*, di cui già abbiamo visto l’analogo nel caso del sistema

scientifico. Allora avevamo segnalato che una simile assolutizzazione della scienza sfocia nello *scientismo*, contro il quale insorgono *evidenze* di tipo esistenziale insopprimibili, vale a dire quelle domande concernenti il senso della vita, il dovere, la nostra libertà di scelta, la dimensione dell'assoluto, che non possono essere evacuate dal "mondo della vita", pur non rientrando fra le cose a cui si può dare risposta all'interno del "mondo della scienza". A suo luogo abbiamo segnalato come lo stesso Kant, che pure aveva talmente apprezzato la razionalità scientifica da farne il modello unico della ragione *conoscitiva*, aveva dovuto riconoscere le legittime esigenze della ragione *pratica* (ossia quella ancorata nella libertà e nella legge morale), per dar conto di un "mondo" che non si lascia circoscrivere al mondo della scienza. La domanda che ora ci poniamo è se un discorso del medesimo tenore si possa ripetere anche per quanto concerne il mondo della tecnoscienza e si vede subito che l'impresa è assai più difficile.

Potrebbe sembrare, a prima vista, che anche in questo caso giochi a nostro favore un'evidenza molto chiara: per rispondere alla domanda se il "mondo della tecnoscienza" è sufficiente a esaurire il "mondo della vita", basterà considerare anche un solo elemento fondamentale, che l'uomo non può agire nel mondo della vita senza proporsi dei fini, mentre è già stato chiarito che il mondo della tecnoscienza non contiene indicazioni di fini. Già questo fatto basta per farci cogliere l'illegittimità di assolutizzare il sistema tecnoscientifico. Attribuendo, per così dire, alla componente scientifica il ruolo di fornire le conoscenze, e a quella tecnologica il ruolo di fornire i mezzi concreti per operare, da nessuna di queste riusciremmo a ricavare qualcosa che superi le semplici *questioni di fatto*: nulla che riguardi i fini e il *dover-essere*. Quindi l'intero *sistema tecnoscientifico* non sarebbe in grado, dal suo interno, di dar luogo a una *civiltà tecnoscientifica*. Le forze per realizzare un simile trapasso dovrebbero venire in qualche modo "dal di fuori", ma come e da dove?

Se la scienza non si mostra capace di fornirci la biblica "conoscenza del bene e del male", proviamo a vedere se qualche aiuto può venirci dalla componente tecnologica della tecnoscienza. L'illusione di molti contemporanei è proprio questa, ma non è difficile rendersi conto che la situazione è ancora peggiore di quella sin qui considerata. In primo luogo, osserviamo che l'uomo, posto di fronte alla tecnica, ha possibilità d'azione limitatissime, ossia non può utilizzarla *come vuole* (specialmente se si tratta di una tecnica sofisticata): o l'u-

tilizza come essa deve essere utilizzata secondo le sue regole interne, oppure non riesce a servirsene. Sembra una banalità, che ciascuno di noi tuttavia sperimenta quando ha a che fare con qualunque macchina o procedimento tecnico, ma se pensiamo che questa situazione si ripete infinite volte, praticamente in quasi tutte le circostanze del nostro operare quotidiano, ci rendiamo conto che la nostra dipendenza dal sistema tecnologico è molto più radicale di quanto si pensi: se noi ci proponiamo uno scopo, ma le tecniche di cui disponiamo non sono precisamente adatte al suo soddisfacimento, possiamo illuderci per un momento di piegare la tecnica al nostro scopo, ma presto finiremo col modificare lo scopo per adattarlo alle tecniche di fatto disponibili. Il sistema tecnologico, pertanto, pur non avendo fini in se stesso, influisce di fatto sul sistema di fini concreti che l'uomo può perseguire. Ma questa non è cosa da poco e sarebbe ingenuo vedere la situazione come se l'uomo restasse intatto nella sua "natura" e nelle sue capacità di aspirazione e finalizzazione, limitandosi ad aggiustare i suoi obiettivi immediati su ciò che le tecniche disponibili gli consentono di realizzare. In realtà egli si adatta molto più spesso alla situazione tecnologica e rinuncia a perseguire i fini inattuabili, mentre si sente sospinto a proporsi quelli che la tecnologia gli pone a portata di mano e quasi gli impone (o per lo meno gli suggerisce). Ciò è vero non solo, e non tanto, a livello individuale, ma anche collettivo. Sembrerebbe di dover dire che in questo atteggiamento spontaneo e diffuso si celi un'insipienza di fondo dell'uomo moderno, che si vende al progresso tecnico con irresponsabile noncuranza. Ma il fenomeno è assai più profondo: in realtà è praticamente impossibile respingere l'innovazione tecnologica. Quando un nuovo prodotto tecnologico viene alla luce, esso condanna alla scomparsa quelli meno efficienti che lo precedevano nel medesimo settore (è il ben noto fenomeno della "obsolescenza"): chi decidesse di non accoglierlo, si troverebbe di fatto penalizzato rispetto a chi lo utilizza e non vedrebbe alcuna ragione per rinunciarvi (a meno di non poterselo permettere, ma allora si sentirebbe "arretrato" e frustrato).

Orbene, questa intrinseca "amoralità" della tecnologia fa sì che l'uomo contemporaneo, nella misura in cui – come abbiamo visto – è sospinto a fare ciò che la tecnica gli consente di fare, finisce con l'accettare come criterio di ammissibilità delle proprie azioni i criteri tecnologici e, con ciò, a svuotare progressivamente l'ambito di competenza della morale rispetto alle proprie azioni. Non crediamo di

esagerare, dicendo questo: non soltanto, come si è detto, la tecnica rifiuta di arrestarsi di fronte a un giudizio morale, ma ormai essa pretende, in certo senso, di giudicare la morale, per lo meno nel senso che oggi è molto diffusa la tendenza a giudicare non valida una proposta morale che non riesca ad accordarsi col sistema tecnologico e a integrarsi (si dirà che è inattuale, obsoleta, inapplicabile, ossia la si giudicherà, in sostanza, da un punto di vista tecnico e non specificamente etico, quando non si arriverà addirittura al punto di accusarla di “frenare il progresso”).

Ma, si dirà, l'uomo non può comunque evitare di chiedersi, per lo meno in molte situazioni importanti della sua vita, non solo *come fare*, ma *che cosa deve fare*, e ciò indica che la dimensione morale non può comunque essere evacuata. Verissimo, ma è tutt'altro che raro che, quando tale interrogativo si presenta in un contesto di azioni tecnologicamente connotato, la tecnologia si assuma una funzione vicaria rispetto alla morale, giungendo a prescrivere “che cosa si deve fare”. Più in generale, è innegabile che la tecnoscienza tende ormai a presentarsi come creatrice di nuovi valori, quasi di una nuova etica, distruggendo ogni scala di valori predisposta dalle più diverse tradizioni: ricusando – come essa fa – ogni giudizio che provenga dall'esterno, essa finisce col minare i fondamenti stessi di tali giudizi e a proporsi come *giustificatrice* delle azioni. In ciò ritroviamo il parallelo con quell'etica della scienza, che “rompe l'alleanza” con la morale e la tradizione, di cui ha parlato Monod propugnando, in un paragrafo del suo famoso saggio *Il caso e la necessità*, l'instaurazione di un'etica della conoscenza.

4.3 Un nuovo senso del problema della neutralità

Il complesso delle riflessioni precedenti ci induce a scoprire un senso della *non neutralità* della tecnoscienza più profondo, e nello stesso tempo anche assai diverso, dai vari sensi secondo cui si è dibattuto una cinquantina d'anni fa il problema della neutralità di scienza e tecnica. In quel contesto la neutralità veniva intesa essenzialmente come *indipendenza* da fattori esterni (quali interessi, pregiudizi, condizionamenti sociali e politici, fini, ideologie) e i difensori di detta neutralità erano mossi dal proposito di salvaguardare in tal modo l'oggettività e affidabilità conoscitive e pratiche di scienza e tecnologia, “proteggendole” dalle intrusioni esterne. I negatori della neutralità invece sostenevano l'impossibilità di eliminare tali

dipendenze. Quanto siamo venuti esponendo in queste ultime pagine sembra comportare una rettifica radicale di quelle conclusioni: proprio in forza della sua formidabile autonomia, del suo autoaccrescimento, della sua impermeabilità alle stimolazioni esterne, il sistema tecnoscientifico sembra essere del tutto *indipendente* dai fattori sopra menzionati *in ogni senso*. Anzi, si è visto che esso ha la forza di *determinare* (anziché esserne determinato) concezioni del mondo, sistemi di valori, interessi, motivazioni, norme di comportamento, strutture sociali, ideologie. Concluderemo allora che questo sistema è di fatto completamente neutrale?

Niente affatto, purché si intenda che la neutralità non significa tanto *indipendenza* rispetto a condizionamenti esterni, quanto *indifferenza* rispetto ai *valori* e, come abbiamo già accennato, il sistema tecnoscientifico non esibisce affatto una simile indifferenza. Oppure, detto in modo diverso: la vecchia idea di neutralità comportava il convincimento che la scienza e la tecnologia *non hanno* propri interessi, motivazioni, concezioni del mondo, ideologie, finalità, regole di condotta umana, strutture di comportamento e di convivenza, ma che potessero per così dire essere *disponibili* e utilizzabili all'interno delle più diverse costellazioni di tali elementi. In sostanza, si tratta dell'idea (ancor oggi diffusissima) secondo cui il sistema tecnoscientifico è solo un grande *strumento* (di difficile *uso*, ma pur sempre tale da dover essere soltanto usato) a disposizione dell'uomo. Orbene, abbiamo visto che proprio questo è quanto non accade: tale sistema tende a costituire un *suo mondo* e a costringere l'uomo a viverci come se fosse *il mondo*, ma questo, appunto, non è un mondo qualsiasi, bensì un mondo fornito di tutta una serie di caratteristiche precise, è un mondo di fronte al quale non si può rimanere *indifferenti* (cioè neutrali). Oppure possiamo assumere un atteggiamento neutrale *noi* rispetto a un tale fenomeno, ma con ciò non facciamo altro che chiudere gli occhi di fronte alla realtà, a meno che non *accettiamo* che tale mondo della scienza e della tecnica è intrinsecamente *buono*, ma allora gli conferiamo quei caratteri di absolutezza che corrispondono, appunto, alla sua ideologizzazione: in tal caso diventa chiaro che la nostra scelta non è più neutrale, come non lo è quella che si compie a favore di qualunque ideologia. Ma dicendo questo abbiamo scoperto che il nuovo senso della neutralità di cui stiamo trattando è appunto quello di una *neutralità morale* o *assiologica* (cioè una neutralità *rispetto ai valori*). Nel momento stesso in cui ci rendiamo conto che non possiamo rimanere neutrali rispetto a que-

sto mondo, perché non è detto che esso sia *in sé buono* (o giusto, o accettabile che dir si voglia), noi stiamo esprimendo l'esigenza di istituire nei suoi confronti un giudizio di valore, e in ultima istanza un giudizio di valore morale, cioè un giudizio che non accetta come scontata l'ideologizzazione della tecnoscienza e si interroga sulle possibilità di farne la condizione di vita per una vera *civiltà tecnoscientifica*.

4.4 Verso una civiltà globale

Si può operare la critica e il superamento di una tale ideologia? Certamente si può. Come già accennato in precedenza, si tratta in sostanza di mettere in luce che il sistema tecnoscienziologico non può assurgere al rango di *intero*, e le varie critiche dello scientismo e del tecnologismo di cui abbonda la letteratura recente si muovono di fatto su un tale terreno, anche se peccano talora per eccesso (come le forme di irrazionalismo o gli ecologismi massimalisti), o per unilateralità (come quelle che si illudono di poter ricondurre entro la sfera del politico, dell'economico, del sociale la spiegazione degli sviluppi di scienza e tecnica e la prospettiva di poterle orientare e guidare). L'unica soluzione che ci sembra corretta è quella di riconoscere che la tecnoscienza costituisce appunto un *sistema*, ma nello stesso tempo non è il *sistema globale*. Soltanto facendo riferimento ad altri sistemi, pertanto, si può intraprenderne una valutazione e prospettarne un orientamento e un controllo, tuttavia senza mai cadere nell'illusione che si tratti soltanto di uno "strumento". In quanto sistema, esso possiede una propria identità e autonomia, interagisce con gli *altri sistemi*, ha la tendenza a imporsi e fagocitare, ma non può neppure sottrarsi agli influssi che provengono dall'esterno, dal suo "ambiente" (anche se, come tutti i sistemi, esso contribuisce potentemente a strutturare questo medesimo ambiente in una relazione di *feedback*). Entrando in questa ottica, si può comprendere che, senza dubbio, il sistema tecnoscienziologico tende a procedere per conto proprio in certe direzioni, ma si può anche concepire che questa marcia non sia inarrestabile o incorreggibile, anche se per mutarne la struttura e la direzione è necessario uno sforzo immenso di "presa in mano", la cui condizione preliminare è la "presa di coscienza" che non si tratta affatto di qualcosa di docile, come si illudeva la convinzione rassicurante, ma inetta, della neutralità della scienza e della tecnica.

4.5 Come conferire un senso alla globalizzazione

Quanto detto sinora indica che stiamo andando "verso" una civiltà globale, nel senso che la storia umana è incamminata verso una situazione di globalità, e che quindi a tale processo *deve* accompagnarsi anche quello della maturazione di una vera e propria "civiltà globale", ma questo non è un risultato automatico o "spontaneo" di tale sviluppo. Per meglio comprendere la natura di questo problema è necessario distinguere fra *globale* e *totale*. Quando parliamo usualmente di globalità intendiamo sostanzialmente una caratteristica "dimensionale", ossia il riferimento all'ampiezza (specialmente in senso territoriale o geografico) di un dato fenomeno. Ma il fenomeno medesimo, in quanto tale, può essere "parziale", e quasi sempre lo è. Per esempio, si può porre il problema se un fenomeno parziale come l'impovertimento delle riserve idriche, inizialmente delimitato a certe regioni geografiche, stia assumendo gradualmente una dimensione globale, ossia minacci di riguardare l'intero pianeta, pur rimanendo un fenomeno parziale, distinto, per esempio, da altri fenomeni naturali come il surriscaldamento dell'ambiente, o sociali come la disoccupazione o l'analfabetismo. Quando invece parliamo di totalità intendiamo riferirci al sistema completo delle "proprietà" che caratterizzano una certa entità, per quanto necessariamente limitata essa sia. Così, per esempio, si può porre la questione se un discorso biologico o neurofisiologico sia in grado di esaurire la *totalità* di ciò che è un essere umano. In molti contesti la differenza che stiamo esplicitando può essere di scarso rilievo e i due concetti possono valere come sinonimi, ma la distinzione si rivela molto utile quando si tratta di mostrare che un qualcosa che tende a essere globale non può avanzare titoli per esser considerato totale. È proprio il nostro caso. Abbiamo già presentato le ragioni per le quali il sistema tecnoscienziologico possiede le caratteristiche di un sistema globale e contiene in sé le dinamiche che lo rafforzeranno sempre più in tale dimensione, facendogli assorbire e determinare un numero crescente di aspetti della vita umana individuale e collettiva. Ma abbiamo pure visto che esso non contiene elementi conoscitivi e pratici che possano rispondere adeguatamente alle domande circa il senso e il valore della vita, domande per le quali, d'altro canto, *altri sistemi* (tipicamente quelli etici, filosofici e religiosi) si erano incaricati storicamente di proporre risposte. Quanto dobbiamo constatare oggi è la situazione seguente: ciascuno di tali sistemi tradizionali aveva la pre-

tesa e l'aspirazione di avere una validità *universale*, e ciò non per semplice ambizione, ma perché le domande cui esso cercava di fornire risposte apparivano comuni a tutta l'umanità e le relative risposte, quindi, avrebbero dovuto essere altrettanto valide per tutta l'umanità. Di fatto, però, ciascuno di tali sistemi rimaneva ancorato, in misura più o meno grande, a un determinato contesto storico-culturale, ossia era universale nelle intenzioni, ma "regionale" di fatto e, al massimo, riusciva (come abbiamo visto in precedenza) a fornire i quadri di senso (o, per dirla altrimenti, i *sistemi di valori*) per determinate civiltà magari splendide, ma non certo globali. Oggi abbiamo quindi bisogno di un sistema di valori capace di investire il sistema globale della tecnoscienza, ma nello stesso tempo ci rendiamo conto che nessuno dei sistemi di valori tradizionalmente trasmessi è in grado di svolgere un simile ruolo, proprio per la almeno parziale "regionalità" che lo caratterizza. D'altro canto non possiamo nemmeno immaginare di metterci a "costruirlo", semplicemente perché simili quadri di riferimento e di senso hanno sempre preceduto e guidato il formarsi delle fattezze delle diverse civiltà, pur evolvendo assieme a esse. La soluzione possibile sembra essere quella del *pluralismo*, che non si confonde con il *relativismo* poiché, mentre quest'ultimo consiste nel sostenere che non esistono affermazioni o giudizi *veri*, ma soltanto opinioni tutte egualmente *legittime*, il pluralismo riconosce che in ogni posizione onestamente e seriamente sostenuta è presente una componente di verità, che tuttavia non è mai *totale* e pertanto è compatibile con altri aspetti della verità messi in luce da altre posizioni. Se la nostra civiltà riuscirà gradatamente ad acquisire questo atteggiamento intellettuale, che non inclina allo scetticismo pur guardandosi dal dogmatismo e dall'intolleranza, possiamo sperare che questo "mettere in comune la *saggezza di tutti*" consenta, senza la pretesa ambiziosa e razionalistica di pervenire a una sintesi delle diverse verità, di raggiungere quel grado di ispirazioni di fondo che serva per "governare" lo sviluppo tecnologico dall'interno del nostro mondo globalizzato, senza la pretesa di farlo mediante una *governance* politica di natura sovranazionale che, più che utopistica, sarebbe in realtà una forma di dominio sul resto del mondo da parte di chi si è assicurato le leve del sistema tecnoscientifico ma è spiritualmente asservito alle sue logiche.

GLI IMPATTI DELLA TECNOSCENZA SULLA VISIONE DEL MONDO, DELL'UOMO E DELLA SOCIETÀ

1. L'eredità scienista del positivismo ottocentesco

Abbiamo già trattato del positivismo ottocentesco, caratterizzato dal fatto di considerare la scienza come l'unica forma autentica di sapere, che non soltanto si è imposta "superando" storicamente gli "stadi" delle visioni "teologiche" e "metafisiche" della realtà, ma anche tale da dover essere continuamente promossa e difesa lottando contro ogni possibile residuo o ritorno di quelle visioni. Ciò perché si attribuiva alla scienza la caratteristica della conoscenza dotata di *certezza*, e perché la si considerava come la molla fondamentale del *progresso* in ogni campo. Queste due convinzioni sono state scosse dalle "crisi" delle scienze prodottesi tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento; sul piano culturale ne sono seguite diverse reazioni più o meno svalutative nei confronti delle scienze, presenti in varie correnti filosofiche. Tuttavia presso il grande pubblico la fiducia nella scienza non venne meno e, anzi, venne crescendo con l'aumentare vertiginoso delle grandi conquiste tecnologiche del Novecento; questo atteggiamento ha avuto modo di esprimersi anche in autorevoli correnti filosofiche, tra le quali primeggia l'empirismo logico, non per nulla chiamato *neopositivismo*. Come abbiamo già dichiarato, lo scientismo è una vera e propria ideologia, consistente nell'assolutizzazione della tecnoscienza e come tale non può essere accolta da chi sia dotato di senso critico. Tuttavia l'esercizio di tale senso critico non può né deve consistere semplicemente nel respingerla, ma nel comprendere quali sono le sue *ragioni* e quali invece gli aspetti per cui "non ha ragione".

2. Le scienze e la conoscenza di tutti gli aspetti della realtà

Gli sviluppi scientifici e tecnici hanno sempre a che fare con problemi esistenziali; è stato così in passato e continuerà a esserlo anche in futuro. Infatti il problema di fondo, che si pone a ogni

essere umano così come alle collettività umane, è quello di comprendersi, situarsi, orientarsi nel modo più efficace possibile in quel “mondo della vita” che ci circonda ed è costituito tanto dal cosiddetto “universo” fisico, quanto dalla fitta rete dei contesti sociali, delle tradizioni storiche, dei condizionamenti culturali. Tale “problema della vita” si articola in una complessa serie di sottoproblemi, che vanno da quello della semplice sopravvivenza fisica, a quello di stabilire rapporti di convivenza pacifici e gratificanti con i propri simili, a quello di darsi regole di vita capaci di appagare il nostro senso morale, a quello di assegnare un “senso ultimo” alla propria esistenza in funzione del fatto che si ritenga che questa si esaurisce nell’orizzonte del mondo percepibile, o invece che è destinata a completarsi in un mondo ulteriore. La soluzione di ciascuno di questi problemi esige in primo luogo delle conoscenze affidabili e, in dipendenza da queste, la disponibilità di mezzi efficaci per raggiungere i vari fini in cui consiste la soluzione dei problemi menzionati. Questo intreccio di conoscenza e azione, questa scaturigine esistenziale della stessa conoscenza si ritrova fin dalle origini della nostra specie, e ha dato luogo, nel corso della storia, alla nascita delle varie scienze, agli sviluppi delle più disparate tecniche, allo stabilirsi di forme di convivenza associata e di istituzioni politiche, alla fioritura di tante dottrine filosofiche e all’annuncio di varie fedi religiose. È del tutto ovvio, pertanto, che anche oggi un tale processo continui e, tenuto conto dell’eccezionale sviluppo delle scienze e delle tecnologie, è pure ovvio che esse possano e debbano continuare a dare un contributo sostanziale al soddisfacimento di tale esigenza esistenziale pur senza perdere di vista che non soltanto queste sono chiamate a dare il loro contributo.

Abbiamo già avuto occasione di analizzare come, nell’età moderna, i cambiamenti di mentalità più significativi, con i loro effetti sul piano esistenziale, siano stati determinati in misura molto cospicua da quelle scienze che, di volta in volta, assumevano la posizione di primo piano, riverberando la loro maniera di interpretare un settore particolare della realtà anche molto al di là dei confini di quel settore, fino a toccare gli stessi aspetti più delicati che concernono la visione generale del mondo e la natura dell’uomo. Può valer la pena di riassumere i tratti essenziali di tale vicenda. In un primo tempo, fu la meccanica a dettare gli schemi interpretativi dell’intero mondo fisico, secondo i quali ogni evento naturale deve potersi spiegare, in ultima analisi, come il risultato di movimenti di particelle materiali de-

terminati da forze attrattive o repulsive che ne costituiscono il “meccanismo” intrinseco, facendo svanire il bisogno di ricorrere ad altri principi esplicativi legati alla presunta natura “specificata” dell’evento in questione. Che tale interpretazione potesse influenzare non soltanto la descrizione del mondo, ma anche il senso del mondo emerge in modo lapidario dalla famosa risposta che Laplace diede a Napoleone dopo aver esposto in sua presenza la sua teoria cosmologica. L’illustre ospite gli chiese: “Che posto avete riservato a Dio nel vostro sistema del mondo?” e la risposta fu: “Sire, non ho avuto bisogno di questa ipotesi”. Dio era dunque diventato una bocca inutile nella scienza naturale, ma il grande prestigio culturale acquisito da questa incoraggiava la tendenza a escluderlo anche dalla considerazione più generale del “mondo della vita”. Anche nella visione dell’uomo e della sua esistenza le dimensioni della trascendenza venivano offuscate dal prevalere della metafisica materialista che la meccanica facilmente veicolava, come abbiamo visto considerando lo slittamento in tal senso avvenuto nel passaggio dal modello di “uomo-macchina” offerto da Cartesio (con l’intento di spiegare esclusivamente il funzionamento del corpo umano) alle tesi dell’Uomo-macchina di Lamettrie, che liquidavano come superstizioni e fandonie alimentate dal timore della morte e dalle astuzie dei preti le credenze nell’esistenza di un’anima umana spirituale e immortale.

Col passare dei decenni il quadro meccanico appariva troppo approssimativo per spiegare in modo convincente la varietà degli enti e degli eventi del mondo, ma le sue carenze venivano integrate dagli apporti di nuove discipline scientifiche pervenute nel frattempo a un elevato prestigio, dall’elettrologia, alla chimica, alla biologia. Anche in questo caso le tendenze verso l’extrapolazione e il riduzionismo si manifestarono in misura notevole specialmente nel caso dell’uomo: la sua costituzione corporea si mostrava analizzabile e spiegabile in modo esaustivo in base ai medesimi concetti e principi che servono alla comprensione di ogni organismo vivente; le sue stesse funzioni psichiche “superiori” venivano interpretate come semplici prolungamenti e sviluppi evolutivi di prestazioni già presenti in gradini “inferiori” della scala dei viventi, e rese possibili semplicemente da una complessificazione del suo sistema nervoso centrale; la neurofisiologia si impegnava a chiarire i supporti e i meccanismi cerebrali della sensazione, della percezione, della memoria, riteneva di poter localizzare in determinate aree del cervello le sedi del linguaggio, del pensiero riflesso, della coscienza, dell’affettività, e permetteva la na-

scita di una psichiatria “scientifica” che, almeno in un primo tempo, riduceva le malattie mentali a malattie del cervello. In altri termini, la differenza tra fisico e psichico sembrava sempre più svanire e, con essa, risultava più difficile mantenere la tradizionale immagine dell'uomo come essere caratterizzato da proprietà e capacità irriducibili a quelle della materia, con evidenti conseguenze sul modo di concepire la libertà, la moralità, il senso dell'esistenza, la sua stessa “dignità” come persona.

All'inizio del Novecento la fisica riprese il sopravvento come scienza di punta: teoria della relatività e fisica quantistica costituirono, durante la prima metà di tale secolo, la fonte non solo di nuove scoperte e teorizzazioni, ma anche di numerosi cambiamenti nel modo di concepire il mondo fisico, di profonde revisioni circa i principi fondamentali della scienza naturale, di appassionate e sottili controversie filosofiche circa alcuni principi metafisici e circa la natura e la portata della nostra conoscenza. Tutto ciò ha avuto un impatto ben noto sulla filosofia, non soltanto provocando il costituirsi di una disciplina filosofica specializzata e moto fiorente (la “filosofia della scienza”), ma anche riportando in auge tematiche e dibattiti di teoria della conoscenza, di logica e ontologia che sembravano a molti obsoleti e culturalmente tramontati. Nella seconda metà del secolo, con la nascita della biologia molecolare e, in particolare, con la scoperta del codice genetico e della sua natura chimica, la biologia non si limitava a fornire una chiave esplicativa di molti fatti che, nel frattempo, avevano scandito il progresso della genetica, ma poneva in luce tutta una serie di “meccanismi” chimici che presiedono alla costituzione morfologica e funzionale degli organismi viventi e, con ciò, rilanciava in modo inizialmente inconsapevole e implicito, ma diventato via via sempre più esplicito, l'esigenza di una ripresa della “filosofia del vivente” che fosse all'altezza delle nuove acquisizioni scientifiche.

Tale portata generale, si è visto, risultava possibile perché una nuova prospettiva veniva adottata come pilastro teorico nel nuovo campo di ricerca: la teoria dell'informazione, che proprio verso la metà del Novecento aveva iniziato a svilupparsi rapidamente sul piano teorico e su quello applicativo. L'informatica stava rivelandosi come nuova chiave di lettura di molti altri tipi di realtà, essendo in sostanza lo scheletro teorico della cibernetica e coniugandosi con gli sviluppi della teoria dei sistemi, discipline nuove sulla cui ampiezza di applicazioni abbiamo già detto a sufficienza a suo luogo, ma circa le

quali vale la pena di sottolineare ora come abbiano indotto un vero e proprio nuovo “modo di pensare” o “modo di vedere” numerose realtà naturali, umane e sociali e il loro funzionamento, inclinandoci a vederle più come “organismi complessi” che come “macchine” e a rinunciare a una rigida visione deterministica della realtà, in ragione di una maggiore consapevolezza della sua complessità e imprevedibilità.

Abbiamo voluto esporre questo “estratto” sintetico di cose in buona parte già dette in precedenza perché da esso si ricava facilmente l'impressione che, forse, i positivisti hanno ragione, poiché la quantità e l'importanza delle innovazioni che i progressi della scienza e della tecnologia hanno indotto nella cultura occidentale sono talmente rilevanti da indurre a ritenere che sia proprio grazie a esse e solo a esse che questa civiltà ha conosciuto un progresso non raggiunto da altre culture e guadagnato una indiscussa superiorità.

Si sarà notato, tuttavia, che lungo questa breve ricapitolazione non spuntavano nuove proposte di soluzione dei problemi che venivano posti e non già risolti da questo progresso tecnoscientifico, ed erano tali da non poter essere trattati con gli strumenti conoscitivi e pratici della tecnoscienza, in quanto rientrano fra quei problemi esistenziali elencati all'inizio, dei quali le scienze e le tecniche non si occupano. La legittima preoccupazione di non “dare per risolti” tali problemi da parte delle scienze quando in realtà non lo sono, oppure di non lasciarli accantonare come “falsi-problemi” di natura semplicemente emotiva o psicologica (entrambe conseguenze dello scientismo) ha indotto alcuni studiosi a proporre delle separazioni ontologiche, ossia delle separazioni fra diversi tipi di cose esistenti e, per esempio, affermare che le scienze sono adatte e competenti per studiare la natura materiale, ma non l'uomo, la società, l'economia e via dicendo. Si tratta di un'eredità del vecchio “dualismo cartesiano” di cui già abbiamo parlato, la cui inadeguatezza è emersa per lo meno da due fattori. In primo luogo dal fatto storico che, mentre tale proposta intendeva riservare alla filosofia e alla religione il discorso conoscitivo sull'uomo, la nascita e lo sviluppo delle “scienze umane” (sia pure impostate secondo metodologie proprie rispetto alle scienze naturali) ha mostrato che anche circa l'uomo e il suo mondo si può sviluppare un discorso scientifico.

In secondo luogo, come pure abbiamo brevemente discusso, le diverse scienze non si distinguono per il fatto di studiare cose diverse, ma di studiare aspetti o attributi o proprietà diversi delle cose; cosic-

ché una sola e medesima “cosa” può diventare “oggetto” di studio di scienze diverse, a seconda dei diversi aspetti di tale cosa che vengono presi in considerazione. Pur avendo polemizzato a più riprese contro il riduzionismo, potremmo azzardare un’affermazione suscettibile di provocare qualche equivoco, dicendo che ogni scienza è “metodologicamente riduzionista” in questo senso preciso, che considera tutta la realtà dal suo punto di vista e cerca di comprenderla e spiegarla al massimo grado possibile utilizzando esclusivamente i propri concetti, metodi e principi. Ciò è legittimo e utile, purché non si compia il passo ulteriore consistente nel pretendere che tale modo di procedere inglobi tutti gli aspetti della realtà (o anche solo di una determinata realtà), compresi cioè anche quegli attributi di cui la particolare scienza in questione non si occupa specificamente, e purché non si pretenda di asserire che non esistono quelle realtà che non godono degli attributi di cui quella tale scienza si occupa. Pertanto è un fatto assolutamente corretto e positivo che le scienze contribuiscano a migliorare le nostre conoscenze di tutti gli aspetti della realtà, e possiamo asserire senza tema di smentite che oggi conosciamo molto di più e molto meglio di quanto conoscessero i nostri antenati anche recenti, proprio grazie al grande sviluppo delle scienze e, anzi, delle tecnoscienze. Ciò è di per sé un fatto altamente positivo, riassumibile nell’affermazione che quanto più si conosce, tanto meglio è. Purché si rimanga consapevoli del fatto che la conoscenza del tutto non può mai essere esaurita neppure da una conoscenza molto approfondita di alcune delle sue parti. Oggi invece accade con sempre maggior frequenza l’opposto: le conoscenze scientifiche settoriali tendono a trasformarsi in visioni complessive dell’ambito di realtà studiato, sia esso la natura materiale, la società, l’uomo stesso. Molti hanno l’impressione che, così facendo, si ottenga il grande guadagno di raggiungere concezioni della realtà “all’altezza” dei progressi delle scienze, ma in realtà la conseguenza può essere invece un calo di vera e propria comprensione di queste realtà nella loro integralità.

3. La tecnoscienza e l’immagine attuale dell’uomo

3.1 La “naturalizzazione” dell’uomo

Lo scientismo, che abbiamo denunciato più volte come un rischio e un arbitrio intellettuale, è assunto invece come vero e pro-

prio programma culturale da influenti correnti di pensiero che riprendono in pienezza il programma positivista nelle sue due componenti più classiche, quella appunto *scientista* e quella *materialista*. Alcuni positivisti ottocenteschi, infatti, come Herbert Spencer, mentre riservavano alle scienze l’intero volume della conoscenza, ammettevano una sfera di “inconoscibile” che poteva essere oggetto di fede e non ne negavano esplicitamente l’esistenza. Viceversa i materialisti, in ogni epoca storica, hanno volutamente ridotto tutta la sfera dell’esistente al mondo sensibile e, in epoca moderna, ne hanno affidato la conoscenza alle scienze naturali. Questo programma positivista-materialista è oggi denominato di solito “naturalizzazione”, e in sostanza consiste nella proposta di ridurre certe fondamentali discipline filosofiche a capitoli delle scienze naturali (opportuna-mente estese). Così, per esempio, si parla di “epistemologia naturalizzata” per intendere una teoria della conoscenza ridotta alla somma di risultati della psicologia sperimentale, oppure si parla di “etica naturalizzata” intendendo con ciò il tentativo di spiegare la coscienza morale e le regole morali come prodotti delle strutture biologiche dell’uomo e dei risultati dell’evoluzione. Più in generale, si pretende che le tecnoscienze siano in grado di spiegare senza residui tutte quelle proprietà (come il pensiero, la libertà, la coscienza) che, tradizionalmente, erano indicate come caratteristiche specifiche dell’essere umano rispetto alla pura e semplice “natura” materiale.

Questo *naturalismo* ama presentarsi come l’espressione più matura della coscienza critica moderna, dal momento che si avvale dei risultati delle scienze più raffinate e avanzate (come le neuroscienze e l’informatica), ma è lecito chiedersi se in realtà, come *posizione filosofica*, esso non rappresenti piuttosto un notevole *regresso* rispetto a quanto la civiltà occidentale aveva faticosamente conquistato lungo secoli di riflessione. Per dirla in modo paradossale, una simile “naturalizzazione dell’uomo” significa, in certo senso, una regressione al livello delle filosofie *presocratiche*. Infatti, adottando in modo per lo più implicito e inconsapevole la ben nota schematizzazione positivista, l’opinione più diffusa sembra essere quella secondo cui, lasciati alle spalle la visione “teologica” della cultura medioevale (nella quale all’uomo spettava una posizione separata e superiore rispetto alla natura, in forza della sua partecipazione all’ordine soprannaturale della grazia), e superata anche la visione “metafisica” delle varie filosofie (che avevano pur sempre riconosciuto all’uomo un tratto specifico, distintivo e irriducibile alla pura naturalità, nella sfera del-

lo “spirito”), si è finalmente approdati a una visione “positiva”, ossia scientifica, nella quale anche l’uomo viene indagato e compreso utilizzando le categorie della conoscenza scientifico-sperimentale, col risultato di farne un essere totalmente immerso nel mondo naturale e contraddistinto in esso, al massimo, da un grado particolarmente elevato di complessità. L’inserimento totale dell’uomo nell’alveo della natura sarebbe dunque il punto di arrivo, la maturata consapevolezza di un progresso plurisecolare, che ci ha guarito da alcune orgogliose illusioni infantili.

Eppure, come dicevamo poco sopra, questo presunto punto di arrivo è in realtà un regresso verso un punto di partenza: infatti la storia della filosofia occidentale – ossia della riflessione consapevole dell’uomo a proposito del reale – ci indica che all’inizio l’uomo considerò se stesso come parte della natura, come cosa fra le cose, e che solo dopo alcuni secoli di maturazione del pensiero filosofico pervenne a scoprire la propria specificità. Più esattamente, è con Socrate che si staglia nettamente e imperiosamente la domanda: “che cosa è l’uomo?”, qual è la sua essenza? Domanda che corrisponde al noto invito “conosci te stesso”. La risposta socratica, come noto, fu: “l’uomo è la sua anima”, e con ciò iniziò quel tragitto, subito approfondito da Platone e da allora non più abbandonato dal pensiero occidentale, che consistette nell’indagare ciò che fa dell’uomo un essere diverso dalla semplice natura, pur trovandosi immerso e radicato in essa. Da questo punto di vista, possiamo dire che le famose dimostrazioni platoniche dell’immortalità dell’anima costituiscono i primi tentativi di “dimostrare l’esistenza dell’uomo”, ossia di provare razionalmente che “esiste” nel mondo un essere (o, se si vuole, un tipo di esseri) irriducibile – perché *essenzialmente* diverso – all’ordine della naturalità; sia questa la pura naturalità della materia inanimata, sia essa la naturalità esclusivamente biologica. Quando venne a innestarsi su questo ciclopico sforzo e guadagno speculativo (che comportò niente meno che l’invenzione o la scoperta della *metafisica*) il contributo del messaggio biblico-cristiano (che aggiunse a tale scoperta *razionale* il supplemento *rivelato* della partecipazione per grazia alla natura divina), si pervenne al culmine dell’antropologia occidentale: culmine, dunque, ben diverso da quella presunta visione intuitiva, ingenua, infantile, che la concezione positivista vorrebbe identificarvi. Se poi vogliamo lasciar da parte il contributo dell’aspetto religioso, sarà sufficiente ricordare che l’apporto più rilevante e riconosciuto che il pensiero *moderno* ha arrecato alla filosofia è

lo studio della *soggettività*, ossia, una volta ancora, di quella dimensione del reale che non si riduce alla materia e alle sue leggi.

Se le cose stanno in questi termini, è del tutto spontaneo chiedersi come mai una simile conquista, un simile guadagno abbia potuto appannarsi e quasi andar perduto. La risposta a questo interrogativo ci sembra possa essere la seguente: con l’avvento dell’età moderna, l’Occidente ha operato un nuovo guadagno, ossia ha scoperto un nuovo metodo particolarmente efficace e fecondo per far avanzare la conoscenza, specialmente per quanto riguarda il mondo naturale. Questo metodo è la *scienza* e, dal terreno della ricerca naturalistica, esso si è mostrato capace di parecchie estensioni anche ad altri settori. In parte grazie alla sua novità, in parte grazie alla grande messe di risultati conseguiti alla sua adozione, esso ha talmente affascinato le menti, da far ritenere che potesse, o addirittura dovesse, rimpiazzare tutti gli altri strumenti di conoscenza. La conseguenza è stata che gli ambiti del reale, o anche semplicemente le dimensioni e gli aspetti della realtà che non si possono indagare o padroneggiare attraverso questo metodo sono stati gradatamente trascurati, sono apparsi non intelligibili, e quindi progressivamente emarginati e tendenzialmente ritenuti inesistenti.

È un fatto del quale non ci si deve stupire e del quale va compresa la natura strettamente storica. In fondo, è inevitabile che l’uomo applichi a tutta la conoscenza della realtà le categorie e le forme di pensiero che in una determinata epoca storica risultano dominanti e che, inevitabilmente, ne conseguono una insufficienza nella conoscenza e nella comprensione di quelle dimensioni della realtà cui tali forme di pensiero risultano meno adeguate. Così è innegabile che l’impostazione metafisica e deduttivistica del pensiero greco classico ha smorzato le potenzialità conoscitive della ricerca naturalistica e della stessa medicina, per le quali è indispensabile un cospicuo intervento dell’indagine empirica e delle metodologie induttive e di osservazione. Così è pure innegabile che la fortissima connotazione teologico-trascendente del pensiero medioevale cristiano abbia comportato una scarsa capacità di indagine del mondo della natura, e anche di molte “realtà terrestri” del mondo umano. Non diversamente, dobbiamo riconoscere che la difficoltà che l’uomo contemporaneo incontra nel “rappresentarsi” forme di realtà non catturabili mediante la concettualizzazione scientifica è una conseguenza naturale del grande sviluppo delle scienze. Proprio per questo, tuttavia, possiamo considerare la situazione senza eccessivi accenti di drammaticità. In fon-

do, si tratta di riconoscere che il vero progresso consiste nel salvaguardare *tutti* i guadagni storicamente conseguiti, e nel renderli fra loro compatibili e armonizzati in una sintesi che *va di volta in volta ricostruita* a partire dalle nuove conoscenze e consapevolezze conquistate. Il che, in primo luogo, richiede la presa di coscienza delle limitazioni di quelle categorizzazioni e di quelle ottiche concettuali che pure – nei loro specifici settori di applicazione – hanno consentito avanzamenti di grande rilievo. Applicata al nostro problema, questa raccomandazione significa un invito a ricostruire una sintesi più avanzata, che affermi un superamento della “naturalizzazione” dell’uomo, pur essendo capace di tener conto di quanto circa la sua “naturalità” abbiamo potuto conoscere in seguito alle varie letture scientifiche che di esso sono state offerte.

Le estrapolazioni di natura scienziata di cui abbiamo detto sono state facilitate da una mossa che, all’inizio, parve un’accorta misura strategica volta a salvaguardare l’irriducibile specificità dell’uomo, ossia dal più volte menzionato *dualismo cartesiano*, sui cui equivoci e inadeguatezze abbiamo già espresso un giudizio fortemente critico. Abbiamo pure già visto come la prospettiva naturalista non sia davvero superata neppure all’interno di quelle scienze che tengono conto di due dimensioni della realtà umana ben difficilmente occultabili, ossia quelle dell’*intenzionalità* e del *senso*. Si tratta delle “scienze umane” che hanno spesso adottato (incuranti delle forzature che ciò comporta) criteri metodologici il più possibile vicini ai procedimenti sperimentali, e perfino alle schematizzazioni matematiche, delle scienze naturali, e accettato proprio l’esclusione di parametri di senso, di intenzionalità, di valore, di libertà nei loro modelli esplicativi. Dalla psicologia, alla sociologia, alla storia, all’economia, alla linguistica, all’antropologia culturale, si è adottata la strategia della ricerca di cause agenti sull’uomo *dall’esterno*, e capaci di *determinarne* modi di essere e comportamenti: la prova della scientificità di una ricerca viene molto spesso collocata nella capacità di individuare, anche nel caso dell’uomo, veri o presunti *meccanismi* (genetici, neurofisiologici, psichici, sociali, ambientali, economici, culturali, politici) che finiscono con lo svuotare, per l’appunto, di senso l’intera sfera del suo essere e del mondo che esso costruisce: questo è il *risultato* di un sistema intricato di determinismi che non dipendono da lui e che lo condizionano da ogni lato.

Di fronte al dilatarsi di tali scienze, della loro influenza e della loro credibilità (che in molti casi è di gran lunga inferiore alle ragioni di

affidabilità e credibilità che esse effettivamente posseggono) assistiamo ormai a uno svuotamento di senso della *vita* umana, intesa nella pienezza del termine, in quella pienezza, cioè, che consiste nell’assumerla come la *totalità* delle dimensioni dell’*umana esistenza*. La “vita” tende ormai ad assumere un senso esclusivamente biologico, sia pure allargato, ossia allargato a quelle dimensioni della biologicità in cui sono fatti confluire anche quei fattori più complessi che caratterizzano una specie vivente giunta a un grado particolarmente elevato dell’evoluzione biologica e che, pertanto, è sede di fenomeni e di “meccanismi” più complicati, ma non essenzialmente diversi rispetto a quelli del metabolismo o dell’organizzazione fisiologica. Abbiamo menzionato questo ampio spettro di discipline scientifiche “naturalistiche” per dare un’idea di quanto sia variegato il panorama della naturalizzazione dell’uomo, ma in questa sede potremo dare qualche maggiore dettaglio soltanto su una disciplina nella quale la tecnoscienza entra in contatto più stretto con l’immagine che l’uomo contemporaneo può farsi di se stesso, la cosiddetta *intelligenza artificiale*, per la cui trattazione abbiamo già fornito, in sezioni precedenti di questo libro, un certo numero di nozioni che ne faciliteranno ora la presentazione.

3.2 L’intelligenza artificiale

Le *macchine* informatiche hanno prodotto un salto di qualità in quel ruolo paradigmatico di “strumento di intelligibilità” che la macchina ha svolto, come già si è visto, sin dagli inizi (e che consiste nella convinzione che, se di un determinato oggetto o processo riusciamo a farci un modello-macchina, ossia a concepirlo in modo soddisfacente *come una particolare macchina*, lo avremo completamente compreso, poiché la macchina “non ha misteri”). Ovviamente il tipo di macchina che verrà immaginato sarà in conformità con le conoscenze scientifiche disponibili nel momento in cui si propone il modello. Il fatto nuovo è che le macchine informatiche non si prestano solamente a modellizzare la costituzione fisica dell’uomo (come facevano le macchine di tipo tradizionale), ma anche quelle che, in senso lato, possiamo chiamare le sue dimensioni *mentali*. Il campo della cosiddetta *intelligenza artificiale*, infatti – come abbiamo già illustrato in precedenza – ha per un verso un aspetto puramente *pratico-ingegneristico*, secondo il quale si mettono a profitto le conoscenze informatiche per “emulare” le operazioni della mente

umana, ossia per raggiungere certi risultati delle attività di pensiero in modo più rapido, affidabile, efficiente di quanto possa fare l'uomo usando la sua intelligenza. Per altro verso, l'intelligenza artificiale ha anche un aspetto teorico, che riguarda la comprensione e l'interpretazione dei *fenomeni mentali* attraverso la loro "simulazione" (o meglio, in italiano, "imitazione") mediante computer. In questo caso è molto facile il passaggio dalla constatazione che parecchie attività mentali si possono "imitare" mediante un computer all'affermazione generalizzante che, in ultima istanza, la mente è semplicemente l'insieme delle prestazioni di quel complicato computer che è il nostro cervello. In altri termini, quando, attraverso i calcolatori, intendiamo *imitare la costituzione e il modo di funzionare* del vivente e dell'uomo siamo facilmente indotti a ritenere che in tal modo si raggiunga una *comprensione e spiegazione* della loro natura. Il che in parte è vero, a condizione che a tale *modello esplicativo* non si attribuisca un senso *riduzionistico*: il vivente "non è altro che" un calcolatore molto complesso; il pensiero "non è altro che" un sistema di simboli recanti una informazione trasformata, elaborata e tradotta da quel particolare calcolatore che è il cervello. Da ciò seguirebbe infatti che per la comprensione e spiegazione *completa* di tali entità sia sufficiente ricorrere alla base esclusiva delle *scienze fisiche*, corredate dalle conoscenze *formali* dell'informatica.

Con ciò non vogliamo demonizzare il programma "imitativo" dell'informatica: esso può essere, e si è già mostrato in realtà, molto fecondo, quando lo si consideri nella sua natura di "progetto scientifico", ossia come sforzo di chiarire, *dal punto di vista ristretto e specializzato* di una determinata scienza, un certo insieme di fatti (in questo caso la costituzione e il funzionamento dei viventi e dell'uomo stesso). A tal fine occorre prima assicurarsi una determinazione e descrizione sufficientemente precisa di *ciò che si vuol spiegare* e poi procedere a proporre dei modelli esplicativi di tale realtà. Il frutto dell'indagine sarà la messa in luce di alcuni *aspetti oggettivi* della realtà studiata, senza la pretesa che la spiegazione sia *esaustiva*.

Non possiamo neppure accennare alle molte controversie scientifico-filosofiche cui ha dato luogo questo ingresso dell'informatica nella modellizzazione dell'uomo secondo i concetti e i principi di una determinata scienza, che entra sul terreno di quanto è stato sempre considerato il tratto specifico della natura umana, ossia il pensiero, la coscienza e la libertà. Ci basti osservare che in questo modo l'informatica si ritaglia un posto di primo piano nell'ambito delle co-

siddette *scienze cognitive* e può incoraggiare la prospettiva materialista secondo cui una scienza della materia, arricchita del nuovo concetto di *informazione*, può assolvere al compito di una spiegazione esaustiva della natura umana, rendendo superflua la nozione di *spirito* o, in generale, di una componente non materiale di questa natura. Che questa posizione sia intrinsecamente sospetta può risultare dal fatto che, anche in precedenza, le varie proposte *riduzioniste*, basate sull'utilizzazione di modelli-macchina ispirati da diverse scienze naturali, pretendevano di essere esaustive e hanno poi dovuto essere ridimensionate in quanto gli aspetti della natura umana che "lasciavano fuori" si sono rivelati insopprimibili e irriducibili. Anche l'informatica, dopo tutto, è solo una scienza *parziale* e ci sarebbe da stupirsi che possa fornire gli strumenti per una comprensione *integrale* dell'uomo. Tuttavia ciò non toglie, in primo luogo, che essa abbia contribuito a scandagliare molti aspetti scientificamente comprensibili della complessa realtà umana e che, in secondo luogo, abbia posto una sfida alla filosofia e alla cultura per approfondire quali sono per davvero le dimensioni della realtà umana che richiedono un tipo di scandaglio non scientifico e tuttavia compatibile con i risultati delle scienze.

Le indicazioni di tali *ulteriori aspetti* non mancano, e si possono ricondurre al ruolo di quella evidenza *fenomenologica* di tipo interiore e immediato che non si lascia confinare nei tipi di concettualizzazione e nelle metodologie di verifica intersoggettiva delle varie scienze, ma che costituisce la base della *coscienza di sé* che tutti gli uomini hanno e che entra in gioco nella sottile trama delle loro relazioni interpersonali. Pertanto, la società dell'informazione, in cui l'ecosistema dell'uomo si è ulteriormente complessificato in senso tecnoscientifico, è anche quella in cui l'uomo è chiamato a trovare un senso ancor più approfondito della sua *identità*, al fine di non restare vittima di quei limiti della tecnoscienza informatizzata di cui si è detto in precedenza. Se si produrrà questo sforzo di *complementazione* tra visione tecnoscientifica e punti di vista filosofici, estetici, affettivi, introspettivi, religiosi, interpersonali, il risultato potrà essere quello di un arricchimento del significato dell'uomo in questa società informatizzata.

I ragionamenti precedenti possono dare l'impressione che le eventuali inadeguatezze del programma dell'intelligenza artificiale si collochino nella sua incapacità di offrire una "imitazione" plausibile dell'*interiorità morale* dell'uomo, ma che esso abbia conseguito il

successo auspicato nel campo delle attività *conoscitive*. In realtà non è così e cercheremo di mostrarlo riassumendo in poche considerazioni un ragionamento che meriterebbe ben più dettagliate precisazioni. Fra le attività umane ne esiste una classe, che nella tradizione venivano chiamate “transitive”, le quali consistono nel provocare un certo cambiamento nello “stato del mondo esterno” (come produrre un oggetto, spostare delle cose, scrivere dei segni su un foglio), e altre che venivano chiamate “immanenti” e il cui effetto consiste nella modificazione dello “stato del soggetto” stesso che le compie (come vedere, ricordare, gioire, volere). Per utilizzare una terminologia più moderna, chiameremo *operazioni* le prime e *azioni* le seconde. Ebbene, le operazioni si possono definire in modo univoco indicando lo “stato del mondo” prima e dopo la loro esecuzione, e ciò indipendentemente dalla *modalità della transizione* e dalla considerazione dell’agente che le pone in atto (per esempio, l’operazione di scrivere è definita dal fatto che prima di essa un foglio appare privo di segni e dopo reca tracciati dei segni, indipendentemente dal fatto che tale operazione sia stata compiuta da un individuo umano, da una macchina da scrivere, dalla stampante di un computer). Pertanto il fatto che due enti sappiano compiere *le stesse operazioni* non dice pressoché nulla circa la loro natura. Ciascuno le compie *alla sua maniera*. Del resto, anche di fronte a due macchine “calcolatrici”, se l’unica informazione di cui disponiamo è che esse sanno eseguire la somma di due numeri, non sappiamo se esse sono del vecchio tipo delle calcolatrici meccaniche a manovella, piuttosto che del tipo dei primitivi calcolatori a valvole termoioniche o dei più recenti calcolatori a transistor, ossia non siamo informati circa la loro *natura*.

Nel caso dell’uomo, alcune attività immanenti possono dar luogo a risultati che hanno pure le caratteristiche di operazioni, come è il caso appunto del *calcolare*, che l’uomo esegue “dentro di sé” con la mente, ma che da secoli ha saputo anche tradurre, ossia *rappresentare*, mediante *operazioni* che si eseguono su *simboli materiali*. Nessuna meraviglia, pertanto, che l’uomo stesso sia stato poi capace di inventare macchine in grado di eseguire tali operazioni su simboli materiali, e quindi eseguire dei calcoli. Non diversamente, da millenni l’uomo è capace di “ragionare”, ossia di ricavare *conseguenze logiche* da premesse date, in modo spontaneo e intuitivo, ma solo Aristotele ha compiuto il passo decisivo di scoprire una serie di *operazioni formali* che, senza affatto “ricalcare” i procedimenti intuitivi del nostro ragionare corrente, sono in grado di “rappresentarli” o tradurli in

una serie di *regole per manipolare i simboli* con i quali rappresentiamo le nostre operazioni mentali. Già abbiamo visto come da questa fondamentale scoperta derivò più tardi la consapevolezza che anche la deduzione logica si può rappresentare come un calcolo (Leibniz), a cui seguì nell’Ottocento la costruzione dei primi calcoli logici e lo sviluppo della logica matematica. A partire da quel momento era già implicito che, quando si fosse saputa costruire una macchina per calcolare (ossia in grado di manipolare secondo regole esplicite certi simboli materiali, che possono essere tanto segni grafici quanto impulsi elettrici o altro ancora), questa sarebbe stata anche in grado di compiere le operazioni della deduzione logica, ossia di una fra le caratteristiche più notevoli del *pensiero umano*, e così di fatto avvenne. A questo punto, però, dobbiamo far valere la nostra osservazione generale: il fatto che due entità possano eseguire le medesime operazioni non implica che siano della stessa *natura*, poiché ciascuna le esegue *a modo suo*.

Quindi, la domanda “possono pensare le macchine?” è ambigua, poiché se per pensare intendiamo soltanto saper eseguire certe *operazioni* potremmo dire (salvo ulteriori precisazioni molto complesse) che forse le macchine sanno pensare, ma se per pensiero intendiamo l’*attività* di cui abbiamo diretta esperienza in quanto attività umana, dobbiamo dire che non sanno pensare. Qualcuno potrebbe tuttavia chiedere: “in che cosa consiste dunque la differenza fra pensiero delle macchine e pensiero umano?”. Rispondiamo che consiste nel fatto che la macchina non è *consapevole* delle operazioni che compie e, per di più, che siamo noi uomini che a certi simboli materiali e a certe manipolazioni di tali simboli da noi stessi predisposte, e infine alle catene di simboli risultanti, diamo il *significato*, per esempio, di un’addizione di numeri, piuttosto che di un’inferenza sillogistica o altro ancora. La macchina “non sa” che cosa sta facendo, non diversamente dalla matita con cui scriviamo su un foglio o l’automobile con cui compiamo un viaggio. Se volessimo approfondire questo discorso, potremmo dire che questa caratteristica *in più* (che si incontra già nel caso degli animali in forme meno potenti) è l’*intenzionalità*, vale a dire quella capacità di *interiorizzare* il mondo sotto forma di *rappresentazioni* che la materia inanimata non possiede e che non possiedono neppure i manufatti, per quanto complessi, che otteniamo utilizzando tale materia e assemblandoli secondo progetti basati sulle sue leggi. In breve, possiamo dire: “per comprendere e spiegare quanto sanno fare tali meravigliose macchine la presenza dell’in-

tenzionalità *non è necessaria*; a voi dunque l'onere di dimostrare che essa è tuttavia presente". Nessuno ha mai dato questa prova, ma i riduzionisti si sono limitati a coltivare l'illusione di convincerci che l'intenzionalità "non è altro che" il risultato di operazioni materiali molto complesse, ossia che la sua diversa natura è soltanto *apparente*. Una vecchia storia dogmatica che ci siamo sentiti ripetere da secoli e non ha mai convinto nessuno.²¹

Nelle sezioni precedenti abbiamo visto come gli intrecci tra cibernetica, informatica, scienza dei calcolatori e scienze biologiche siano diventati strettissimi e, in particolare, si siano rivelati fecondi nel campo delle *neuroscienze*. Risulta quindi naturale estendere, sia pur rapidamente, il discorso sull'intelligenza artificiale anche a queste ultime. Prescindendo, infatti, dagli splendidi progressi da esse compiuti nelle indagini sul funzionamento del sistema nervoso e del cervello, interessano ai nostri fini le ricerche e i risultati raggiunti nel descrivere e comprendere i fenomeni neuronali correlati con le più diverse attività *mentali*, dalla percezione agli stati emotivi, all'attenzione, alla memoria, alla volizione e via dicendo. Anche in questo caso l'atteggiamento corretto appare quello di riconoscere appieno la validità di quanto viene *asserito*, senza lasciarsi indurre a *negare* quanto non rientra nelle spiegazioni offerte. In concreto, possiamo senza dubbio ammettere che una data percezione di colore, per esempio, è sempre correlata con una determinata eccitazione neuronale, e possiamo magari spingerci a credere che essa sia "causata" da essa, senza con ciò *identificare* le due cose, ossia un fenomeno fisiologico, con un fenomeno psichico. Anche qui è l'*intenzionalità* che si aggiunge come caratteristica diversa da quelle che sono specifiche dei fenomeni *puramente* biologici, e ciò senza toccare campi ben più problematici come quello della coscienza, dell'autocoscienza, della libera scelta.

Concludendo: ben vengano, nello sforzo di una migliore comprensione dell'essere umano, tutti i contributi delle scienze naturali, formali e "umane", e lasciamo che ciascuna di esse intervenga con quel suo atteggiamento di "riduzionismo metodologico" e di "determinismo programmatico" di cui abbiamo riconosciuto la legittimità. In tal modo conseguiremo conoscenze il più possibile oggettive e rigo-

²¹ Per maggiori dettagli circa questo importante tema mi permetto di rinviare al saggio: E. Agazzi, "Operazionalità e intenzionalità: l'anello mancante dell'intelligenza artificiale", in S. Biolo (a cura di), *Intelligenza naturale e intelligenza artificiale*, Marietti, Genova 1991, pp. 1-13.

rose circa molti *aspetti* della complessa realtà umana. Ma teniamo conto che questa è appunto una realtà *globale e complessa*, e che proprio per tale ragione i diversi aspetti debbono *correlarsi* e risultare *compatibili*, che debbono integrarsi in una unità di tipo *sistemico* nella quale i diversi riduzionismi si stemperano così come i diversi sforzi deterministici, cosicché alla fine l'uomo risulta non interamente leggibile da nessun punto di vista, ma meglio comprensibile se, in questo o quest'altro *problema* che lo riguarda, sappiamo trovare *tutti* gli apporti conoscitivi veramente pertinenti e se, al di sopra dei vari determinismi di natura genetica, neurofisiologica, psichica, sociale che possono limitare la sua *libertà d'azione*, riusciamo a riconoscere in essi le *condizioni esistenziali* nelle quali si esercita la sua intatta *libertà di scelta*.

Ma perché questo discorso non rimanga vago, è indispensabile riconoscere che l'uomo, per sua *natura*, ha sviluppato e coltivato anche molti altri modi di rapportarsi al mondo, per cercar di comprendere se stesso, di dare un senso e un orientamento alla sua vita (dall'arte, alla filosofia, alla religione) e che il contributo conoscitivo che le scienze recano alla sua capacità di comprendersi sarebbe radicalmente frustrato se, nello stesso tempo, gli impedissero di attingere anche a quelle altre fonti di conoscenza e di "esperienza" di cui si è detto. Ancora una volta constatiamo che le scienze possono illuminarci pienamente soltanto a condizione di non cadere nello scientismo. Non intendiamo ora parlare di questi altri "punti di vista" sull'uomo e sul mondo, dal momento che saremo spinti irresistibilmente a prenderli in considerazione per affrontare alcuni fondamentali problemi che vengono oggi dibattuti circa la necessità di "orientare" la tecnoscienza.

GLI IMPATTI DELLA TECNOSCIENZA SUL “MONDO DELLA VITA”

1. Il problema della “neutralità della scienza”

Nel corso di quest'opera abbiamo considerato la scienza essenzialmente come una forma di *sapere*, in conformità con tutta la tradizione della cultura occidentale che ha usato questo termine (sia pure con denotazioni volta a volta diverse) per indicare la forma più perfetta del sapere. Come si consegue tale sapere? Sempre in seno alla cultura occidentale, la risposta a questa domanda è stata offerta da quel ramo della filosofia che viene chiamato “teoria della conoscenza” o, in italiano, “gnoseologia” e studia essenzialmente come il soggetto umano arrivi a conoscere in senso generale, utilizzando i sensi e l'intelletto. Dopo la costituzione della scienza naturale moderna, come si è visto, e soprattutto in seguito ai suoi sviluppi in senso “critico” e alle sue vere e proprie “crisi”, si è venuta costituendo (praticamente a partire dagli inizi del Novecento) una branca specializzata della filosofia chiamata “filosofia della scienza” o, in italiano, anche “epistemologia” (in inglese *epistemology* significa invece teoria della conoscenza in senso generale, dal momento che in tale lingua non esiste il vocabolo analogo a “gnoseologia”). Comunque anche in questo caso si tratta di uno studio che si occupa della *conoscenza* scientifica, ossia della scienza considerata come un *sistema di sapere* caratterizzato dall'impiego di suoi strumenti logici e metodologici. In queste indagini non viene preso in considerazione il fatto che questo sapere si consegue non solo guardando e pensando, ma anche *facendo*, operando, e la cosa poteva passare inosservata fintanto che si considerava il *metodo sperimentale* come un inevitabile momento pratico che il ricercatore individuale doveva affrontare per controllare le sue ipotesi.

La situazione incominciò a mutare in modo sempre più rapido e profondo man mano che, con l'avanzare della scienza moderna, apparivano sempre più forti due caratteristiche: il suo dipendere in misura significativa dalla disponibilità di *strumenti* tecnologicamente

complessi e raffinati e dal suo divenire un'impresa sempre più *collettiva*. Entrambi questi caratteri sottolineano che quella della scienza è anche un'attività e, specie dopo il costituirsi della tecnoscienza attuale, si tratta di un'attività a forte dimensione sociale, nel doppio senso di dipendere dal contesto sociale (a livelli più o meno ampi) per la sua attuazione e di avere notevoli ricadute di ogni genere sulla vita della società stessa. Senza spendere troppe parole, sarà sufficiente menzionare, tra i fattori della dipendenza della scienza dalla società, la necessità di disporre di finanziamenti, istituzioni di ricerca, laboratori, personale, infrastrutture, di poter contare su industrie specializzate nella produzione di determinati strumenti e, nel caso della ricerca applicativa, di essere alimentata da continue richieste di conoscenza provenienti dalla tecnologia, dai settori della produzione, dell'economia, del potere militare. Tra gli impatti più notevoli della scienza sulla società basterà menzionare da un canto il contributo insostituibile che la tecnoscienza arreca allo sviluppo di quasi tutti i settori della vita collettiva, ai progressi della medicina non meno che a quelli delle comunicazioni, ma anche alle ricadute negative come inquinamento ambientale, squilibri sociali, uso indiscriminato di nuove possibilità tecnologiche che oggi sono spesso additati agli occhi dell'opinione pubblica.

Proprio questa dimensione sociale della tecnoscienza ha alimentato attorno alla metà del Novecento un dibattito molto acceso sulla *neutralità della scienza* che, ridotto all'essenziale, può essere considerato come un attacco contro l'idea della scienza come conoscenza oggettiva e rigorosa della realtà (accusata invece di essere un prodotto sociale in cui si riflettono gli interessi delle classi dominanti), a cui rispondevano i difensori della "neutralità della scienza", i quali sostenevano che essa *possiede* la struttura e i mezzi conoscitivi per conservare la sua indipendenza rispetto a simili condizionamenti e che *deve* conservare tale sua indipendenza. La lunga disputa fu alquanto inconcludente perché in essa non vennero distinti i due aspetti, quello della scienza come sistema di *sapere* e come sistema di *attività*. Considerando il primo, si riconosce che la scienza ha effettivamente la struttura e i mezzi per fornire conoscenze oggettive e rigorose che sono indipendenti da motivazioni e condizionamenti sociali, essa quindi è e deve essere "neutrale" in questo senso. D'altro canto essa non può e nemmeno deve essere "neutrale", se la si considera in quanto *attività* umana, che dipende legittimamente da richieste di tipo sociale e deve anche rispondere a esigenze provenienti dalla società. Il vero proble-

ma, quindi, è quello di rendere compatibili questi due aspetti, queste due dimensioni della tecnoscienza, problema che ha assunto più recentemente caratteristiche di urgenza pratica sotto un'altra forma, quella dei *controlli* e dei *limiti* dell'attività scientifica e tecnologica in funzione di criteri di carattere morale, sociale e politico.

2. La tecnoscienza in una prospettiva sistemica

2.1 L'ideale della libertà della scienza e i suoi limiti

Per un lungo periodo di tempo la crescita costante della scienza e la sua diffusione nei più diversi campi della conoscenza poté essere considerata come rivendicazione di un fondamentale *diritto umano*: quello di poter liberamente indagare qualsiasi argomento senza accettare limitazioni preconcepite basate su autorità stabilite o posizioni dogmatiche. In questo senso, la scienza rappresentava il soddisfacimento concreto del diritto, proprio di ogni uomo, a perseguire la ricerca della verità. Pertanto, si può affermare che lo sviluppo della scienza nell'epoca moderna è stato da un lato una conseguenza e dall'altro un elemento di promozione di quell'atteggiamento di "libero pensiero" che ha caratterizzato la cultura occidentale da almeno due secoli a questa parte. La scienza divenne così una forma dell'attività umana caratterizzata da alcuni tratti altamente idealizzati in quanto forma di conoscenza e, per altro verso, anche moralmente e socialmente benemerita in quanto tesa a mettere al servizio del genere umano le conoscenze progressivamente raggiunte. Proprio per questo possiamo comprendere l'altissima stima di cui la scienza ha goduto per moltissimo tempo sia sul piano del prestigio sociale sia entro l'ambito delle attività intellettuali proprie del genere umano. Ciò spiega, in particolare, quella sorta di venerazione per la scienza che si verificò specialmente all'interno della cultura positivista del XIX secolo e che continuò almeno fino alla metà del XX secolo.

Questa situazione subì un drastico mutamento verso la metà del Novecento a causa di diversi fattori. Il colpo più duro fu l'esplosione della prima bomba atomica, un fatto che mise brutalmente la coscienza morale degli scienziati di fronte al problema del loro coinvolgimento nelle applicazioni delle loro scoperte: per usare un'espressione assai significativa del fisico Robert Oppenheimer (1904-1967), l'esplosione della prima bomba atomica costituì il "peccato

originale” che risvegliò la comunità scientifica dallo stato di innocenza in cui era sino ad allora vissuta. Inoltre, anche prescindendo da casi limite come questo, si accrebbe la consapevolezza che non era più possibile continuare a considerare la libertà, l'indipendenza e il puro desiderio di conoscenza come le principali caratteristiche della ricerca scientifica. Si comprese che una parte considerevole (forse la più grande) della ricerca scientifica veniva compiuta al servizio di qualche “committente”, e cioè le forze armate, la pubblica amministrazione, il mondo degli affari o dell'industria, dei quali non si poteva certo affermare che fossero molto interessati alla ricerca della verità, quanto piuttosto alla realizzazione di certi scopi pratici. In tal modo, gli scienziati “ingaggiati” da simili organismi non potevano evitare di essere compromessi, almeno in una certa misura, nella promozione di quei fini pratici restando, di conseguenza, coinvolti nelle responsabilità morali che essi implicavano.

Parallelamente a questo processo di revisione delle effettive condizioni della scienza pura, se ne sviluppò uno simile concernente quella applicata. La concezione secondo cui la scienza applicata altro non è che uno sfruttamento della ricerca scientifica a beneficio dell'umanità dimostrò di possedere molti punti deboli: non solo a causa dell'esistenza delle già citate applicazioni “dannose”, ma anche perché si notò che una gran quantità di applicazioni “utili” può condurre a conseguenze pericolose, a inattesi effetti collaterali negativi, e anche a danni futuri incontrollabili e di tremende proporzioni. L'inquinamento ambientale, il disordine sociale causato dallo sviluppo tecnologico, il consumo delle risorse energetiche e naturali, il rischio di compromettere la futura sopravvivenza dello stesso genere umano sono alcuni degli argomenti discussi con maggiore frequenza, e pertanto non abbiamo bisogno di prenderli in considerazione in modo dettagliato in questa sede. Conseguentemente a tutto quanto abbiamo detto sinora, la scienza cessò di essere considerata come qualcosa di totalmente e necessariamente positivo e, alla stregua di altre attività umane, dimostrò la propria ambivalenza; sorse, in altri termini, il problema di “compensare” i suoi costi.

2.2 I costi della tecnoscienza

Il concetto dei “costi” della scienza deve essere inteso in un senso piuttosto vasto, specialmente perché dobbiamo ormai parlare piuttosto di tecnoscienza. Essi non sono soltanto di tipo econo-

mico, ma includono anche quegli aspetti di deterioramento ambientale, ecologico e sociale che abbiamo brevemente menzionato in precedenza, e altri ancora. In altri termini, mentre prima della rivoluzione industriale la scienza era in larga misura il prodotto di sforzi individuali e sacrifici personali, al giorno d'oggi essa costituisce principalmente (anche se non solo) un prodotto sociale, il quale pretende molto dalla stessa società e ha su di essa un considerevole impatto. È pertanto del tutto ovvio che la società sia autorizzata a chiedere qualcosa in cambio dei costi che si trova a dover affrontare. Limitandoci a considerare gli aspetti più noti del problema, risulta chiaro, per esempio, che la ricerca scientifica contemporanea, sia essa pura o applicata, ha bisogno di essere sostenuta da notevoli quantità di denaro, e se tale denaro viene destinato alla scienza, automaticamente viene sottratto ad altre destinazioni sociali (per esempio, ospedali e assistenza sociale). Come può la scienza legittimare una simile sottrazione senza pagare alla società qualcosa in cambio dei sacrifici che questa accetta per assicurare il suo progresso?

2.3 Il problema del “controllo sociale” della tecnoscienza

Può sembrare che la soluzione di un simile conflitto sia facile: stabiliamo un controllo sociale completo sulla tecnoscienza in modo che, mediante una pianificazione ben organizzata della ricerca scientifica e delle sue applicazioni, risulti possibile dirigerla verso la soluzione di problemi socialmente rilevanti. Effettivamente, questo modo di risolvere il conflitto è sostenuto oggi da molte persone, ma non può non suscitare una miriade di perplessità. Tanto per cominciare, la realizzazione concreta di una simile pianificazione potrebbe essere veramente efficace soltanto se si attribuisse al potere pubblico il compito di portarla a termine; ma, in tal caso, l'innocuo concetto di “controllo sociale” della scienza si trasformerebbe automaticamente in quello, assai meno innocuo, di “controllo politico”, e quest'ultimo, com'è noto, non può essere considerato equivalente al primo. In effetti, il controllo più efficace della tecnoscienza è sempre stato ottenuto, e lo è tuttora, dai regimi totalitari, il che già dimostra che una sostanziale eliminazione della libertà potrebbe essere il pre-requisito nascosto per imporre alla scienza un qualche tipo di “disciplina”. Ma anche nel caso dei regimi democratici, non v'è dubbio che il controllo politico applicato in qualsiasi sfera della vita sociale significa inevitabilmente, almeno in una certa misura, la sot-

tomissione a valutazioni di parte, il pericolo di intromissioni ideologiche, la lotta contro gli avversari politici e la preferenza accordata agli amici e, per essere brevi, l'introduzione di criteri *estrinseci* che nulla hanno in comune con le caratteristiche intrinseche della scienza o con le sue reali necessità. In altre parole, questa supposta soluzione altro non farebbe che continuare e addirittura rafforzare quella situazione della scienza come "serva del potere" che fu giustamente attaccata nel corso dei dibattiti sulla neutralità scientifica.

Ma ancora più importante di queste considerazioni pratiche sembra essere una questione di principio: se accettassimo l'idea di un controllo sociale della scienza inteso come pianificazione totale della ricerca, al punto da renderla completamente dipendente da certi fini che si vogliono raggiungere, dovremmo pure accettare come conseguenza sgradita un'eliminazione pratica della libertà della scienza e, in tal modo, non avremmo raggiunto la conciliazione di due diritti in conflitto tra loro, ma soltanto la soppressione di uno di essi a favore dell'altro. Ma non meno importante è il fatto che, accettando che i fini della ricerca scientifica vengano determinati da qualche potere estraneo alla scienza, ci troveremo ancora una volta a legittimare e a ingigantire una situazione inaccettabile che è stata legittimamente sottoposta a critica in quanto costituisce uno degli aspetti più negativi della scienza contemporanea; gli scienziati, cioè, verrebbero esclusi dalla determinazione dei fini della loro ricerca, tenuti in una posizione di non-responsabilità e con il compito di eseguire decisioni prese da qualche "committente". Esiste un modo per uscire da tutte queste difficoltà? Noi crediamo che un modo esista effettivamente, e che sia rappresentato dal concetto di "responsabilità della scienza".

2.4 La responsabilità della tecnoscienza in una prospettiva sistemica

L'adozione di un punto di vista sistemico può fornirci la soluzione più ragionevole dei problemi complessi sopra indicati. In sostanza si tratta di riconoscere che il sistema tecnoscientifico, che indicheremo con STS, è, all'interno di una data società, un sottosistema di *attività* che è parte del più ampio sistema sociale in cui è immerso e si trova in molteplici relazioni con parecchi altri sistemi. Il suo "ambiente globale" può essere suddiviso in un "ambiente intra-sociale" (rappresentato dal complesso di sistemi che appartengono al medesimo sistema sociale cui STS appartiene) e in un "am-

biente extra-sociale" (che possiamo considerare come la società globale cui appartiene anche la società di cui fa parte STS). In entrambi questi due grandi sottosistemi dell'ambiente globale rientrano tanto sistemi sociali quanto non-sociali. Fra i primi menzioniamo per esempio il sistema politico, quello giuridico, quello culturale, quello economico, quello militare, quello educativo, quello religioso, quello morale, oltre a STS stesso e vari altri. Fra i secondi menzioniamo, per esempio, i sistemi fisico, biologico, energetico, ecologico e via dicendo. Anche a livello di sistema globale esistono sottosistemi analoghi. Tralasciando quelli non-sociali, ricorderemo, in quanto forniti di particolare importanza, i sistemi tecnoscientifici internazionali (che abbracciano sia i STS delle altre nazioni, le organizzazioni tecnoscientifiche specificamente internazionali, sia soprattutto la vasta rete del sistema internazionale di informazione scientifica). Oltre a questi debbono essere ricordati altri sistemi internazionali sociali non direttamente collegati con la tecnoscienza, dall'ONU all'UNESCO, ai diversi sistemi economici, politici, militari, educativi, culturali. In parole povere, tutti i sistemi con i quali, in un modo o nell'altro, direttamente o indirettamente, STS può entrare in interazione.

Ogni sistema, in linea del tutto generale, è caratterizzato dal perseguimento di alcuni *fini specifici*, che si possono simbolizzare mediante *variabili essenziali*, e il suo "buon funzionamento" consiste nel fatto che i valori di tali sue variabili (opportunosamente stimati in base a criteri interni) si mantengano dentro un determinato *intervallo critico*. Se questa condizione non viene soddisfatta, il sistema funziona in modo difettoso e, se la situazione perdura e lo scarto è significativo, ciò si ripercuote sul buon funzionamento del sistema globale, grazie alla fitta rete di interazioni che, come abbiamo visto trattando della teoria generale dei sistemi, lo legano agli altri sottosistemi e, indirettamente, a tutto il sistema globale. È una cosa evidentissima se pensiamo a un sistema come l'organismo umano, in cui il buon funzionamento di ogni organo si valuta in base a certi parametri relativi a quell'organo, mentre il cattivo funzionamento anche di un solo organo si ripercuote su uno stato di malessere di tutto l'organismo. Ciò vale anche per i sistemi sociali. Nel caso specifico di STS possiamo dire che le sue variabili essenziali sono costituite: (1) dalla finalità di produrre conoscenza oggettiva, affidabile ed efficace e (2) dalla finalità di diffonderla. È del tutto ovvio che, in una società moderna, se STS non riuscisse a soddisfare in misura

adeguata tali finalità, ossia se il valore di queste sue variabili cadesse al di sotto di una certa soglia critica, non solo si produrrebbe l'atrofia di STS stesso, ma si avrebbero anche profonde ripercussioni negative sugli altri sottosistemi di quella società e sullo stato complessivo di essa.

Tutti i sottosistemi, si è detto, sono solidali tra loro, e possiamo schematizzare questo fatto in termini cibernetici dicendo che ogni sistema invia verso l'esterno degli *output* che si dirigono verso altri sottosistemi e a sua volta riceve degli *input* provenienti dal suo ambiente, ossia dagli altri sottosistemi. Come tutti i sistemi sociali, anche STS è aperto e adattativo, ossia riceve dall'esterno un'informazione e reagisce ad essa modificando il suo funzionamento in modo da preservare al meglio i valori delle sue variabili essenziali. Analizzando in modo semplice questo processo, possiamo suddividere gli *input* che entrano in qualunque sistema secondo tre parametri: le "richieste", gli "appoggi" e gli "ostacoli". Ogni sistema, per assicurare il suo migliore funzionamento, dovrà cercare di soddisfare le richieste che gli vengono dall'ambiente e sarà favorito dagli appoggi che ne riceve, mentre dovrà cercare di diminuire gli ostacoli che possono venirgli da altri sistemi, e ciò modificando in modo opportuno il suo funzionamento, ossia modificando gli *output* che invia all'esterno. Siamo di fronte al meccanismo di *feedback* che abbiamo descritto a suo tempo e ora possiamo comprendere come nessun sistema, e quindi neppure STS, possa funzionare senza "tener conto" degli altri sistemi, senza fornire loro qualcosa, senza rispettare le loro esigenze e senza riceverne in cambio gli appoggi e le richieste necessari per il proprio funzionamento.

Quanto detto è del tutto evidente per quanto riguarda, per esempio, i rapporti fra STS e il sistema economico, quello industriale, quello educativo, ma è importante osservare che ciò riguarda anche i rapporti con il *sistema morale*. Ogni sottosistema si può considerare come caratterizzato, in senso ampio, da suoi particolari *valori* (questi sono i fini che esso persegue e sono considerati *validi* all'interno del sistema globale in cui è immerso) e quanto abbiamo detto in precedenza può anche essere espresso dicendo che ogni sistema può funzionare bene soltanto nella misura in cui, mentre non rinuncia a perseguire in misura adeguata i propri valori, non mette in pericolo i valori di altri sistemi. Il sistema morale è fra quelli che promuovono i valori più generali che ispirano la vita di una società ed è ovvio, per pure ragioni sistemiche, che esso non possa fare a meno di entrare in

relazione con *tutti* gli altri sottosistemi, non già per una sorta di "superiorità gerarchica" su tutti, ma semplicemente perché nessuna *azione* umana può sfuggire al giudizio morale e, come abbiamo detto, i sistemi che stiamo considerando sono *sistemi di azioni*. Pertanto, alcune azioni cui mirerebbe il sistema economico, o quello industriale, o quello militare, possono incontrare delle opposizioni da parte del sistema morale, come anche da quello politico o da altri sistemi, e non potranno ignorarle non già per ragioni "moralistiche", ma per ragioni *sistemiche*, ossia per le relazioni di *feedback* di cui abbiamo detto.

Da quanto esposto segue immediatamente una conseguenza: le eventuali limitazioni che dovessero derivare da tale rete di correlazioni sistemiche (di cui daremo alcuni dettagli) riguardano unicamente le *azioni* in gioco. Ossia, per rimanere circoscritti al caso nostro, non potranno mai riguardare le *conoscenze* scientifiche o tecnologiche: *non esistono conoscenze moralmente proibite*, così come non ne esistono di ideologicamente, religiosamente, socialmente, economicamente, culturalmente proibite. È questo il senso corretto della *neutralità* della scienza in quanto sistema di sapere di cui abbiamo discusso in precedenza, ed è questo anche il senso della *libertà* della ricerca scientifica di cui pure abbiamo parlato. Gli unici criteri di giudizio per valutare se una certa conoscenza scientifica o tecnologica è *valida* sono quelli che la stessa tecnoscienza adotta, mentre il giudizio morale, politico, sociale, economico potranno intervenire legittimamente non già per contestare tale validità, ma, per esempio, per criticare i *mezzi* utilizzati per raggiungere tali conoscenze, oppure contestare alcune loro *applicazioni concrete*, o per mettere in guardia contro le possibili *conseguenze indesiderate a lungo termine* cui certe *utilizzazioni* di tali conoscenze potrebbero condurre, per esempio, a livello sociale o ecologico. Insomma, ogni conoscenza o azione, entro qualunque sistema, può legittimamente essere sottoposta a diversi tipi di *giudizi di valore*, alcuni dei quali sono "interni" al sistema stesso e altri sono "esterni" in quanto provengono dalla considerazione dei valori che caratterizzano altri sistemi. Il *giudizio complessivo* sopra una determinata azione dovrà risultare da una *ponderazione* (per ora ci limitiamo a questa espressione) dei diversi valori in gioco, da cui scaturirà una *decisione* circa la sua realizzazione o meno e il modo di realizzarla. Così, per esempio, si potrà pervenire a decidere di non scegliere una certa soluzione di un problema industriale perché, pur essendo "la migliore" dal pun-

to di vista economico, avrebbe un “costo sociale” troppo alto o sarebbe ecologicamente disastrosa; si cercherà pertanto una soluzione diversa che sarà oggettivamente meno buona dal punto di vista economico (ossia non si contesterà l’oggettività del primo giudizio), ma in compenso permetterà di soddisfare meglio i valori sociali ed ecologici. Un discorso del tutto analogo vale anche quando si debbano prendere in considerazione valori etici.

Osserviamo che sinora abbiamo parlato di *limitazioni*, perché proprio questo è il nodo più controverso quando si discute di libertà della scienza e della tecnica, ma è importante non trascurare il più ampio discorso sugli *orientamenti* della tecnoscienza, che pur essendo meno coercitivi dei divieti o delle limitazioni, sembrano ad alcuni non meno disdicevoli rispetto alla “libertà” della scienza. In realtà tanto le limitazioni quanto gli orientamenti possono assumere il colore antipatico di minacce alla libertà di scienziati e tecnologi soltanto se vengono considerati come *imposizione dall'esterno*, ma chi ha davvero compreso la logica sistemica si rende conto che così non è e, tanto meno, dovrebbe essere. Infatti anche STS invia i suoi *output* verso altri sistemi e questi *debbono tenerne conto* per il loro stesso buon funzionamento, per le ragioni *sistemiche* già illustrate. Un fenomeno del genere non avviene automaticamente, ma richiede uno sforzo consapevole da parte di tutto il tessuto sociale. Tale assenza di imposizione si articola su due livelli.

In primo luogo essa significa che gli stessi scienziati devono conservare il diritto di avere voce in capitolo per quanto riguarda la determinazione dei *fini* della ricerca. Ovviamente, non si può intendere questo fattore in modo ingenuo, ma piuttosto nel senso che la comunità scientifica dovrebbe essere sempre più coinvolta nella discussione e nella determinazione della struttura della società: dovrebbe, in altre parole, avere un ruolo importante almeno nella specificazione di quei fini che, oltre a rivestire un interesse generale per la società, sono anche tali da presupporre l’applicazione di conoscenze scientifiche avanzate o di sofisticate tecnologie. In secondo luogo, l’assenza di imposizione appena sottolineata dovrebbe essere il giusto modo di fare appello alla scienza perché essa si faccia carico dei bisogni della società: un simile appello deve possedere un carattere *morale*; esso non esprime imposizioni o obblighi, ma piuttosto un richiamo alla *responsabilità* dei singoli scienziati e, in un certo senso, dell’intera comunità scientifica. Com’è noto, la nozione di responsabilità implica necessariamente la presenza della *libertà*, poi-

ché soltanto agli esseri liberi (o, meglio ancora, agli esseri liberi razionali) si può attribuire la caratteristica della responsabilità. Al pari di ogni obbligo morale, tale responsabilità esprime un “dover essere” o un “dover fare”, ma non una costrizione in grado di obbligare qualcuno ad agire contro la propria volontà o la propria coscienza.

Il compito primario della tecnoscienza deve quindi restare la ricerca della verità (vale a dire, la ricerca della verità parziale e mai totalmente confermata connessa alla sua struttura conoscitiva). Tale scopo è primario nel senso che nessuna ragione sociale e nessun imperativo possono giustificare deviazioni da questa linea né ammettere occultamenti o distorsioni della verità. D’altro canto, è questa l’unica garanzia su cui la società può contare per essere sicura che la conoscenza tecnoscientifica oggettiva è veramente in grado di risolvere i suoi problemi. Anche se in qualche particolare circostanza può sembrare che la manipolazione della verità sia “funzionale” alla realizzazione di un determinato fine sociale, è certo che il prezzo da pagare (e cioè la perdita di credibilità della tecnoscienza) sarebbe troppo alto per essere compensato dal momentaneo vantaggio acquisito. Ciò sottolinea l’ineliminabile *autonomia* e *indipendenza* della tecnoscienza rispetto alla società, una caratteristica che deve essere riconosciuta e rispettata in ogni circostanza. Tale autonomia è pienamente compatibile con i servizi che la scienza deve fornire alla società. Concretamente, questi servizi devono essere intesi come un aiuto che la tecnoscienza fornisce alla soluzione di problemi socialmente rilevanti, ed è chiaro che il modo migliore per assicurare tali servizi è quello di trovare soluzioni ai problemi, basandosi su un tipo di conoscenza valida e oggettiva.

La predisposizione a comprendere i problemi può essere stimolata mediante un’adeguata *pianificazione* della ricerca scientifica, ma fornisce i frutti migliori attraverso la maturazione del senso di responsabilità sociale nella coscienza degli scienziati. Tutto ciò si può esprimere con parole diverse affermando che la scienza deve essere impegnata dal punto di vista sociale o, meglio ancora, “responsabile socialmente”, ma non totalmente “dipendente dalla società”; la sua stessa natura, infatti, la rende al contempo “prodotto della storia” e “creatrice della storia”. Sotto il primo aspetto essa è inserita nel contesto sociale ma, d’altro canto, può essere un potente fattore di progresso storico solo a patto di mantenere la propria specifica identità.

2.5 Dalla prospettiva sistemica alla razionalità prudentiale

I discorsi fatti nella sezione precedente hanno richiamato molte delle cose dette trattando non soltanto della teoria dei sistemi, ma anche dell'interdisciplinarietà, dal momento che hanno posto in evidenza la necessità di coordinare e integrare diversi "punti di vista" e competenze al fine di risolvere *problemi complessi*, e per di più problemi che riguardano quasi sempre delle *decisioni* da prendere circa azioni concrete. Riprendendo il filo del discorso precedente, possiamo dire che la linea risolutiva emersa è quella della ricerca di una *ottimizzazione* che si deve ricercare tra i diversi valori in gioco. Ogni sistema, si è visto, tende a massimizzare il soddisfacimento dei propri valori, ossia a realizzare al massimo l'incremento dei valori delle sue variabili essenziali compatibile con il proprio equilibrio dinamico interno. Nel far ciò, tuttavia, determina inevitabilmente conflitti con altri sistemi (come si è visto citando qualche esempio concreto). Pertanto la soluzione migliore è quella di arrivare a ciò che, con espressione tratta dal linguaggio della teoria matematica della programmazione, chiamiamo l'ottimizzazione. Essa può essere intuitivamente presentata come il risultato di una "valutazione ponderata" della situazione *globale*, in cui si tiene conto di *tutti* i valori in gioco (ossia dei valori specifici dei vari sistemi implicati) e si cerca di determinare il "peso" che a ciascuno di essi è ragionevole attribuire; si cerca poi di trovare una soluzione nella quale nessuno di tali valori risulti *massimizzato*, ma nessuno risulti neppure conculcato al di sotto del limite del suo intervallo critico. In sostanza, diremo che la soluzione raggiunta non "soddisfa pienamente" nessuna delle esigenze espresse da ciascuno dei sistemi implicati, ma nello stesso tempo non ne "ignora totalmente" nessuna. Un modo di procedere di questo tipo è più facile da enunciare che da applicare, poiché la sua difficoltà maggiore non consiste nel fatto di valutare fino a che punto un dato valore sia implicato in una data scelta, ma nel fatto che non tutti i valori sono considerati di solito egualmente "elevati", ossia ogni individuo umano possiede una sua "scala di valori" o "gerarchia di valori", alla sommità della quale si collocano spesso certi valori che egli considera assoluti o "non negoziabili", e quindi per lui *devono* prevalere su tutti gli altri. Pertanto, quando le decisioni debbano essere assunte di fronte a problemi che riguardano un'intera collettività, il problema preliminare è quello di accertare se esistono almeno alcuni valori rilevanti e generalmente condivisi e altri, inve-

ce, la cui gerarchia non è univocamente condivisa. Lo sforzo di ottimizzazione non può consistere altro che nel trovare una soluzione in cui nessun valore (neppure fra quelli di rango inferiore) risulti azzerato in forza della totale soddisfazione di un altro valore (sia pure fra quelli ritenuti al vertice della scala, da parte della maggioranza). Chiamiamo *prudentiale* una razionalità di questo tipo, dal momento che rispecchia l'atteggiamento che già Aristotele considerava tipico della decisione morale, basato sulla virtù della *prudenza* (della *phronesis*). Il significato filosofico di questo termine non si riconduce a quello del linguaggio corrente, in cui esso significa dal più al meno "cautela", ma indica appunto la capacità di operare con discernimento in assenza di regole di scelta *certe* che si possano applicare per così dire automaticamente. Tale razionalità prudentiale, d'altro canto, corrisponde bene alla nuova consapevolezza circa la natura delle nostre conoscenze che, come abbiamo visto, è imposta dalle scienze della complessità, dal declino delle pretese deterministe della conoscenza scientifica, dal riconoscimento della stessa natura fallibile delle conoscenze scientifiche anche nei settori più collaudati. Perfino in campo conoscitivo dobbiamo abituarci a decidere in situazioni di almeno parziale incertezza (anche l'accoglimento di certi dati o di certe previsioni può consistere in una "decisione" assunta in situazione di non completa certezza, pur essendo assolutamente *ragionevole*). A maggior ragione questo atteggiamento si impone quando le decisioni implicino la considerazione e il confronto di diversi *giudizi di valore*, nei quali il margine di incertezza è ancora più ampio. Anche in questi casi è possibile e, anzi, doverosa una scelta *ragionevole*: evidentemente questa non potrà consistere nell'applicazione di alcun criterio afferente a un solo tipo di giudizio, ma dovrà corrispondere a un giudizio globale raggiunto in base a una *razionalità prudentiale*. E su questa base, in particolare, che si possono gestire i numerosi, complessi e urgenti problemi che riguardano oggi la regolamentazione della tecnoscienza a livello collettivo.

3. Tecnoscienza e politica

Neppure il sistema politico può ambire al primato assoluto fra i sistemi sociali; infatti siamo tutti consapevoli di quanti "condizionamenti" esso soffra. Ma in fondo non è esatto dire che ne "soffre", poiché esso pure non è un sistema isolato, ed è pertanto "fisiologico" che esso rientri in quell'ampia rete di *feedback* in cui intera-

gisce con tutti gli altri sottosistemi della società. A esso, in particolare, compete operare le *scelte fondamentali* riguardanti il governo concreto della società nel suo complesso e sarebbe una vera disgrazia per la società se esso non sapesse farlo efficacemente, il che significa senza far valere una certa azione di guida nei confronti degli altri sistemi (pur rispettando l'indispensabile autonomia di questi) e senza ricevere da questi gli *input* necessari per svolgere in modo sistemicamente adeguato la propria funzione. I rapporti del sistema tecnoscientifico con il sistema politico sono essenzialmente di due tipi: il primo riguarda la *politica della tecnoscienza*, il secondo riguarda il corretto utilizzo della tecnoscienza per risolvere problemi non tecnoscientifici.

3.1 Il "principio di responsabilità"

Abbiamo già evocato in precedenza il concetto di responsabilità e ne abbiamo offerto una lettura sistemica, corrispondente alla presa di coscienza della inevitabile solidarietà di tutti i sottosistemi del sistema sociale. Con ciò non abbiamo inteso negare o banalizzare il significato *morale* e quello *giuridico* di tale concetto. Essi sono simili, ma anche in parte diversi. Dal punto di vista giuridico la responsabilità è intesa essenzialmente come "imputabilità" a un determinato agente di un *fatto accaduto*, quando l'agente in questione lo abbia *causato* per azione o per omissione, anche non intenzionalmente. Dal punto di vista morale, invece, questo concetto riguarda piuttosto le *conseguenze future* delle azioni di un certo agente. Un senso più profondo di questo significato etico è contenuto nella nozione di un dovere di cura e protezione che noi abbiamo nei confronti di altri (di solito di altre persone) e che non è bilanciato da un reciproco dovere di questi altri nei nostri confronti. Tipica in tal senso è la responsabilità dei genitori nei confronti dei figli, ma questo concetto si può opportunamente generalizzare, come ha fatto in particolare il filosofo Hans Jonas (1903-1993) che ha sviluppato il concetto della nostra responsabilità verso le *generazioni future* in senso globale²². Anche il principio di responsabilità ha un carattere prudenziale, proprio per il fatto di voler guidare scelte che implicano conseguenze future e non esattamente prevedibili.

²² Si veda il volume H. Jonas, *Il principio responsabilità. Un'etica per la società tecnologica*, Einaudi, Torino 1993.

Ciò è conseguenza di quattro fattori: la complessità delle scelte legata alla pluralità dei sottosistemi implicati nelle decisioni; la parziale *incertezza* delle conoscenze e delle previsioni effettuabili entro ogni sottosistema; i conseguenti margini di divergenza dei giudizi di valore ricavabili nei singoli sottosistemi; la difficoltà di operare un *giudizio globale* ottimizzante anche quando le precedenti limitazioni siano contenute entro margini ridotti. Tutto questo deve convincerci di quanto siano fuorvianti alcune affermazioni che si ascoltano non di rado. La prima esprime le illusioni dello scientismo, secondo il quale basterebbe affidarsi in misura determinante al "giudizio degli esperti" per prendere le decisioni giuste. Anche supposto che gli esperti potessero fornire conoscenze *esatte*, e anche che da queste traessero *previsioni concordi* in ciascuno dei settori parziali coinvolti (il che non accade né è possibile), non sapremmo quali esperti potrebbero operare la *sintesi* integratrice dei diversi giudizi e competenze e, soprattutto, non sapremmo quali esperti dovrebbero scegliere i *fini* globali dell'azione politica e determinare la compatibilità del perseguimento di tali fini con i risultati dei giudizi particolari emersi dalle "consulenze" settoriali. Il rimedio allo scientismo (il cui distillato potrebbe essere espresso dal *principio di previsione* che abbiamo constatato essere insufficiente) non può essere neppure l'*ideologismo*, termine con cui vogliamo qui indicare l'atteggiamento che ritiene risolvibili i problemi sociali semplicemente (o essenzialmente) promovendo con forza e convinzione determinati *ideali* o *valori* etico-politici, siano essi attinti a vere e proprie ideologie come il marxismo, il fascismo, il liberalismo, oppure a fedi religiose. Soluzioni di questo genere sono destinate all'insuccesso perché mancano dei necessari agganci alla realtà concreta delle situazioni cui i loro principi dovrebbero applicarsi, e delle conoscenze dei mezzi adeguati per perseguire persino le finalità esplicitamente scelte. Anche in questo caso la *certezza* incrollabile nei principi e valori fondamentali può risultare un ostacolo, se pretende di proiettarsi al di fuori di quel campo in cui essa specificamente svolge la sua funzione, ossia in quello (di importanza per altro capitale) del *conferimento* di senso all'intero "mondo della vita".

La civiltà attuale si trova quindi in una situazione paradossale. Per un verso lo sviluppo delle tecnoscienze, la diffusione dell'informazione e la facilità della comunicazione ne hanno fatto, come spesso si dice con una punta di orgoglio, una *società della conoscenza*, ma questo fatto non ha arrecato per nulla quel sollievo che la mentalità

“moderna” si attendeva, quando affermava che con l'accrescersi della conoscenza (in sostanza di quella scientifica), l'umanità avrebbe risolto tutti i suoi problemi *pratici*. In realtà questi appaiono oggi in parte risolti, ma in parte accresciuti proprio in seguito al progresso tecnoscientifico; riguardo a questi misuriamo l'inadeguatezza delle presunte certezze offerte da una tecnoscienza fallibile e non linearmente programmabile. Ecco dunque che la società della conoscenza appare ormai sempre più come una *società del rischio*. La cosa è relativamente nuova, poiché il rischio è una tipica categoria dell'azione umana, che può fallire, nel senso che il risultato sperato non viene raggiunto. Né la natura né Dio invece rischiano, perché la prima non fa progetti e il secondo “sa tutto e può tutto”. Ebbene, la tecnoscienza ha dato all'uomo contemporaneo la sensazione di “poter realizzare” in certo senso tutto quello che vuole e, con ciò, egli si sente *responsabile* delle proprie azioni anche su larga scala e anche rispetto alle loro conseguenze future, poiché non vuol lasciare che queste accadano secondo le leggi della natura, e nemmeno confida nel fatto che di tenerle sotto controllo si curerà la provvidenza divina. La responsabilità, aggiunta alla consapevolezza dell'incertezza e della fallibilità delle previsioni che comporta implacabilmente il *rischio*, sono gli ingredienti di quella situazione di disagio, di ansietà, di timore nei confronti della tecnoscienza e del futuro dell'umanità, che sono tanto diffusi nella civiltà contemporanea.

3.2 Il principio di precauzione

Per quanto difficile, la situazione sopra descritta non è senza uscita, qualora si adotti un tipo di razionalità prudenziale per quanto riguarda i rapporti fra tecnoscienza e politica. Abbiamo già detto che essi si scindono sostanzialmente in due settori, quello della “politica della tecnoscienza” e quello del controllo degli impatti dello sviluppo tecnoscientifico in altri settori della vita sociale. Non possiamo dedicarci in questa sede alla discussione del primo punto, che per altro non presenta problematiche particolarmente nuove. Molto più urgente si presenta invece il secondo, non soltanto per la considerazione delle conseguenze che lo sviluppo della tecnoscienza può avere su molti altri sistemi “sociali”, come economia, occupazione, istruzione, assistenza medica e via dicendo, quanto piuttosto per l'impatto a lunga scadenza che queste possono avere sul più ampio ecosistema dell'uomo. Infatti, nel caso dei sottosistemi di primo

tipo, diverse scienze cercano di fornire teorie e modelli a breve e medio termine che godono di una certa plausibilità, mentre nel caso degli altri si avverte molto più forte il peso del rischio e della responsabilità. Sarà di questi, pertanto, che ci occuperemo brevemente fra poco. Ma dobbiamo premettere la presentazione di un principio, esso pure di carattere prudenziale, che potrebbe servire, purché correttamente inteso e applicato, per venire a capo di alcune difficoltà. Per quanto emerso con tale nome agli inizi degli anni '70 del Novecento, in relazione specialmente con dibattiti ambientalistici, e rapidamente entrato a far parte addirittura di trattati e convenzioni internazionali, il principio di precauzione è sempre stato operante in seno all'etica tradizionale, la quale imponeva di evitare situazioni in cui ci fosse un serio rischio di produrre del male. A livello di saggezza popolare esso si ritrova nella massima “meglio prevenire che curare”, e si potrebbe continuare. Nella sua versione contemporanea esso si suole esprimere come la massima che non si devono porre in atto situazioni dalle quali potrebbero derivare in un futuro prevedibile danni notevoli all'umanità. Lo abbiamo enunciato in modo generale e un po' vago perché, pur essendo di solito utilizzato in discussioni e argomenti riguardanti la difesa dell'ambiente, viene utilizzato anche per trattare altre questioni, come quella della sicurezza alimentare o i rischi della salute. Esso gode di una plausibilità di massima, ma deve essere affinato per quanto riguarda le modalità e la misura delle sue applicazioni, e il primo problema che si pone è questo: di fronte a un'attività tecnologica che si sospetta possa provocare nel tempo danni seri, su chi ricade l'onere della prova? È il proponente della nuova tecnologia che deve dimostrare la sua *non pericolosità*? Oppure sono coloro che ne propongono l'interdizione a dover provare la sua *pericolosità*? La prima alternativa assomiglia un poco alla richiesta, considerata giuridicamente iniqua, che sia l'accusato a dover dimostrare la sua innocenza, mentre sarebbe piuttosto l'accusa a dover provare la sua colpevolezza. In realtà, proprio come accade in un processo, la posizione corretta sta nel mezzo: il “sospetto” non può essere fondamento d'accusa se non è confortato da una serie di “indizi” ritenuti importanti e significativi, e l'imputato deve quindi provare la sua innocenza difendendosi da quanto tali indizi sembrano portare a suo carico, ma d'altro canto non potrà essere condannato se non in presenza di adeguate “prove” accusatorie. In assenza di queste, l'imputato deve venire assolto per lo meno “per insufficienza di prove”. Il principio di precauzione inverte in certo senso

quest'ottica, ossia afferma che se le prove di dannosità sono cospicue, ancorché non decisive, il processo tecnoscientifico sotto accusa deve essere interrotto (ossia avremmo una condanna "per insufficienza di prove a discarico"). Per queste ragioni il principio incontra fieri oppositori, che vedono in esso la manifestazione di una mentalità retrograda che si oppone ai progressi di scienza e tecnologia sfruttando propagandisticamente il *timore* della gente. In realtà, come nel caso di tutti i principi etico-politici, si tratta di farne un'applicazione *prudenziale*, vale a dire sostenuta da una valutazione seria e il più possibile completa della *informazione tecnoscientifica* disponibile, da una valutazione della probabilità del danno previsto e della sua *gravità*, da confrontare a loro volta con una valutazione delle *conseguenze* o dei *costi* che avrebbe la sospensione del processo tecnoscientifico sotto esame. Solo a quel punto è possibile adottare una scelta secondo *saggezza o prudenza* che dir si voglia, la quale dovrebbe in generale avere un carattere provvisorio, ossia comportare la revisione del problema dopo un certo intervallo di tempo in cui i progressi delle conoscenze scientifiche, o la scoperta di nuove tecnologie, consentano di vederlo sotto un'angolazione diversa.

Quest'ultima osservazione è importante, perché permette di vedere il principio di precauzione, e in generale tutte le valutazioni etico-politiche che inducano a proporre *limitazioni* a certe *attività* connesse alla tecnoscienza, come qualcosa di diverso da un tentativo di *bloccare la ricerca tecnoscientifica* (come spesso si ode affermare). In realtà l'uomo non rinuncia a perseguire i suoi obiettivi se incontra un ostacolo ma, se non riesce a eliminarlo, cerca di aggirarlo (prima di saper scavare dei tunnel nella roccia, non ci si arrestava di fronte a un monte, ma si cercava di superarlo risalendolo con tortuose strade a serpentina fin tanto che non si trovava un valico percorribile). In generale, ogni progetto umano deve fare i conti con una serie di *vincoli* e tutti sono disposti a tener conto dei vincoli rappresentati dalla disponibilità limitata di fondi, energia, materie prime, condizioni geologiche, qualificazione della mano d'opera, conseguenze ambientali di un qualsiasi progetto tecnologico. Questi vincoli vengono opportunamente rappresentati e quantificati in modo che il progetto risulti da un trattamento ottimale di tutti questi parametri. Non si vede, pertanto, perché anche il rispetto di alcune esigenze morali e sociali non possa rientrare fra i "vincoli" da tenere in considerazione, senza che ciò equivalga alla rinuncia al progetto. Si tratterà soltanto di perseguirlo in una *maniera diversa*.

Questo ragionamento generale vale anche quando i vincoli in questione derivino soltanto dall'applicazione del principio di precauzione. Qualche esempio non manca: di fronte alle preoccupazioni manifestate da molte parti nei confronti del riscaldamento del clima attribuito all'aumento del tasso di anidride carbonica nell'atmosfera, la misura proposta è stata la drastica riduzione del consumo di combustibili fossili. Forse l'allarme non è tanto ben fondato quanto alcuni pensano, tuttavia esso ha stimolato la ricerca e realizzazione di fonti di energia alternative (come l'eolica, la solare e la nucleare "pulita") che significano un progresso effettivo della tecnoscienza; oppure, forti resistenze di natura morale hanno indotto a bandire in certi paesi le ricerche su cellule staminali di embrioni umani, ma ciò non ha bloccato la ricerca sulle cellule staminali in quanto tali, bensì ha indotto non pochi scienziati (che condividono tale divieto) a cercare e trovare interessanti risultati nello studio delle cellule staminali non derivate dal sacrificio di embrioni umani, e questo è un progresso che non può esser negato neppure da coloro che non condividono la limitazione suddetta.

3.3 Un esempio concreto: il problema dell'ambiente

Concluderemo questa serie di riflessioni con la breve trattazione di un caso classico in cui si intrecciano considerazioni di responsabilità, rischio, precauzionalità e prudenzialità: il problema dell'ambiente. Incominciamo con il tema delle *piogge acide*. Esso è ormai quasi dimenticato, ma agli inizi degli anni '70 del Novecento era dibattuto con grande preoccupazione: di fronte a un inizio di morte generalizzata di alcune foreste in Germania e altrove, era stata avanzata la previsione di una gigantesca catastrofe ecologica per lo meno in Europa e la spiegazione scientifica avanzata era che questa fosse la conseguenza di un forte inquinamento atmosferico, derivato dall'immissione nell'atmosfera di quantità enormi di anidride solforosa e ossidi di azoto prodotti dalle centrali termoelettriche, dai veicoli in circolazione, dai riscaldamenti domestici. Provvedimenti eccezionali e costosi furono adottati dal governo tedesco con progetti di ricerca e drastiche misure antinquinamento, ma l'allarme venne attenuandosi nel corso del decennio successivo, quando si vide che in realtà la temuta morte delle foreste si era mantenuta entro limiti modesti e che la contaminazione ambientale si poteva controllare con misure locali più ridotte, ma soprattutto perché la teoria sul-

le cause di tale deforestazione non aveva ricevuto significative conferme empiriche. Tuttavia non possiamo negare che, in quel momento, quando le successive conoscenze scientifiche non erano ancora disponibili, l'applicazione del principio di precauzione è stata un atto di "prudenza" politica apprezzabile, così come lo è stato la cessazione delle misure più rigide subentrata in seguito. Inoltre, quello delle piogge acide non è un problema che si sia dimostrato falso, poiché è certo che queste si producono per davvero e recano danni all'ecosistema non meno che alla conservazione dei monumenti, ragion per cui una politica di riduzione dell'inquinamento atmosferico è senza dubbio saggia, salvo determinare in che cosa possano consistere le misure concrete più adeguate.

Altro esempio è quello del *buco nell'ozono*. Come si sa, negli strati alti dell'atmosfera esiste uno strato di ozono che protegge la superficie terrestre dall'impatto eccessivo dei raggi ultravioletti emessi dal sole, i quali avrebbero effetti dannosi sulle forme di vita e sulla salute umana. Nel 1985 un articolo su un'importante rivista scientifica segnalava una forte diminuzione della cappa di ozono sull'Antartide e incominciò nel mondo un serio allarme. Fin dal 1974 alcuni scienziati avevano scoperto che i clorofluorocarbonati (CFC) emessi nell'atmosfera da attività umane possono danneggiare la cappa di ozono in base a reazioni chimiche sperimentalmente confermate. Queste conoscenze indussero sin dal 1987 alla sottoscrizione di diversi protocolli e accordi internazionali che gradualmente vietarono l'uso di prodotti contenenti CFC, ed effettivamente si ottenne una sostanziale riduzione del buco di ozono, che nel giro di cinquant'anni dovrebbe ritornare alle proporzioni che aveva all'inizio degli anni '60. Abbiamo qui un esempio di buona applicazione del principio di precauzione: per quanto nel 1985 i pericoli del buco di ozono e la sua dipendenza dall'immissione di CFC nell'atmosfera fossero ancora al livello di teorie scientifiche non solidamente provate, il rischio era notevole e le misure da prendere erano tutto sommato relativamente poco onerose per l'industria e la produzione di beni di consumo, cosicché i provvedimenti prudenziali adottati erano saggi. Questa volta ebbero anche il vantaggio di essere efficaci, perché potevano basarsi su alcune *risultanze scientifiche* attendibili e indipendenti.

Diverso è il caso del *riscaldamento climatico*, sul quale abbiamo già fornito alcune indicazioni in precedenza. Abbiamo segnalato, allora, che il primo problema è quello di distinguere in esso il contributo

dell'attività umana (sul quale possono influire eventuali misure) dai fattori puramente naturali. Cosa difficile perché riscaldamenti e raffreddamenti del clima terrestre si sono susseguiti da tempi lontanissimi e preistorici e non sappiamo se ora ci troviamo in una fase di riscaldamento dovuta quasi per intero a fattori non dipendenti dall'uomo. In secondo luogo deve essere dimostrato qual è l'agente causale del riscaldamento atmosferico: la teoria dell'"effetto serra" lo attribuisce alla crescita della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera, ma questa teoria è lungi dall'essere accettata dalla generalità della comunità scientifica, pur avendo diversi autorevoli sostenitori, e inoltre risulta che la percentuale di aumento di tale concentrazione dovuta alla combustione di materie prime fossili è molto ridotta in confronto a quella che avviene per effetto di fenomeni naturali. Per di più si tratta di fare *previsioni* e qui ci imbattiamo almeno in tre difficoltà: in primo luogo nell'incertezza delle previsioni di tipo climatologico su tempi lunghi (di cui abbiamo trattato discutendo della non linearità di tali previsioni); della mancanza di stime plausibili circa il tasso di incremento del riscaldamento atmosferico; della mancanza di stime plausibili circa la misura in cui l'aumento di concentrazione dell'anidride carbonica influisca come causa sull'aumento del riscaldamento. Tutto questo si riflette nei toni sempre più cauti che ricorrono nei rapporti degli esperti dei gruppi internazionali deputati allo studio del cambio climatico, il che significa che, su un tema di questa portata, dobbiamo prepararci ad adottare decisioni in presenza di informazioni scientifiche parziali e incerte, e ad adottare una razionalità adeguata a tale situazione. Che significa questo? Significa prendere in considerazione alcuni "scenari" delineati in base ai modelli di previsione forniti e *scegliere* quale orientamento globale si preferisce, ossia quello che si incentra maggiormente sulla crescita dell'*economia*, piuttosto che quello che privilegia la *difesa dell'ambiente*, considerando altresì, nei due casi, la differenza tra la ricerca di soluzioni *locali* o *parziali*. Qui entrano in gioco calcoli essi pure molto ipotetici, dai quali risulta comunque che la scelta di una politica di protezione dell'ambiente avrebbe costi economici e sociali elevatissimi (ossia implicherebbe un impoverimento globale dell'umanità) a fronte di una protezione del clima di esito e misura molto incerti e dovrebbe impegnare per alcuni decenni la totalità della popolazione del globo. È proprio a questo punto che si pone il problema dell'applicazione corretta del principio di precauzione, in questo senso: sarebbe saggio vincolare l'umanità intera per

vari decenni, sulla base delle incerte conoscenze scientifiche e capacità di previsioni economiche su cui ha potuto basarsi un gruppo ristretto di pur serie persone che ha redatto il suo rapporto nel 2006? Sembra difficile che una simile decisione sia diversa da una specie di invito a legarci le mani che rallenterebbe sul serio il progresso dell'umanità. Con questo non si intende sottovalutare l'importanza del problema e anche la saggezza delle raccomandazioni di evitare al massimo possibile le emissioni nocive, ma l'ottica deve essere invertita. Non diciamo che dobbiamo rinunciare allo sviluppo tecnoscintifico *perché* produce inquinamento, bensì che dobbiamo evitare l'inquinamento *perché* l'evitarlo produce progresso in generale, anche sul piano tecnoscintifico. Infatti la ricerca di modi di produzione non inquinanti o meno inquinanti, di nuove fonti di energia, la messa a punto di progetti restrittivi temporanei e rivedibili sono tutte strategie *positive* intermedie fra il lasciar completamente correre e il limitare drasticamente, che corrispondono per l'appunto ai tratti di una razionalità prudentiale.

SCIENZA E RELIGIONE

Quanto siamo venuti constatando nel corso dei precedenti capitoli è che qualunque tentativo di colonizzare per intero il "mondo della vita" da parte della tecnoscienza finisce col ripercuotersi in una perdita di fiducia nella tecnoscienza stessa, che gli eccessi nel tentativo di imporre una "visione scientifica" di ogni problema umano finiscono con l'essere un ostacolo per il progresso della scienza medesima, che la mancanza di ogni controllo sullo sviluppo tecnologico può finir col porre termine a questo medesimo sviluppo. Con ciò, tuttavia, non abbiamo ancora toccato un problema fondamentale, quello del senso che l'uomo cerca di dare al "mondo della vita". Da tale punto di vista affiora un problema che ha accompagnato la modernità sin dalla nascita della scienza moderna, ossia quello del rapporto fra questa e la religione. Un rapporto che, lo abbiamo ripetuto più volte, il positivismo ha presentato come storicamente e intrinsecamente conflittuale e che tale è ancor oggi presentato dagli eredi della cultura positivista che si allineano sulle sue posizioni scintiste.

1. Considerazioni storiche

Per confutare la considerazione positivista del rapporto storicamente conflittuale fra scienza e religione, ci basti osservare che presso quasi tutte le culture storicamente esistite quelli che, secondo i nostri canoni attuali, potremmo classificare come *scintziati* erano anche i *sacerdoti*; ciò vale per gli antichi Babilonesi come per gli antichi Egizi o per i Maya del Centro America e sarebbe ingenuo affermare che ciò rispecchiava una pura suddivisione in caste o classi sociali. In realtà corrispondeva a una "forma di vita" in cui le due funzioni confluivano: tanto per dare un esempio, secondo la testimonianza di Giamblico, i sacerdoti egizi dedicavano ventidue anni della loro formazione allo studio dell'astronomia e della matemati-

ca. Certamente, la civiltà occidentale nasce dal “razionalismo” greco, e in essa l’esercizio della filosofia e della scienza appaiono distinti da quello della religione istituzionalizzata, ma i grandi filosofi e scienziati antichi (con l’eccezione minoritaria di alcuni materialisti) mantennero e difesero un atteggiamento di piena apertura e grande rispetto per le concezioni religiose della loro cultura. L’ombra del conflitto si proietta sulla scienza moderna per l’episodio ben noto del processo a Galileo, ma anche in questo caso non è difficile constatare che il contrasto si radicava, per un verso, in un’errata identificazione delle ragioni del contendere e, per altro verso, dipendeva da contingenze storico-politiche del tempo. Galileo, infatti, non solo era e rimase un credente, ma riteneva giustamente che era nell’interesse genuino della religione cristiana e della Chiesa non lasciarsi invischiare nella difesa di teorie astronomiche, perché non è questo il compito della religione; i più illuminati teologi ribattevano che si sarebbero dovute reinterpretare le sacre scritture per renderle compatibili con la teoria copernicana soltanto se questa risultasse davvero provata al di là di ogni dubbio, e negavano che così stessero le cose. Stranamente, Galileo aveva ragione sul piano teologico, e i teologi sul piano scientifico (in effetti le prove a favore del copernicanesimo addotte da Galileo non erano affatto sufficienti).

Il punto veramente importante era quello di sapere se la *rivelazione* (e quindi, indirettamente, i suoi custodi e interpreti) fosse un criterio in base a cui giudicare la validità di affermazioni e teorie scientifiche, e su questo punto la tradizione del pensiero cristiano era pressoché unanime e costante: esperienza e ragione sono sufficienti per stabilire verità che non riguardino la sfera del soprannaturale e, qualora dovessero emergere discrepanze tra queste verità e alcuni asserti della rivelazione, si è certi che tale contrasto può e deve essere rimosso, dal momento che tanto il “lume naturale” della nostra conoscenza quanto la rivelazione provengono da Dio, che non può indurre in errore in entrambi i casi. Quindi si tratta di *interpretare* adeguatamente le asserzioni in apparente contrasto per trovare la loro compatibilità. Questa soluzione può apparire equivoca agli occhi di molti moderni, perché “confonde” i piani del discorso religioso e di quello scientifico, ma non dobbiamo sottovalutare che essa corrisponde a una concezione del mondo come *razionalmente intelligibile* perché *razionalmente ordinato* da un creatore intelligente, e che ha dotato l’uomo di una *intelligenza* sufficiente per conoscere tale ordinamento. Come diversi autorevoli storici della

scienza hanno sostenuto, la scienza naturale ha potuto sorgere in seno alla civiltà occidentale, e non si è manifestata altrove, proprio perché in seno a questa civiltà sussisteva questa concezione cristiano-razionalista del mondo naturale, che invitava gli uomini a scoprire il disegno intelligente di Dio nel mondo. Quindi la religione, lungi dall’ostacolare, favorì la nascita e lo sviluppo della scienza moderna e, del resto, quasi tutti i maggiori scienziati moderni, da Galileo a Newton, a Cartesio, a Leibniz, a Boyle e tanti altri, non solo furono dei credenti, ma si impegnarono anche in discussioni di natura religiosa collegate con la conoscenza scientifica. Anche quando lo sviluppo della modernità comportò un ridimensionamento del ruolo attribuito alla rivelazione e alle chiese, i risultati delle scienze furono molto spesso utilizzati per sostenere una forma di religione “razionale” e non confessionale, come il *deismo* illuminista e tante sue riedizioni successive.

Un episodio più recente è quello dei contrasti fra teoria evoluzionista e religione cristiana, contrasti più gonfiati che reali. In effetti essi ebbero una certa forza all’inizio, a causa di equivoci che abbiamo già chiarito a suo luogo fra i cosiddetti “creazionisti” e gli “evoluzionisti”, ma in seguito vennero alimentati sostanzialmente dalle *interpretazioni materialiste e antireligiose* che alcuni intellettuali dettero dell’evoluzione e delle sue teorie, ma che non sono per nulla né presupposte dalle teorie dell’evoluzione, né implicite in esse.²³ Ciò vale ancor oggi e, del resto, non soltanto esistono interpretazioni della teoria evoluzionista in totale consonanza con la tradizione filosofica e teologica del cristianesimo, da Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955) a Jacques Maritain (1882-1973), ma lo stesso magistero della Chiesa si è espresso in senso non contrario alla teoria evoluzionista in quanto tale ed è soltanto attento a porre in guardia contro certe sue gratuite estrapolazioni su piani non scientifici, coinvolgenti in particolare la tesi della creazione divina del mondo e la natura non puramente naturalistica dell’uomo. L’uso antireligioso della teoria evoluzionista (che poggia molto spesso sull’identificazione del tutto arbitraria di questa con la teoria neodarwiniana dell’evoluzione) è semplicemente uno dei tanti strumenti della propaganda antireligiosa che esiste nella cultura attuale così come è esistita in tante culture del passato.

²³ Una buona rassegna di queste vicende si trova nel volume di Alister McGrath, *Dio e l’evoluzione. La discussione attuale*, Rubettino, Soveria Mannelli 2006.

2. La religione e il “problema della vita”

Non intendiamo attribuire un peso molto grande alle considerazioni storico-sociologiche precedenti, perché il problema se scienza e religione siano o meno incompatibili è *di principio* e non *di fatto* (ossia non si risolve considerando statisticamente se sono di più gli scienziati credenti o i non credenti). Pertanto, dopo aver sufficientemente illustrato lungo le pagine di questo libro “che cosa” sia la scienza (includendo in essa anche la sua attuale forma di tecnologia), dobbiamo dire, almeno in breve, che cosa intendiamo per *religione*, per quanto la domanda sembri superflua. Chiariamo dunque che, per quanto riguarda il nostro discorso, intendiamo per religione quell’atteggiamento che consiste nell’ammettere l’esistenza di una sfera della realtà che è *sacra*, ossia superiore alla realtà visibile (*soprannaturale*) e dalla quale dipende il mondo visibile. Questa sfera del soprannaturale è chiamata usualmente la sfera del *divino* e può essere intesa, come lo è stata di fatto, in molti modi all’interno delle diverse culture. Comune a queste prospettive è la credenza che il divino è dotato di poteri straordinari e, in particolare, può intervenire nel corso degli eventi mondani e specialmente in quelli dell’esistenza umana. Altrettanto comune è la convinzione che è possibile entrare in contatto col divino, riceverne aiuto e specialmente indicazioni circa il modo corretto di agire. La concretizzazione di tale atteggiamento umano è costituita dalle diverse *religioni storiche*, ciascuna delle quali ha elaborato una sua “rappresentazione” del divino (politeista o monoteista, immanentista o trascendentista), dei suoi rapporti con il mondo fisico e umano, oltre che una serie di riti per entrare in contatto con esso. Da ciò sono derivate delle visioni *cosmologiche*, dei codici morali e delle concezioni circa la natura *dell’uomo* e la struttura della *società*. In ogni religione è venuta costituendosi una classe di persone (i sacerdoti) incaricata di dedicarsi a questi rapporti con il divino che, di solito, si basano su una qualche forma di rivelazione prolungata in una *tradizione* di cui i sacerdoti sono considerati i custodi.

Come si spiega questa tanto generale apertura dell’uomo verso il sacro e il divino? Ogni persona aspira a risolvere nel modo migliore il problema globale della propria esistenza, ossia quello di agire nel modo “giusto” entro il *mondo della vita* in cui si trova di fatto concretamente immersa, senza averlo scelto. In questo “mondo della vita” rientra tutto quanto ci è in qualche modo presente, dal paesag-

gio naturale, al contesto familiare, ai costumi sociali, alle tradizioni culturali, alle istituzioni, alle credenze, ai principi morali che “circondano” la nostra esistenza. Ma rientra altresì la nostra stessa costituzione individuale: i nostri cromosomi, le nostre inclinazioni e abitudini, i nostri rapporti affettivi, le nostre conoscenze, in parole povere, tutta la nostra *storia* individuale. La persona si trova inevitabilmente calata in questo mondo della vita, ma nello stesso tempo si rende conto che non qualunque modo di agire in esso è equivalente a qualunque altro e vuole scegliere il suo modo di esservi presente e attiva, e vuole che questo sia nello stesso tempo *il modo migliore* per essa. Insomma, nessuno vuole *sprecare la propria vita*, vuole “salvarne il valore” e in questo consiste quello che possiamo chiamare “il problema della vita”. Per riuscire a evitare questo scacco fondamentale e non compensabile è necessario *conoscere e capire* se stessi e il mondo della vita, in un continuo intreccio di conoscenza, interpretazione e azione, in cui la conoscenza vera e l’interpretazione corretta possono talora essere ricercate quasi per curiosità intellettuale, per spirito contemplativo, per “amore del sapere”, ma che hanno anche un senso più profondo e rispondono a un’esigenza più radicale, quella di garantire il tipo di azione “giusto”, ossia corrispondente a “ciò che è bene fare”. Chiamiamo *saggezza* un sapere orientato e concepito in tal senso. Dovendo tradursi in giudizi circa “ciò che è bene fare o non fare”, la saggezza non potrà basarsi soltanto su conoscenze *di fatto*, ossia su conoscenze parziali empiricamente verificabili, ma dovrà includere anche conoscenze molto più generali ricavate da *interpretazioni* dei fatti, che cercano di raffigurare come è il mondo e come siamo noi, e dovrà altresì includere conoscenze di tipo ancor più diverso, che riguardano i *valori* e i *doveri*.

A proposito del *mondo fisico* le *scienze naturali* offrono una messe crescente di conoscenze, rapidamente applicate anche nelle realizzazioni tecnologiche, e anche rispetto al *mondo storico-sociale* le *scienze umane* ci offrono dovizia di *fatti* e *interpretazioni* che senza dubbio ci aiutano a comprendere come i nostri apparati concettuali, le nostre maniere di categorizzare il mondo, le nostre interpretazioni della società e della storia, i valori cui ispiriamo le nostre istituzioni e azioni, i nostri stili di vita sono maturati storicamente. Conoscere e comprendere “da dove” vengono e “come” si sono costituiti è molto importante proprio per saggiarli criticamente e giustificare la loro validità anche nella situazione presente. Tuttavia noi avvertiamo che tutti questi contributi non sono ancora sufficienti per soddisfare a

quell'invito in cui già l'antichità faceva risiedere l'essenza della saggezza: "conosci te stesso". Solo dopo aver adeguatamente compreso ciò che siamo, infatti, prende senso la domanda su che cosa dobbiamo *fare* per prenderci cura di noi stessi, per non sprecare la nostra vita, per capire quali rapporti dobbiamo istituire fra noi, il mondo, la società. Lungo la storia dell'umanità sono state proprio le *religioni* a fornire le risposte alle domande globali qui riassunte, a fornire quelle interpretazioni del cosmo, dell'uomo, della società che potessero aiutare a risolvere il "problema della vita", ed esse continuano a svolgere tale funzione anche oggi. In seno alla civiltà occidentale (e in modo meno specifico anche in alcune altre) anche le *filosofie* si sono preoccupate di dare una risposta a queste domande. Oggi la voce della religione è meno ascoltata, si ritiene che essa possa parlare soltanto alla coscienza *privata*, e anche la filosofia ha in buona parte rinunciato a cimentarsi con i "grandi problemi" dell'uomo, mentre si ritiene che il discorso *pubblico* (cioè intersoggettivo) sia esclusivamente quello delle scienze. Ma è possibile caricare su di esse un tale compito?

3. Il "conferimento di senso" al mondo della vita

Abbiamo già visto alcune ragioni per le quali la risposta a questa domanda è negativa, quando ci siamo occupati della "naturalizzazione dell'uomo" e abbiamo dovuto riconoscere che, ben più che un progresso, essa può essere vista come un regresso a una visione dell'uomo di tipo "pre-socratico". A quanto già detto vogliamo ora aggiungere che la prospettiva naturalistica impedisce all'uomo di risolvere il suo "problema della vita" in quanto gli preclude la possibilità di dare alla vita un vero e proprio *sensu* e ciò perché, come abbiamo sottolineato con insistenza, le scienze moderne (sia naturali sia umane) hanno bandito dal loro bagaglio concettuale la categoria di finalità. È chiaro infatti che, dove non si riesce a leggere un *fine*, non si riesce neppure a leggere un *sensu*, giacché questo non viene disvelato quando si riesce semplicemente a dire *in forza* di che cosa qualcosa accade, bensì *in vista* di che cosa ciò accade. Ciò appare già da un esame di uno dei significati correnti di "senso", che lo considera un sinonimo o una specializzazione di "direzione", cioè come l'indicazione di qualcosa "verso cui" si va. La richiesta di senso, in un significato più profondo, appare anche nel diverso significato che assume in date circostanze la domanda "perché"? Per

esempio, quando ci chiediamo: "perché la leucemia sta portando alla morte questo bambino innocente"? Se la risposta consistesse nell'indicazione di cause genetiche, ambientali, fisiologiche capaci di "spiegare" l'insorgere del terribile male, non riterremmo certamente di aver ottenuto la risposta che cerchiamo. Il perché che vorremmo conoscere ha a che fare niente meno che con l'angoscioso "problema del male", che ha affaticato per secoli filosofia e teologia e al quale nessuna scienza è in grado di rispondere, proprio perché si tratta di una domanda esistenziale che vorrebbe acquietarsi nella comprensione di un senso di quell'evento naturale, nella possibilità di iscriverlo in qualche disegno o finalità in cui potesse non apparire più come un male completo. Pertanto, l'universalizzazione dello schema meccanicistico-scientista di cui abbiamo trattato in precedenza ha finito col sopprimere un senso non soltanto per quanto concerne il mondo inanimato, ma anche per quanto concerne il mondo della vita, sia pure intesa in senso esclusivamente biologico. L'ultimo passo in tale direzione è stato compiuto con la creazione della teoria darwiniana dell'evoluzione: mentre l'evoluzionismo lamarckiano riconosceva ancora alla materia vivente una sua *intrinseca* tendenza a realizzare, al massimo livello compatibile con le condizioni ambientali, un disegno immanente, la teoria darwiniana applica anche al vivente lo schema di una determinazione del percorso della vita come effetto di pure cause esterne, agenti senza disegno su condizioni materiali insorgenti per puro caso. Anche l'uomo risulta un semplice *prodotto* di tali meccanismi casuali non soltanto per quanto riguarda la sua struttura biologica ma anche (secondo le prospettive naturalistiche che abbiamo preso in considerazione) nella totalità delle sue stesse dimensioni "superiori". Appare pertanto inevitabile che all'interno dei quadri interpretativi dell'uomo e del mondo forniti dal complesso delle scienze gli interrogativi sul senso della vita non si possano neppure formulare. Questi infatti sono possibili soltanto se si pensa che possano esistere dimensioni della realtà e dell'esistenza non riducibili a quanto è empiricamente constatabile o verificabile, e rispetto alle quali si possa tuttavia instaurare una ricerca razionale. Il loro travalicare l'orizzonte dell'empirico non le condanna a essere "prive di significato", a ridursi a semplici stati emotivi, ma richiede l'ammissione di criteri di significanza diversi da quelli adottati dalle scienze, e ciò per il semplice fatto che tutti gli uomini "capiscono di che cosa si tratta" quando vengono posti questi problemi (cosa impossibile se essi fossero destituiti di significato),

e avvertono per di più che questi sono proprio i problemi fondamentali che ci pone l'essere immersi nel *mondo della vita*: sono problemi di *sensò*, ossia di *orientamento* esistenziale, e non già di *spiegazione* causale dei fatti.

4. I diversi “mondi” compresi nel “mondo della vita”

Le considerazioni precedenti non vogliono essere una “contestazione” delle visioni scientifiche del mondo, bensì una sottolineatura della loro *parzialità*, che possiamo esprimere dicendo che il “mondo della vita” contiene molti altri “mondi” oltre al “mondo della scienza”. Stiamo usando un modo di parlare apparentemente strano, perché sembrerebbe alludere all'esistenza di “altri mondi” come quello delle galassie più lontane, quello dei viventi extraterrestri, o il “mondo dei morti”. No, alludiamo a una ricchezza di *esperienze* che ogni essere umano fa abitualmente e che, pur rientrando nella *unità dell'esperienza* che investe l'intero mondo della vita, sono distintamente riconoscibili come diverse dall'esperienza tecnologica. In altri termini, neppure oggi si è riusciti a eliminare il fatto che il “mondo della vita” è compreso e vissuto anche secondo *diverse* modalità. Fra queste rientra, in modo evidente, quella estetico-artistica: essa esprime quella ammirazione e quello stupore di fronte al mondo esterno e interiore che (prima ancora di stimolare la ragione a porsi dei “perché”) ha fatto sgorgare le espressioni artistiche, letterarie, musicali presenti in ogni cultura e che corrispondono non già ad altrettante chiavi di lettura dell'impassibile “realtà” (come accade quando le diverse discipline scientifiche ritagliano il reale ciascuna secondo il proprio punto di vista), quanto piuttosto alla costruzione di un vero e proprio altro “mondo”, nel quale vive con pienezza a volte totalizzante l'artista creatore e, con un assorbimento solo di poco inferiore, anche chi gode dell'arte e ne ha fatto la sua *passione*. Qualcuno dirà forse che si tratta di un mondo “irreale”, evanescente, prodotto della fantasia umana, ma ciò è smentito dal fatto che a esso si accede nell'unità dell'esperienza, in quanto corrisponde a un ben preciso tipo di esperienza, l'“esperienza estetica”, e non si può avere esperienza del non esistente. Questa è anzi un'esperienza particolarmente coinvolgente, di notevole portata emotiva, in quanto in essa si riesce a dare espressione a, o a cogliere l'espressione di, tante dimensioni della realtà naturale e umana che non si lasciano catturare da un linguaggio impersonalmente oggettivo,

cosicché il bello di natura e il bello artistico ci “parlano” in prima persona rivolgendosi a una dimensione della nostra identità che rientra in quella che si suol chiamare la vasta sfera dei sentimenti. Così come c'è un “senso del bello” c'è pure un “senso del sacro”, scaturigine di quella religiosità che si incontra presso tutte le culture e che, in modo dialettico, è presente in ogni uomo nella misura in cui avverta il problema dell'*assoluto*, ossia il pungolo della domanda se l'*intero* coincida con l'unità dell'esperienza o includa anche dimensioni che la debordano e tali da conferire a essa un particolare senso, che si traduce poi in una risposta alla ricerca di un *sensò della vita*. Questo “mondo del sacro” o anche “mondo religioso” non si identifica con il complesso delle religioni storiche e, addirittura, non implica una prospettiva necessariamente teistica. Proprio per questo abbiamo detto che il problema del sacro interessa “dialetticamente” ogni uomo e *quindi* anche l'ateo consapevole (secondo quanto Dostoevskij dice di quel suo personaggio che “era ateo e quindi si interessava molto al problema di dio”). Negare realtà a questo mondo, riducendolo a una “illusione” o a un inganno come vorrebbe lo scientismo, è contraddetto non solo dal fatto che in questo mondo vivono miriadi di persone e che in esso trovano il senso più radicale della propria vita molte di esse, ma anche dal fatto che esiste una “esperienza religiosa”, che non ha i caratteri di elementarità dell'esperienza sensoriale e neppure quelli più sfumati ed emotivi dell'esperienza artistica, ma che in forme più o meno “chiare” è fenomeno che moltissimi uomini conoscono e che, in casi più eccezionali (quelli delle grandi figure della religiosità umana), ha avuto la forza di un'evidenza chiarissima.

Tanto il mondo dell'arte quanto quello della religione rientrano nel *mondo interiore* dell'uomo e riguardano principalmente quella sfera di esso che si affaccia sul mondo della vita e lo investe esistenzialmente. Un'altra parte del mondo della vita è in certo senso “esterna” al singolo individuo, ma non coincide col mondo delle cose: è il mondo della società e della storia (ossia, come si dice spesso, della “cultura”), nel quale l'uomo vive in maniera ancora più radicata e pervasiva che non nel mondo della “natura”. Anche di questo mondo la scienza propone le sue per altro utilissime letture conoscitive, ma in esso trovano il proprio luogo realtà come le regole, i valori, i giudizi etici, insomma la vasta gamma del *dover essere*, rispetto a cui la scienza non ha neppure le categorie concettuali e linguistiche per impostare i problemi. Eppure, al giorno d'oggi sono proprio parec-

chie urgenti questioni di natura etica, sociale e politica scaturienti dai progressi della tecnoscienza che mostrano senza possibilità di dubbio che quest'ultima non può fare a meno di confrontarsi con questo ampio "mondo". Anzi è proprio la pretesa (che diverse persone avanzano) di tenere scienza e tecnologia al di fuori di questo confronto (al fine di non intralciare il loro "progresso") che ha finito con innescare la reazione antiscientifica e antitecnologica per cui abbiamo tutte le ragioni di preoccuparci.

Abbiamo esemplificato alcuni dei "mondi" che esistono accanto al mondo della tecnoscienza, e abbiamo visto che ciascuno di essi possiede una propria specificità e autonomia e che in esso si può "vivere" anche senza preoccuparsi degli altri mondi. Tuttavia è stato anche chiaro che nessuno di essi copre tutte le esigenze del mondo della vita e quindi è quanto mai opportuno, diremmo necessario, che le frontiere fra questi mondi non diventino delle chiusure, e meno che mai dei tentativi di "inglobamento", bensì occasioni di arricchimento scaturienti dalla *compresenza* delle diverse esigenze che ogni mondo esprime. Così è assurdo pensare che il possesso delle conoscenze astronomiche debba spegnere in noi la capacità di ammirare la bellezza di un cielo stellato, o che l'incanto del verso leopardiano "dolce e chiara è la notte e senza vento" possa venir banalizzato prendendolo come un frammento di bollettino meteorologico. Coltivare il senso estetico, e far posto all'educazione in grado di facilitare questo compito, è qualcosa che deve accordarsi con la pratica e la promozione della ricerca scientifica e tecnologica. Ritenere che certe conoscenze sull'animo umano emergano con particolare vivezza dalle pagine di un romanzo di Dostoevskij non è incompatibile con l'apprezzamento delle indagini svolte in seno alla psicologia scientifica, anche se sarebbe scorretto affermare che sono superiori a queste ultime o che possano rimpiazzarle. Fare del problema di dio una questione di gusto estetico è senza dubbio inadeguato, ma è innegabile che l'esperienza del bello è spesso una via che aiuta l'esperienza del sacro, così come il sacro è stato scaturigine di innumerevoli espressioni artistiche. Assumere la religione come metro di misura della validità di certe conoscenze o teorie scientifiche è certamente scorretto, ma è non meno illegittimo affermare che la considerazione del mondo naturale non possa porre domande che hanno stretta afferenza alla sfera religiosa e che sono appunto "di frontiera", ossia tali che la risposta adeguata dovrebbe soddisfare le esigenze sia della scientificità sia della riflessione religiosa.

Dopo che siamo partiti dalla considerazione dell'uomo immerso nel mondo della vita, e dopo che abbiamo esaminato criticamente gli equivoci delle proposte di "naturalizzazione", questo breve sguardo sui diversi "mondi" che si collocano accanto a quello della tecnoscienza ci consentirà ora di avviarcì alla conclusione di quel discorso circa la ricerca della saggezza con cui abbiamo aperto le nostre considerazioni.

5. Il problema dell'assoluto

Abbiamo già osservato che il significato di "senso" allude a una direzione, a un fine e la richiesta di un senso, in qualsiasi contesto, equivale a una domanda sul "perché" che non chiede di indicare la cause che hanno "prodotto" la realtà o l'evento di cui si ricerca il senso, bensì "ciò in vista di cui" tale realtà o evento si manifesta. Si osservi per altro che non qualunque fine individuato per indicare ciò in vista di cui si dà una certa realtà equivale a conferirle autenticamente un senso: ciò che si richiede è che questo fine sia *positivo*, incarni un *valore*. I diversi tipi di "vita" ricevono ciascuno un senso con riferimento a qualche valore specifico e ciò spiega perché una persona che abbia accolto quel determinato valore con particolare adesione possa trovare nella pratica del rispettivo tipo di vita una notevole gratificazione esistenziale, ossia riesca a dare un senso almeno parziale alla propria vita. Così c'è chi vive sostanzialmente per l'arte, chi per la scienza, chi per la vita politica, chi per l'insegnamento, non già perché fa di una di queste l'ambito della sua professione nel significato delimitato di un mezzo per guadagnarsi da vivere, ma perché trova in essa la possibilità di realizzare un certo ideale (ossia un valore fortemente positivo) e, come si sa, gli ideali non si mangiano, ma aiutano a vivere proprio nel senso della vita complessivamente intesa di cui stiamo trattando.

Manca comunque ancora un passo in questa ricerca del senso, ossia quello che ricerca il senso non già di una particolare forma di vita, ma della vita nel suo complesso. I valori parziali prima menzionati sono tali poiché è bene perseguirli, poiché perseguendoli si accresce la qualità della nostra vita intesa in senso ampio, ma nessuno di essi è tale che non si possa "vivere bene", ossia in modo esistenzialmente soddisfacente, senza impegnare in esso la propria esistenza. La ricerca del senso della vita consiste invece nel ricercare *ciò per cui vale la pena di vivere*, ossia un fine ultimo. Non necessariamente ulti-

mo in significato escatologico (ossia riguardante una realtà al di là di tutte quelle presenti), ma semplicemente nel significato che tale fine non viene giustificato come mezzo per raggiungere altri fini. Ciò che è veramente importante non deve servire a nulla. Infatti se la sua importanza deriva dal fatto di servire a una determinata cosa, sarà quest'ultima a essere "veramente importante" e, risalendo in tal modo la catena delle cose che importano perché servono, si dovrà pervenire a qualcosa che è importante *di per sé* e non serve a nulla. Proprio per tale ragione dobbiamo dire che ciò per cui vale la pena di vivere deve avere i caratteri di un valore *assoluto* nel senso preciso di essere *incondizionato*.

Non è difficile capire che tale ricerca dell'assoluto impone di problematizzare la stessa unità dell'esperienza. Dove penseremo di trovare, infatti, un tale valore assoluto? Forse entro l'unità dell'esperienza stessa che, come si è visto, ci presenta numerosi valori degni di ispirare le nostre scelte e azioni? Molti scelgono questa strada e, in pratica, fanno assurgere un valore particolare al rango di valore se non proprio assoluto, per lo meno primario nei confronti degli altri. C'è invece chi si chiede se il mondo della vita non sia il tutto, e se la realtà includa anche una dimensione che va oltre l'unità dell'esperienza e che è in grado di conferire un senso a tale unità e, con ciò, anche al mondo della vita. Ecco perché il problema che ogni uomo consapevole e capace di riflettere si pone, ossia il "problema del senso della vita", si configura come *problema dell'assoluto*. Per il singolo è importante la risposta che riesce a dare a questa domanda radicale sul senso della vita, ma per una civiltà è più importante che sia presente e diffusa in essa la ricerca di tale senso, indipendentemente dalle risposte che i singoli riusciranno a dare a essa. La nostra civiltà è in crisi perché è molto diffusa in essa la mancanza di orientamenti circa ciò per cui vale la pena di vivere, manca la ricerca di un senso della vita: la conseguenza è che le persone "si lasciano vivere", adottando implicitamente i valori di vita più elementari legati alla sfera biologico-materiale, che non sono mai in grado di indicare come *impegnarci* e ci lasciano anche indifesi di fronte alle difficoltà di vario genere che la nostra vita può incontrare in quei settori in cui ci siamo lasciati più sguarniti di senso e di valori.

Il problema dell'assoluto è in certo senso quello che più profondamente ha caratterizzato la filosofia, la quale ha tentato di risolverlo utilizzando il *ragionamento* e, in tal senso, postulando in partenza la *razionalità del reale* (proprio come fa la scienza quando indaga il

mondo utilizzando le specifiche categorie della propria razionalità). La riuscita dell'impresa si ha quando si riesca a fornire una dottrina dell'assoluto capace di *salvare il valore della vita*, ossia di darle un *senso completo*. È chiarissimo, in base a quanto qui illustrato, che la scienza non vuole né può sobbarcarsi questo compito, ma non è detto neppure che la filosofia giunga a trovare una soluzione positiva. Gli esiti possibili sono diversi, dalla proposta di una dottrina dell'assoluto che soddisfa l'esigenza suddetta, alla risposta che una tale dottrina non esiste (esito irrazionalistico), all'esito agnostico che non decide né in un senso né nell'altro. Inoltre anche le soluzioni "positive" possono essere di tipo diverso, ossia nel senso della trascendenza (l'assoluto non è incluso nell'unità dell'esperienza), oppure dell'immanenza (l'assoluto coincide con la totalità stessa dell'esperienza). È chiaro, ad ogni modo, che ogni uomo dà la sua soluzione al problema dell'assoluto anche senza essere filosofo, e che lo stesso filosofo aderisce a una determinata soluzione di questo problema anche prima di averla razionalmente giustificata, e anche se non dovesse approdare a una soluzione razionale di esso. Ciò significa che, in ogni caso, l'uomo aderisce a una determinata concezione dell'assoluto *in base a una fede*, che possiamo chiamare *esistenziale* e non è necessariamente di tipo religioso, anche se in molti casi lo è. È a questo punto che tocchiamo con mano come la dimensione religiosa sia umanamente insopprimibile e nello stesso tempo non sostituibile né dalla conoscenza scientifica, né da quella filosofica. Questa dimensione può essere correttamente indicata come la *ricerca* di una risposta al *problema dell'assoluto*, alla quale ogni uomo dà una risposta *per fede* (teista, atea, agnostica che essa sia), anche quando tenga accesa per tutta la vita l'esigenza di scandagliare razionalmente (utilizzando anche i risultati della razionalità scientifica) le credenziali della sua fede e le sue conseguenze sui diversi "mondi" in cui si articola la sua vita. Resta comunque da considerare meglio il concetto di "fede" qui evocato.

6. La fede e le fedi

Abbiamo visto come la ricerca della soluzione corretta del problema della vita coincida con l'esigenza di "salvarne il valore" ossia di "non perderla". Questa è, in primo luogo, un'esigenza assoluta di *verità*: chi non vuole perdere la propria vita vuole conoscere

quali sono *veramente* le scelte giuste che deve compiere, e questa verità ricercata non è ovviamente una “verità di fatto” accertabile empiricamente o per astrazione, come accade nel caso delle scienze, ma una verità di tipo “normativo”, ossia che concerne il dover-essere e il dover-fare, come conseguenza di una riflessione sulla totalità della vita. In secondo luogo, incontriamo un’esigenza di certezza, esprimibile nel fatto ovvio che chi sta giocandosi niente meno che la propria esistenza vorrebbe esser sicuro di non sbagliarsi. Anche qui constatiamo una differenza rispetto all’impianto conoscitivo delle scienze, che è eminentemente ipotetico-deduttivo e fallibile. Nessun uomo invece è davvero disposto a giocare la propria vita sotto ipotesi, ma aspira ad appoggiarsi a delle certezze, anche se si tratta di certezze del momento; egli stesso non può escludere (anche se non lo crede) che possa essere indotto ad abbandonarle un giorno e, di quando in quando, è assalito dal dubbio e quindi può essere lacerato da conflitti interiori.

Secondo il significato più comune delle parole, “credere” e “sapere” sono due stati soggettivi della coscienza che si differenziano per il fatto che il sapere aggiunge al semplice credere due requisiti, quello della verità e quello della “fondatezza” o “giustificazione”. Come abbiamo già visto a suo luogo, è questa anche la tradizionale distinzione fra opinione e sapere, sulla quale si basa pure il fatto che l’opinione è intrinsecamente soggettiva, mentre il sapere ha valore intersoggettivo. Anche per questo, l’insieme delle opinioni di una persona viene spesso denotato come l’insieme delle sue “credenze”, e tale termine si usa anche per denotare le opinioni di un’intera collettività o di un’epoca, quando si voglia sottolineare che fra queste possono essercene tanto di vere quanto di false. In sostanza, quindi, il credere si colloca su un grado inferiore al sapere, sia per quanto riguarda il contenuto di verità, sia per quanto riguarda l’intersoggettività. Diversa è la situazione quando consideriamo il requisito della *certezza*. Anche questa è una modalità dell’atteggiamento soggettivo della coscienza rispetto a un suo contenuto conoscitivo, ma lo stato rispetto a cui si differenzia è quello del *dubbio* e non ha riferimento diretto alla verità. Una persona può esser certa a proposito di una sua opinione non meno che a proposito di qualcosa che per davvero sa; può esser certa anche a proposito di qualcosa di falso, anche se, soggettivamente, quando qualcuno si sente certo di qualcosa, ritiene di essere in possesso di una conoscenza vera, ossia di “sapere senza dubbio”.

Per quanto sembri sottile, questa analisi è ancora insufficiente. È infatti utile distinguere, dal punto di vista del conoscere soggettivo, l’*opinione* dal *sapere*, e dalle certezze che noi chiameremo di *fede*. Con questo ultimo termine denotiamo la miriade di certezze di cui noi ci serviamo quotidianamente e che non saremmo mai disposti a ritenere delle semplici opinioni, ma che non possiamo neppure classificare fra i contenuti di quanto “sappiamo” per il fatto di aver noi stessi controllato il loro grado di fondatezza. Per esempio, ciascuno è certo dell’esistenza della città di Sidney o della Gioconda di Leonardo, anche se non gli è mai capitato di vederle con i propri occhi, così come è certo del sussistere di tante leggi fisiche che ha letto nei libri su cui ha studiato, pur non avendo mai compiuto le verifiche sperimentali relative, o è certo che Napoleone abbia vinto ad Austerlitz, pur non avendo assistito a quella battaglia. Ma perfino il fatto che io stesso abbia bevuto ieri un caffè in quel tal bar è certo per me anche se in realtà io non lo so per esperienza diretta attuale, bensì semplicemente confidando sulla fedeltà della mia memoria. È chiaro che comportandoci in questo modo non diamo prova di *irrazionalità*, semplicemente perché riteniamo che tali contenuti di conoscenza siano accettabili non già “al di là di ogni possibile dubbio”, ma “al di là di ogni dubbio ragionevole”, e ciò perché possiamo *fidarci* di una gamma amplissima di “garanzie” di tipo socio-culturale, autobiografico, fisiologico, che diamo per scontate pur non essendo in grado di esibire il loro intricato tessuto. Insomma, tanto l’opinare quanto il conoscere (ma diremo addirittura qualsiasi azione umana) presuppongono questo amplissimo retroterra di *certezze di fede*; pertanto una fede intesa in questo senso non si oppone al sapere e, anzi, ogni sapere si fonda su una qualche fede (così intesa). Dovunque c’è certezza c’è fede, diretta o indiretta: è in forza della fede nella testimonianza dei sensi e nelle regole del ragionare corretto che noi possiamo raggiungere il *sapere* scientifico, il quale a sua volta prende le caratteristiche di una fede quanto più si avvicina a possedere requisiti di certezza. È in forza di una fede in certi valori morali che noi ci comportiamo secondo un determinato dover-essere nella nostra condotta individuale e collettiva; è in forza di una fede nell’affidabilità dei resoconti (orali, scritti, multimediali) di altri uomini che noi siamo certi dell’esistenza di cose ed eventi da noi mai direttamente conosciuti.

In base a quanto detto è facile comprendere che quella ricerca di certezza che in misura massima caratterizza il “problema della vita”

trovi autentica soddisfazione nell'accoglimento di una fede e, in questo caso, ci rendiamo conto che il termine "fede" viene ora impiegato in un significato che anche il senso comune utilizza frequentemente. Mentre, infatti, non è comune che si parli di fede rispetto alle conoscenze scientifiche o a realtà di fatto da noi personalmente non conosciute (come l'esistenza di una città, di un monumento o di certi costumi in un paese che non abbiamo mai visitato), è facile che si parli di fede in certi ideali, in una concezione della vita, in una ideologia politica o in una religione. In questi casi (e in altri analoghi), ci sembra naturale parlare di *fede* perché questa abbraccia in qualche modo il *senso globale della vita*, orienta in modo immediato e irriflesso le singole nostre azioni; in parole povere, contiene la soluzione (per chi l'abbraccia) del *problema della vita*. La categoria della fede, in questo senso particolarmente radicale e tale da far diretta allusione al mondo dei valori e alla sfera del soprasensibile, viene applicata di preferenza alla *fede religiosa*, ma in realtà non si limita a questa. È vero che comunemente si designano come "non credenti" coloro che non aderiscono ad alcuna fede religiosa, ma ovviamente è assurdo (e ingiusto) asserire che costoro "non credono in nulla": essi semplicemente non credono in dio, ma possono benissimo credere in una gamma organica di valori, ossia aderire ad alcuni *ideali* capaci di offrire un *senso globale* alla loro vita e a quella della società. Probabilmente si tratterà di un senso più debole rispetto a quello che può esser fornito da un'autentica fede religiosa, dal momento che questa si radica niente meno che nell'adesione a una *realtà assoluta*, capace di dare un senso a tutta quanta l'unità dell'esperienza. Una fede di tal genere è in grado di indicare non soltanto ciò per cui vale la pena di vivere, ma anche ciò per cui vale la pena di morire. Per questo essa implica la certezza che *l'intero* non si riduce all'unità dell'esperienza, tant'è vero che, in certe circostanze estreme, la soluzione corretta del problema della vita appare quella di uscire consapevolmente dalla sfera della vita biologica. Considerando quante persone hanno coscientemente dato la vita per certi ideali non specificamente religiosi ma, per esempio, incarnati in certe ideologie politiche, possiamo affermare che, per costoro, la rispettiva ideologia era non solo la loro fede, ma addirittura "la loro religione"; essi erano dei veri credenti che, con la loro morte, hanno voluto dare testimonianza della *verità* della loro fede. Proprio per questo essi vengono spesso detti i "martiri" della loro ideologia: "martire" infatti significa, etimologicamente, "testimone" e si com-

prende perché, spesso, i tiranni cerchino di "non creare martiri", ossia di mettere a tacere i loro oppositori senza ucciderli, o facendoli morire sotto altri pretesti. Infatti i loro sudditi non potranno fare a meno di convincersi che le idee per cui hanno accettato di morire quelle persone non potevano essere sbagliate.

7. Fede religiosa e razionalità

Dopo aver ricondotto la religiosità alle sue radici di ricerca di un conferimento di senso alla totalità dell'esperienza e di una via per salvare il valore della vita, è facile rendersi conto che, nel tradursi in concrete *religioni storiche*, essa abbia dovuto necessariamente investire il mondo della vita delle diverse culture, ossia atteggiarsi alle conoscenze, alle istituzioni e ai costumi che esse presentavano e, nello stesso tempo, ispirarle e orientarle, proprio perché anche le religioni costituiscono un *sistema* dentro il più ampio sistema sociale di cui sono parte, e intrattengono con gli altri sottosistemi le relazioni di *feedback* illustrate a suo luogo. In particolare, nella loro apparizione storica esse non hanno potuto fare a meno di conformarsi a una certa visione cosmologica dell'universo, a una certa concezione della società, a una certa concezione dell'uomo, pur intervenendo a loro volta nell'aggiungere certe caratteristiche, certe interpretazioni, certe inflessioni a queste medesime componenti della cultura. È quanto mai ingenuo, pertanto, asserire che una certa cosmologia o struttura della società è stata dettata o imposta da una data religione, mentre è vero piuttosto che quella religione ha "attribuito un senso" particolare a tale cosmologia o configurazione sociale e le ha incorporate nella propria maniera di presentarsi storicamente. Quella medesima religione, tuttavia, dovrà cercare di continuare a "dare un senso" anche a cosmologie diverse o forme di società diverse che si presentino nello spazio e nel tempo, se davvero ritiene di possedere un valore universale.

Questa osservazione ci risparmia i discorsi dettagliati (non certo oziosi o inutili) per mostrare, per esempio, che la teoria evoluzionista non è di per sé contraria alla concezione cristiana del mondo, perché entro questa è essenziale affermare che il mondo "dipende ontologicamente" da Dio (ossia è stato posto in essere ed è conservato in essere da Dio come "causa prima"), ma è indifferente che nel mondo la vita sia sorta per complessificazione della materia inerte oppure no, e che si sia poi evoluta in un modo piuttosto che in un

altro. Il concetto metafisico e teologico di creazione, che esprimono una simile dipendenza ontologica, non hanno nulla a che fare con i “creazionismi” di ieri e di oggi e la teoria evoluzionista (ossia l’ammissione dell’evoluzione come un fatto realmente accaduto) è interpretabile come un processo che è accaduto “dentro la creazione” ontologicamente intesa, anche se non in conformità letterale con il racconto biblico che cercava di esprimere tale dipendenza mediante una “narrazione” quale le conoscenze del tempo consentivano di immaginare e comprendere. Quindi *qualunque* pretesa di far derivare dalla scienza conseguenze filosofiche o religiose è intrinsecamente scorretta, dal momento che sono piuttosto tali concezioni che (tacitamente e spesso inconsapevolmente *presupposte*) inducono i loro sostenitori, ossia coloro che *credono* in esse, a interpretare dati e teorie scientifiche in un determinato modo.

Con ciò, tuttavia, siamo ben lungi dal voler banalizzare simili tipi di dibattiti, purché condotti con la consapevolezza delle loro condizioni corrette. Essi infatti rientrano in quell’esigenza di *cercare la ragionevolezza* della propria fede che, una volta di più, caratterizza la cultura dell’Occidente e, dal momento che la scienza è espressione cospicua di tale razionalità, pur non essendone la monopolizzatrice, è non soltanto giusto, ma anche culturalmente inevitabile che anche le fedi religiose si commisurino con la scienza.

Ciò è tanto più vero in quanto la religione caratteristica dell’Occidente, ossia il cristianesimo, si è impostata sin dall’inizio come una religione che, pur fondandosi su una fede, incorpora la ragione, e ciò addirittura per il modo stesso con cui concepisce Dio. L’aggiunta, infatti, che la teologia cristiana compie rispetto alla tradizione biblica vetero-testamentaria nel caratterizzare la “somiglianza” fra Dio e l’uomo è costituita dall’introduzione della *ragione* accanto alla *volontà* e questa fu proprio la conseguenza dell’innesto del razionalismo greco sul tronco della tradizione biblica. In tal modo veniva per un verso completata la nozione della somiglianza suddetta (che ormai da secoli viene definita come il possesso di “intelletto e volontà” da parte di Dio e dell’uomo), e la stessa legge divina viene interpretata come espressione di un *ordine razionale* che Dio ha posto tanto nel cosmo quanto nel modo di agire correttamente da parte dell’uomo. Grazie a questo potente incremento ogni opposizione tra fede e ragione veniva eliminata in linea di principio, cosicché si può affermare che “ciò che è contro ragione è contro Dio”. Non tutta la teologia cristiana ha abbracciato questa prospettiva, ma indubbiamente

te lo ha fatto il filone più influente e significativo di tale tradizione che, in particolare, ha caratterizzato la teologia cattolica. Questa non è mai caduta nell’eccesso del puro *razionalismo*, in quanto ha sempre riconosciuto che la ragione umana è limitata, e che quindi esistono verità che sono a essa *superiori* (in quanto riguardano certi aspetti della realtà che sono *soprannaturali*), ma esse non possono mai essere contrarie alla ragione. Valga per tutti l’esempio del modo con cui viene inteso il *mistero*: quando esso viene difeso, non ci si limita ad affermare che esso sorpassa la ragione, ma si cerca in primo luogo di mostrare, come si usava dire un tempo, che esso “non ripugna” alla ragione, pur evidenziando poi quali sono gli aspetti che la ragione non riesce a chiarire e che, pertanto, si accolgono per semplice fede nella rivelazione. Questo, si badi, non è una rinuncia alla ragione ma, semmai, l’adozione di un profondo atteggiamento che già Pascal esprimeva dicendo che l’ultimo passo della ragione consiste nel riconoscere che esistono infinite cose che la superano. In sostanza, si tratta dell’esercizio di una ragione *aperta*.

Come va intesa questa apertura? Diciamo francamente che essa deve essere *bidirezionale*, ossia implica una riflessione sulla fede che accetta di utilizzare tutti gli strumenti che la ragione umana viene via via sviluppando nel suo sforzo di guadagnare conoscenze, così come implica un esercizio della ragione che non escluda pregiudizialmente dal suo ambito le sfere del soprannaturale. Sembra un proposito di facile attuazione, ma così non è e la storia della nostra cultura lo dimostra. In particolare, noi viviamo oggi, sostanzialmente, all’interno di un clima culturale di largamente diffuso scientismo e coloro stessi che rivendicano il valore delle dimensioni spirituali, soprannaturali, religiose dell’esistenza sono sempre più indotti a farlo in nome di una *fede* (non necessariamente religiosa), cosicché essi finiscono col presentare un ibrido miscuglio di scientismo integrato da un fideismo, in quanto ritengono che nella sfera di questa fede il tentativo di conoscere razionalmente sia più dannoso che utile. Ma è chiaro che, in questo modo, quella *delimitazione* della razionalità che per ragioni *metodologiche* si realizza nelle scienze (e che diventa chiusura quando si trapassa nello scientismo) trova il suo corrispettivo in quella chiusura della razionalità che deriva dal fatto di aver scambiato l’accettazione del *sovrazionale*, che caratterizza l’adesione a *certi particolari* contenuti della fede, con una rinuncia alla comprensione razionale nell’ambito del non sensibile. Cosa ben strana, se ben ci si pensa, in quanto equivale a rinunciare a quello che per

l'uomo è lo strumento più specifico e potente di conoscenza (ossia la ragione) proprio a proposito dei problemi che per l'uomo sono essenzialmente più urgenti, come quello del senso della propria esistenza, del corretto orientamento della propria vita, del suo modo autentico di rapportarsi con il mondo e gli altri uomini.

CONCLUSIONE

Ciò di cui necessita la civiltà contemporanea, talmente imbevuta e condizionata dai progressi della scienza e della tecnologia, è il recupero di una *razionalità unitaria e aperta*, la quale, in particolare, ci consenta di uscire da quelle contrapposizioni *irrazionali stiche* di segno opposto rappresentate, rispettivamente, dal trionfalismo scienziato, che vede nella tecnoscienza soltanto fattori di progresso e felicità, e il crescente atteggiamento di antiscienza e anti-tecnologia, il quale nasce dai timori di uno sviluppo irresponsabile di queste realtà, che potrebbe travolgere i valori fondamentali della nostra civiltà e addirittura porre in pericolo la sopravvivenza del genere umano. Per attuare questo recupero è necessario ridare legittimità alla *ricerca razionale* nel campo del soprasensibile, ossia in quella sfera della realtà che non coincide con quanto è materiale e può essere direttamente colto con i sensi. Per fare ciò è indispensabile non accettare il *pregiudizio materialista* oggi imperante, mostrando per l'appunto che è un pregiudizio, ossia una *fede* pura e semplice non razionalmente argomentata. Per argomentarla razionalmente sarebbe indispensabile intraprendere un'indagine *metafisica*, intesa puramente come indagine sull'intero della realtà, che non sa a priori se questo intero si ridurrà al mondo sensibile o se includerà qualcosa di più. In tale indagine razionale accetteremo di servirci dei due strumenti essenziali che anche la scienza utilizza, ossia l'attestazione dell'esperienza e l'uso della ragione, ma anche in questo caso senza imporre la limitazione metodologica di un *empirismo radicale*, che vieta di usare la ragione al di là di quanto è sperimentalmente controllabile (limitazione che, fra l'altro, svuoterebbe di contenuto conoscitivo le stesse scienze, come è stato mostrato dalle indagini epistemologiche degli ultimi decenni). Una ragione così aperta potrà anche consentire una discussione più serena e costruttiva circa tante scelte di valore che oggi si presentano sotto la veste di opposizioni inconciliabili e che cercano di *imporsi* nei modi più svariati, e

ciò perché l'unica alternativa che gli uomini hanno saputo trovare al confronto delle ragioni è l'uso della violenza.

Indubbiamente, in questa concezione di un uso "a tutto campo" della ragione si presenta una caratteristica che va in direzione opposta rispetto alla mentalità scientifica attuale, dal momento che questa si caratterizza per una crescente accentuazione della *specializzazione* (che significa appunto autolimitazione). Che però questa tendenza debba essere accettata come utile orientamento pratico, ma non possa essere elevata a criterio base della conoscenza, appare anche da un semplice paradosso che abbiamo già menzionato: se specializzazione significa conoscere "sempre di più" a proposito di "sempre di meno", è chiaro che, spingendo al limite questo programma, l'approdo ideale sarebbe un conoscere tutto a proposito di nulla. In realtà non solo ciò non accade, ma l'insopprimibile esigenza del "generale" riaffiora prepotentemente in un fenomeno diffusissimo, il *riduzionismo* di cui abbiamo discusso più volte. Lo specialista di una disciplina è facilmente indotto a ritenere che quanto "sta fuori" da questa è, in ultima istanza, "riducibile" alle realtà e ai tipi di indagine della sua disciplina: per esempio, che la chimica è riducibile alla fisica, o che la biologia è riducibile alla fisica tramite la sua previa riduzione alla chimica e che, di questo passo, *tutto* ciò che realmente esiste è riducibile alla fisica (ma si badi che le riduzioni possono avvenire anche in altre direzioni, per esempio quando si pretende che la psicologia spieghi tutti i fenomeni umani individuali, sociali, linguistici, letterari, e perfino neurologici e biologici; o quando tale capacità di spiegazione esaustiva viene attribuita alla sociologia o all'economia). Il riduzionismo, pur sempre in agguato, è stato probantevolmente refutato nel campo delle scienze, ma sopravvive in una forma residuale forse meno consapevole, ossia quando si pretende che il *tutto* dei problemi che la ragione umana può indagare si *riduca* a quelli che le scienze possono trattare: quindi lo scientismo è la forma più radicale di riduzionismo che, non potendo eliminare l'esigenza di problematizzare l'intero, ritiene di poterlo dominare entro un orizzonte che è pur sempre *parziale*, per quanto abbastanza ampio. Il timore che molti manifestano è che permettere alla ragione di spaziare oltre certi confini finisca col condurre alla negazione della razionalità scientifica, all'incapacità di accettarne i metodi e i risultati. Ma non è certo così: una risposta che chi ha una fede religiosa (o ritiene legittimo percorrere i cammini della conoscenza del sopransensibile) può dare a chi lo rimprovera di chiusura intellettuale è

questa: "Tutto quanto riuscite a comprendere voi lo comprendo anch'io, mentre io riesco anche a comprendere certe cose che per voi sono incomprensibili". In sostanza, quindi, una ragione aperta non è quella che ci obbliga a rinunciare alla razionalità scientifica, ma quella che ci permette di comprendere *di più* di quanto quest'ultima riesca a trattare, e in questo "di più" rientrano proprio le questioni più fondamentali che riguardano la nostra esistenza.

INDICE DEI NOMI

- Abel, N. 117
Ampère, A.-M. 177
Aristotele 19-24, 123, 127, 147, 244, 261
Ashby, R. W. 155-156, 182
- Bacone, F. 30, 32, 38
Bateson, G. 176
Bertalanffy, L. von 175
Bohr, N. 150
Bolzano, B. 117, 121
Boole, G. 124-125
Bolyai, J. 132
Boyle, R. 74, 273
Brouwer, L. 141
Bruno, G. 30
Buffon, G.-L. 69, 80
Burali-Forti, C. 133
- Campanella, T. 30
Cannon, W. 155, 181
Cantor, G. 120, 125-128, 134
Capuana, L. 100
Cartesio (Descartes), R. 32, 37, 39, 44, 170
Cauchy, A. 54, 117-118
Cavalieri, B. 116
Comte, A. 35, 52, 98
Crick, F. 153
Cuvier, G. 80, 82
- Darwin, C. 81-82, 90, 93-94
Dedekind, R. 120-123, 128
Democrito 36
Descartes, R.(Cartesio) 37
Dilthey, W. 105-106
Dirichlet, G. 118
Dobzhansky, T. 83
- Einstein, A. 148, 194-195, 198, 211, 215
Ellul, J. 217-218
Engels, F. 47, 109, 111
Epicuro 36
- Fermat, P. 39, 116
Ferraris, G. 55
Fourier, C. 109
Frege, G. 121-122, 125, 128, 133, 141, 144
Friedmann, A. 195
- Galilei, G. 30-34, 36-39, 44, 55, 76, 85, 170, 213, 272-273
Gauss, C.F. 119
Giamblico 271
Gödel, K. 142-144
Grey Walter, W. 182
- Hall Rupert, A. 29
Harvey, W. 39

- Hayek, F. von 113
 Hegel, G.W. 105, 110
 Heine, E. 120
 Heisenberg, W. 149, 161
 Helmholtz, H. 62, 102, 104, 129, 137, 189
 Hilbert, D. 142-143
 Hubble, E. 195-196
 Huxley, T. 93
- Johansen, W. 153
 Jonas, H. 262
 Joule, J.P. 129
- Kant, I. 37-39, 68, 74, 96, 98, 101, 167, 193-194, 224
 Kelvin, T.W. 62, 129-130
 Kolbe, H. 57
 Kronecker, L. 119
- Lagrange, L. 35
 Lambert, J.H. 193
 Lamettrie, J. 233
 Laplace, P.S. 76, 157-158, 161, 193-194, 233
 Laszlo, E. 176
 Lavoisier, A. 75-76
 Leibniz, G.W. 35, 39, 116, 123, 148, 245, 273
 Lemaître, G.E. 195
 Linneo, C. 69, 80, 172
 Lobačevskij, N. 132
 Lorenz, E. 159
- Mach, E. 138, 140, 167
 Malpighi, M. 39
 Maritain, J. 273
 Marx, K. 47, 109, 111-112
 Maupertuis, P.L. 193
 Maxwell, J.C. 130, 137
- McCulloch, W. 182
 Mendel, G. 153
 Meotti, G. 95
 Méray, C. 120
 Mill, J.S. 47
 Mises, L. von 113
 Monod, J. 90, 226
 Morgan, T.H. 153
- Neumann, J. von 177-178, 184
 Newton, I. 22, 34-36, 39, 85, 94, 116, 172, 193-194, 211, 273
 Nobel, A. 56
- Owen, R. 109
- Pacinotti, A. 55
 Paracelso, 74
 Parmenide, 19, 21
 Pascal, B. 116, 289
 Peano, G. 121-123, 125, 132-133
 Peirce, C. S. 168-169
 Pieri, M. 132
 Pitts, W. 182
 Platone 19-20, 24, 103, 177, 238
 Poincaré, H. 133, 158-159, 167, 215
 Popper, K. 84, 107, 167-168
 Prudhon, C. 109
- Quatrefages, J.L.A. de 101
- Ranke, L. 105
 Ricardo, D. 112
 Rickert, H. 106
 Riemann, B. 118
 Rosenblueth, A. 179
 Rousseau, J.-J. 48
 Russell, B. 133, 141, 144

- Saccheri, G. 131
 Saint-Simon, C. 109
 Sarà, M. 84
 Schleiden, M. 78
 Schröder, E. 124
 Schwann, T. 78
 Shannon, C.E. 179-180
 Smith, A. 111-112
 Spallanzani, L. 58
 Spencer, H. 237
 Stahl, E. 38-74
 Stephenson, G. 52
 Sutton, W. 153
- Taine, H. 99
 Tarski, A. 144
 Teilhard de Chardin, P. 273
- Telesio, B. 30
 Toynbee, A. 47
 Turing, A.M. 177
 Valla, L. 103
 Verga, G. 100
 Vico, G.B. 97, 104
 Voltaire, F. 39
 Watson, J. 153
 Watt, J. 49
 Weber, M. 101, 106, 113
 Weierstrass, K. 118-120
 Wiener, N. 177-179
 Windelband, W. 106
 Wöhler, F. 56
 Zermelo, E. 141
 Zola, E. 100

Annotazioni

