

Autore Warren Weaver, Rockefeller Foundation, New York City, 1948

Arrivo 31 ottobre 2003

Accettazione 1 dicembre 2003

Pubblicazione 23 gennaio 2004

Descrizione È l'articolo [originale](#) col quale Weaver ha introdotto il concetto di complessità. La traduzione dell'articolo, inedito in Italia, è stata proposta e realizzata da Pier Franco Nali del Servizio di Statistica della Regione Sardegna.

Scienze altrascienza

Settori storia delle scienze

Lingua Italiano

Livello Per tutti

Tipologia Divulgativa

Tipo Testo

ID bUIb 01 (2004) 003

Scarica: [PDF \(371 Kb\)](#)

Problemi di Complessità

Nei secoli XVII, XVIII e XIX furono proposte varie teorie di complessità. Una delle teorie più importanti è quella di Henri Poincaré, che si riferisce alla dinamica non lineare e al caos. Un'altra è quella di Ludwig von Bertalanffy, che si riferisce alla complessità biologica e alla teoria dei sistemi. Una terza è quella di Norbert Wiener, che si riferisce alla complessità matematica e alla teoria dell'informazione.

Contemporaneamente, anche il progresso della biologia e della medicina ha stimolato una ricerca sempre diversa. Gli organismi, infatti, sono sistemi complessi e non lineari, e la loro comprensione richiede un approccio interdisciplinare che integri le scienze naturali, la matematica e la filosofia.

Scienza e complessità

("Science and Complexity", American Scientist, 36: 536 (1948).

Based upon material presented in Chapter 1' "The Scientists Speak,"

Boni & Gaer Inc., 1947. All rights reserved.)

Warren Weaver

Rockefeller Foundation, New York City

LA SCIENZA ha prodotto innumerevoli risultati con notevoli ricadute sulla vita umana: alcuni si sono tradotti in pure e semplici comodità piuttosto banali, molte delle quali, fondate sulla scienza e sviluppate con la tecnologia, sono essenziali per quel complesso meccanismo che è la vita moderna. È fuor di dubbio che molti altri risultati, in special modo quelli raggiunti nelle scienze biologiche e mediche, abbiano portato vantaggi e benessere. Infine, alcuni aspetti della scienza hanno influenzato profondamente le idee e gli ideali dell'umanità, mentre altri ancora suscitano un profondo senso di timore.

Come possiamo farci un'idea della funzione che la scienza dovrebbe avere nel futuro dell'uomo? Come possiamo renderci conto di che cosa è realmente la scienza e, questione altrettanto importante, che cosa non è? È possibile, naturalmente, discutere della natura della scienza in termini filosofici generali. Per certi scopi tale discussione è importante e necessaria, ma per il nostro scopo presente è preferibile adottare un metodo più diretto. Come soleva dire un politico molto pragmatico, guardiamo ai fatti. Lasciando da parte la storia della scienza più antica, torneremo indietro di soli tre secoli e mezzo dando uno sguardo d'insieme nel tentativo di cogliere gli aspetti principali, trascurando i particolari meno rilevanti. Per semplicità cominciamo con le scienze fisiche, anziché con le scienze della vita, il cui posto nello schema descrittivo emergerà chiaramente a poco a poco.

Problemi di Semplicità

I secoli XVII, XVIII e XIX formano grosso modo il periodo in cui la fisica apprese l'uso delle variabili, dandoci quindi il telefono e la radio, l'automobile e l'aeroplano, il fonografo e il cinema, la turbina e il motore Diesel, e le moderne centrali idroelettriche.

Contestualmente, anche il progresso della biologia e della medicina fu sbalorditivo, ma assunse un carattere diverso. Nei problemi importanti che riguardano gli organismi viventi, infatti, è raro che si riescano a mantenere rigidamente costanti tutte le variabili tranne due. È più verosimile che gli esseri viventi presentino

situazioni in cui alcuni parametri, o perfino decine di essi varino tutti simultaneamente, e in modo strettamente interdipendente. Spesso presentano situazioni in cui i parametri di importanza fondamentale non sono quantitativi, o comunque fino a quel momento sono sfuggiti all'identificazione o alla misura. I problemi biologici e medici, dunque, implicano spesso l'esame di un insieme organizzato in modo estremamente complesso. Non sorprende quindi che fino al 1900 le scienze della vita si fossero occupate per lo più delle fasi preliminari necessarie all'applicazione del metodo scientifico – fasi preliminari che comportano principalmente la raccolta, la descrizione, la classificazione, e l'osservazione di effetti concomitanti e apparentemente correlati. Avevano mosso soltanto i primi, coraggiosi passi verso le teorie quantitative, e avevano a malapena intrapreso la via della spiegazione particolareggiata dei meccanismi fisici e chimici alla base degli eventi biologici.

In sintesi, la fisica prima del 1900 si occupava per lo più di problemi di semplicità a due variabili, mentre le scienze della vita, in cui questi problemi di semplicità spesso non sono altrettanto rilevanti, non assunsero carattere marcatamente quantitativo o analitico.

Problemi di Complessità Disorganizzata

Subito dopo il 1900 e ad onore del vero già prima, se si includono nel novero pionieri del valore di Josiah Willard Gibbs, la fisica sviluppò un attacco alla natura di tipo essenzialmente e radicalmente nuovo. Anziché studiare problemi a due o, al massimo, tre o quattro variabili, alcune menti immaginative si spinsero all'altro estremo, e dissero: "Mettiamoci a sviluppare metodi analitici in grado di trattare miliardi di variabili!" Detto in altri termini, i fisici, coi matematici spesso in prima linea, svilupparono potenti tecniche di teoria delle probabilità e di meccanica statistica per affrontare quelli che si possono definire problemi di *complessità disorganizzata*.

Quest'ultima espressione va spiegata. Per coglierne il senso si cominci col considerare un semplice esempio. La dinamica classica del XIX secolo era particolarmente adeguata per l'analisi e la previsione del moto di una singola palla d'avorio sulla superficie di un tavolo da biliardo. Infatti, la relazione tra le posizioni della palla ed i tempi impiegati a raggiungerle costituisce un tipico problema di semplicità del XIX secolo. Si può analizzare il moto sul tavolo da biliardo di due o anche di tre palle, ma in questo caso le difficoltà aumentano in misura sorprendente. La meccanica del gioco del biliardo standard, in effetti, è stata oggetto di studi considerevoli. Ma, non appena si tenta di analizzare il moto quando sul tavolo si muovono assieme dieci o quindici palle, come nel pool, il problema non è più trattabile, non a causa di difficoltà teoriche di un qualche genere, ma semplicemente perché trattare tante variabili in modo particolareggiato comporta un lavoro effettivo che all'atto pratico si dimostra impossibile.

Ora si immagini, tuttavia, un tavolo da biliardo di dimensioni smisurate, sulla cui superficie rotolano milioni e milioni di palle, urtando le une contro le altre e contro le sponde laterali. Con gran sorpresa il problema questa volta diventa più facile, poiché si possono applicare i metodi della meccanica statistica.

Indiscutibilmente la storia di ogni singola palla non può essere ricostruita in tutti i particolari; però si può rispondere con precisione considerevole ad alcune domande importanti, del tipo: in media, quante palle colpiscono in un secondo un tratto di sponda di data lunghezza? Qual è la distanza media percorsa da una palla prima di subire un urto contro qualcun'altra? E, sempre in media, quanti urti al secondo subisce?

Precedentemente si era accennato all'applicazione dei nuovi metodi statistici ai problemi di complessità disorganizzata. Come si lega la parola "disorganizzata" al problema appena illustrato dell'immenso tavolo da biliardo affollato di palle? In questo caso il legame deriva dal fatto che i metodi della meccanica statistica sono validi solo quando le palle sono distribuite, nelle loro posizioni e moti, in uno stato casuale, vale a dire disorganizzato. I metodi statistici non sarebbero applicabili se invece, ad esempio, le palle fossero state messe l'una dietro l'altra in una fila parallela ad una sponda laterale del tavolo, e successivamente poste in movimento tutte assieme lungo traiettorie, rigorosamente parallele, perpendicolari alla fila in cui stanno. In simili condizioni le palle non urterebbero mai le une contro le altre, né contro due delle sponde, e non vi sarebbe quindi uno stato di complessità disorganizzata.

Questo esempio chiarisce che cosa si intende per problema di complessità disorganizzata. È un problema con un numero estremamente elevato di variabili, dove ciascuna di esse ha un comportamento individuale casuale, se non totalmente sconosciuto. Tuttavia, nonostante questo comportamento casuale, o sconosciuto, di tutte le variabili individuali, il sistema possiede proprietà medie accessibili all'indagine e regolarità dell'insieme.

La definizione di complessità disorganizzata comprende una varietà molto ampia di situazioni. La precisione del metodo statistico migliora via via che aumenta il numero delle variabili: diventa altissima quando il metodo viene applicato, in una grande centrale telefonica, alla previsione della frequenza media delle chiamate, della probabilità di sovrapposizione di chiamate sullo stesso numero, eccetera. Il metodo statistico rende possibile la stabilità finanziaria di una compagnia di assicurazioni sulla vita: sebbene la compagnia non possa avere alcuna conoscenza della data di morte di ogni particolare assicurato, ha tuttavia una conoscenza attendibile della frequenza media dei decessi.

Quest'ultimo punto è interessante ed importante. Infatti, il campo di applicazione delle tecniche statistiche non è limitato alle situazioni in cui la teoria scientifica degli eventi particolari è molto ben conosciuta, come nell'esempio del biliardo, dove esiste una teoria straordinariamente precisa dell'urto di una palla contro un'altra. Le stesse tecniche si possono applicare anche in situazioni dove ogni evento particolare è come se fosse avvolto nel mistero, come avviene, nell'esempio delle assicurazioni, per la catena di eventi complicati e imprevedibili legati alla morte accidentale di un individuo in buona salute.

Gli esempi della società telefonica e della compagnia di assicurazioni suggeriscono un'intera gamma di applicazioni pratiche delle tecniche statistiche basate sulla complessità disorganizzata. Ma sono in certo qual senso degli esempi infelici, perché tendono ad allontanare l'attenzione dall'uso di queste nuove tecniche a livello più fondamentale nell'ambito della scienza. Il moto degli atomi costituenti la materia, come quello delle stelle che formano l'universo, rientra nel campo d'indagine di queste nuove tecniche, come pure vi rientrano le leggi

fondamentali dell'ereditarietà genetica. Anche le leggi della termodinamica, che descrivono processi fondamentali irreversibili di tutti i sistemi fisici, vengono ricavate da considerazioni statistiche. Infine, l'intera struttura della fisica moderna, la nostra attuale concezione della natura dell'universo fisico, e di ciò che su di esso è sperimentalmente accessibile, si fondano su questi concetti statistici. Da essi dipende infatti, come viene ormai riconosciuto, tutta la questione della prova sperimentale, e di come la conoscenza possa essere dedotta dalla prova sperimentale. Perciò i concetti probabilistici sono fondamentali in qualsiasi teoria della conoscenza.

Problemi di Complessità Organizzata

Seppur molto più potente dei precedenti metodi a due variabili, questo nuovo metodo per affrontare i problemi di complessità disorganizzata lascia inesplorato un grande campo d'indagine. Si potrebbe indulgere a semplificare un po' troppo, dicendo che la metodologia scientifica è passata da un estremo all'altro - da due a un numero estremamente elevato di variabili - lasciando inesplorata una grande regione intermedia. L'importanza di questa regione intermedia, peraltro, non dipende principalmente dal numero relativamente piccolo - grande rispetto a due, ma piccolo rispetto al numero di atomi contenuti in un pizzico di sale - di variabili coinvolte: infatti i problemi di questa regione intermedia di solito coinvolgeranno un numero considerevole di variabili. Piuttosto, la caratteristica davvero importante dei problemi di questa regione intermedia, che fino ad ora la scienza ha ben poco esplorato o sottomesso, risiede nella proprietà fondamentale dell'*organizzazione* che essi mostrano, e che contrasta con le situazioni disorganizzate dei problemi cui la statistica può tener testa. Infatti, ci si può riferire a questo gruppo di problemi come a quelli di *complessità organizzata*.

Che cosa fa sbocciare un'enagra¹ in quel momento? Perché l'acqua salata non riesce a soddisfare la sete? Perché un particolare ceppo di microrganismo può sintetizzare all'interno del suo corpo minuscolo certi composti organici che un altro ceppo dello stesso organismo non può produrre? Perché una certa sostanza chimica è tossica mentre un'altra, la cui molecola contiene esattamente gli stessi atomi in una disposizione a simmetria speculare, è assolutamente innocua? Perché la quantità di manganese nella dieta influisce sull'istinto materno di un animale? Qual è la descrizione biochimica dell'invecchiamento? Qual è il significato della domanda:

Un virus è un organismo vivente? Che cos'è un gene, e come si manifesta nell'adulto la struttura genetica originaria di un organismo vivente? Le complesse molecole proteiche "sanno come" duplicare ripetutamente la loro configurazione^{**2}, ed è forse questa una traccia cruciale verso la soluzione del problema della riproduzione degli organismi viventi? Tutti questi sono certamente problemi complessi, ma non problemi di complessità disorganizzata che si possano risolvere con metodi statistici: comportano tutti il trattamento simultaneo di un *considerevole numero di elementi strettamente interdipendenti in un insieme organico*. Sono tutti, nel linguaggio qui proposto, problemi di *complessità organizzata*.

¹ varietà di primula originaria del Nordamerica [n.d.t.]

² all'epoca il ruolo degli acidi nucleici in questo processo non era ancora noto [n.d.t.]

Da che cosa dipende il prezzo del grano? Questo, ancora una volta, è un problema di complessità organizzata: vi è coinvolto un numero molto considerevole di variabili rilevanti, tutte interdipendenti in modo complicato, ma tuttavia non casuale.

Come si può rendere stabile la moneta in modo saggio ed efficace? Fino a qual punto è prudente lasciar liberamente interagire le forze economiche dell'offerta e della domanda? E fino a qual punto si deve far uso di sistemi di controllo economico per evitare quelle troppo ampie fluttuazioni che portano dalla prosperità alla depressione? È del tutto evidente che anche questi sono problemi complessi, comportanti l'analisi di sistemi con parti strettamente interdipendenti, ma organici nell'insieme.

Come si può spiegare lo schema di comportamento di un gruppo organizzato di persone come un sindacato, un'associazione d'industriali o una minoranza razziale? Evidentemente in questo problema vi sono molti elementi da considerare, ma è altrettanto evidente la necessità di disporre di strumenti matematici più raffinati della statistica elementare. Potendo impiegare una data quota complessiva delle risorse di una nazione, quale tattica o strategia porterà più rapidamente alla conclusione di una guerra vittoriosa; oppure, preferibilmente: quali rinunce a vantaggi immediati ottenuti a danno di altri contribuiranno meglio allo sviluppo di un mondo stabile, rispettabile e pacifico?

Questi problemi-e un'ampia gamma di problemi simili nelle scienze biologiche, mediche, psicologiche, economiche e politiche-sono troppo complicati per cedere alle vecchie tecniche del XIX secolo, che avevano avuto un successo così evidente nei problemi di semplicità a due, tre o quattro variabili. Questi nuovi problemi, inoltre, non possono essere trattati neppure con le tecniche statistiche così efficaci nel descrivere il comportamento medio nei problemi di complessità disorganizzata.

Questi nuovi problemi, e il nostro futuro dipende da molti di essi, esigono dalla scienza un terzo grande progresso, ancor più grande del successo del XIX secolo sui problemi di semplicità o del XX secolo sui problemi di complessità disorganizzata. Nel corso dei prossimi 50 anni la scienza dovrà imparare ad affrontare questi problemi di complessità organizzata.

Si intravede qualche speranza che questo nuovo passo in avanti possa essere davvero compiuto? Vi sono in tal senso molte indicazioni di carattere generale, e ve ne sono due emerse di recente in special modo promettenti. Come dato generale, centinaia di studiosi di tutto il mondo ritengono che già si stiano compiendo su tali problemi progressi di una certa importanza, sia pure necessariamente ancora di carattere secondario. Per la prima volta, i metodi sperimentali quantitativi e quelli di analisi matematica delle scienze fisiche vengono applicati nelle scienze biologiche e mediche, e perfino nelle scienze sociali. I risultati sono per ora frammentari, ma estremamente promettenti. Se ne può vedere un buon esempio nelle scienze biologiche ponendo a confronto lo stato attuale della ricerca sul cancro con quello di venticinque anni fa. È vero, al di là di ogni dubbio, che stiamo solo scalfendo la superficie del problema del cancro, ma per lo meno vi sono allo stato attuale alcuni arnesi per scavare in profondità, e sappiamo che sotto alcuni punti quasi certamente si trova il filone d'oro.

Sappiamo che alcune forme di tumore possono essere causate da certi prodotti chimici puri, e abbiamo anche alcune conoscenze sulla trasmissione ereditaria della predisposizione a sviluppare certe forme di tumore. Sono disponibili radiazioni atomiche da un milione di volt e oltre, nonché radioisotopi per la ricerca di base e la radioterapia. Gli scienziati stanno affrontando la trama quasi incredibilmente complicata dei meccanismi biochimici alla base dell'invecchiamento dell'organismo. Infine, si va consolidando una base di conoscenze sulla cellula normale che rende possibile riconoscere e analizzare le situazioni patologiche. Sebbene il traguardo sia ancora lontano, ora siamo finalmente sulla via della soluzione di questo grande problema.

Oltre alla crescente generale evidenza della possibilità di riuscire a trattare problemi di complessità organizzata, vi sono almeno due segnali specifici particolarmente incoraggianti: sono due nuovi sviluppi, scaturiti dalla guerra, che possono rivelarsi della massima utilità alla scienza nella soluzione di questi complessi problemi del XX secolo.

Il primo è lo sviluppo, nel corso della guerra, di nuovi dispositivi di calcolo elettronico. Si tratta di macchine che, per flessibilità e capacità, sono più simili al cervello umano che alle tradizionali calcolatrici meccaniche del passato; hanno memorie che possono conservare un'enorme quantità d'informazioni; gli si può "ordinare" di eseguire calcoli estremamente complessi, e lasciare che svolgano automaticamente il loro compito senza alcun intervento umano. La loro sbalorditiva velocità di calcolo è esemplificata dal fatto che un piccolo componente di una macchina di tal genere, programmato per moltiplicare due numeri di dieci cifre, può eseguire circa 40.000 di queste moltiplicazioni prima che un operatore umano possa dire "Jack Robinson." Questa combinazione di flessibilità, capacità e velocità fa ritenere che queste macchine avranno un'enorme utilità per la scienza: consentiranno di affrontare problemi in precedenza considerati troppo complicati, e, fatto più importante, forniranno motivazioni e ispirazioni allo sviluppo di nuovi metodi analitici applicabili a questi nuovi problemi di complessità organizzata.

Il secondo passo in avanti compiuto nel corso della guerra consiste nell'applicazione del metodo "mixed-team" nell'analisi delle operazioni. È il caso di spiegare questi termini, sebbene siano molto famigliari a coloro che si occupavano dell'applicazione di metodi matematici in campo militare.

Si consideri, a titolo di esempio, il problema globale della scorta di truppe e di rifornimenti attraverso l'Atlantico. Si tenga conto del numero e dell'efficacia delle navi da guerra disponibili, delle caratteristiche degli attacchi sottomarini, e di innumerevoli altri elementi, compresi quelli non quantificabili, come la fiducia nei turni di guardia quando i marinai sono stanchi, ammalati, o annoiati. Considerando tutto l'insieme di questi fattori, alcuni misurabili e altri che sfuggono alla misura o alla stima, quale metodo operativo si tradurrebbe nel miglior piano globale, cioè, il migliore dal punto di vista della combinazione della velocità, della sicurezza, del costo, e così via? I convogli navali dovrebbero essere grandi o piccoli, veloci o lenti? Dovrebbero navigare cambiando continuamente direzione ed esponendosi così più a lungo ad un possibile attacco, o percorrere una rotta rettilinea più diretta? Come devono essere organizzati, quali sono le difese migliori, e infine, come ci si dovrebbe organizzare per la vigilanza e l'attacco e di quali strumenti si dovrebbe far uso?

Nel corso della guerra alcuni gruppi, conosciuti come gruppi di analisi delle operazioni, avevano il compito di cercare le soluzioni di questi problemi tattici su vasta scala, o di problemi strategici su scala ancor più ampia. Il metodo, brillantemente sperimentato dagli Inglesi e successivamente introdotto nel nostro paese, fu applicato con particolare successo nella campagna antisommergibili della Marina e nell'Aeronautica. Questi gruppi di analisi delle operazioni, inoltre, erano ciò che si può definire squadre miste. Anche se matematici, fisici e ingegneri erano le figure essenziali, i gruppi migliori annoveravano anche fisiologi, biochimici, psicologi e rappresentanti di svariati altri campi delle scienze biochimiche e sociali. Tra i componenti di maggior rilievo delle squadre miste inglesi, per esempio, vi erano un endocrinologo e uno specialista in cristallografia ai raggi X. Sotto la pressione della guerra, queste squadre miste unirono le loro risorse e fecero convergere sui problemi comuni tutti i loro talenti specifici. All'opposto della tendenza moderna alla specializzazione scientifica molto spinta, si trovò che membri di estrazione tanto diversa potevano lavorare assieme, formando un'unità molto più grande della pura e semplice somma delle parti. Si dimostrò che questi gruppi potevano affrontare certi problemi di complessità organizzata, e ricavarne risultati utili.

Esercita una certa attrattiva la previsione che i grandi progressi che la scienza potrà e dovrà compiere nei prossimi cinquanta anni saranno dovuti in gran parte alle attività di gruppi misti spontanei, in qualche modo simili ai gruppi di analisi delle operazioni del periodo bellico, efficacemente dotati di calcolatori enormi, flessibili e velocissimi. Tuttavia, non è corretto immaginare che in futuro questo sarà il modello esclusivo del lavoro scientifico, che ha invece bisogno di un'atmosfera di completa libertà intellettuale. Vi saranno sempre, per fortuna, degli scienziati che considerano la libertà intellettuale una questione strettamente individuale. Personalità di tal genere devono, e dovrebbero, lavorare in autonomia. Probabilmente alcuni risultati profondi ed originali vengono raggiunti soltanto in questo modo. Inoltre gli americani vanno fieri di poter fare le cose in modi diversi, e considerano positivamente la competizione fra tutti i differenti metodi. Non abbiamo perciò alcuna intenzione di dipingere un futuro in cui tutti gli scienziati saranno organizzati in schemi di attività predefiniti. Niente affatto. Si sostiene semplicemente che alcuni scienziati cercheranno e svilupperanno autonomamente nuove forme di collaborazione; che questi gruppi comprenderanno membri provenienti praticamente da tutti i campi della scienza; e infine che questi nuovi metodi di lavoro, resi più efficaci dai giganteschi calcolatori di cui si serviranno, contribuiranno notevolmente al progresso che verrà certamente compiuto nella prossima metà del secolo nel trattamento dei complessi, ma essenzialmente organici, problemi delle scienze biologiche e sociali.

I Confini della Scienza

Ma torniamo ora alle nostre domande iniziali. Che cos'è la scienza? Che cosa non è? Che cosa ci si può aspettare dalla scienza?

È evidente che la scienza è un metodo per risolvere problemi - non tutti, ma un'ampia classe di quelli importanti e pratici. I problemi che la scienza può affrontare sono quelli in cui gli elementi più rilevanti sono

soggetti alle leggi fondamentali della logica, e sono per la maggior parte misurabili. La scienza è un metodo per organizzare in forma riproducibile la conoscenza su tali problemi; concentrare e disciplinare il pensiero; esaminare le prove; decidere che cosa è rilevante e che cosa non lo è; mettere alla prova le ipotesi con imparzialità; scartare impietosamente i dati imprecisi o insufficienti; e infine trovare, interpretare e confrontare i fatti, e mettere i fatti naturali al servizio dell'uomo.

L'essenza della scienza non va cercata nel suo aspetto esteriore, nelle sue manifestazioni fisiche, ma nel suo spirito interno. L'aspetto veramente importante della scienza è quell'austera ma emozionante tecnica d'indagine nota come metodo scientifico. Il metodo scientifico pretende da coloro che lo praticano elevate doti di onestà personale, apertura mentale, chiarezza di vedute, e amore della verità. Sono virtù concrete, ma la scienza non ne ha l'esclusivo privilegio. Anche il poeta le possiede, e di solito le rivolge a usi più nobili.

La scienza ha compiuto notevoli progressi nel suo importante compito di risolvere problemi logici e quantitativi. Infatti, i successi sono stati così numerosi e straordinari, e i fallimenti divulgati così raramente, che l'uomo comune si è inevitabilmente convinto che l'impresa dal successo più straordinario mai intrapresa dall'uomo sia proprio l'impresa scientifica. Il fatto è, naturalmente, che questa conclusione è in gran parte giustificata.

Per quanto il progresso sia stato straordinario, la scienza non ha affatto concluso il suo compito. Mentre è abbastanza ragionevole dire che la scienza, fino ad ora, è riuscita a risolvere un numero sbalorditivo di problemi relativamente facili, quelli difficili, e forse più promettenti per il nostro futuro, restano di fronte a noi ancora irrisolti.

Non dobbiamo perciò continuare a considerare la scienza dal punto di vista dei suoi successi straordinari nella soluzione di problemi di semplicità. Questo significa, fra l'altro, che non dobbiamo continuare a considerarla in termini di piccole invenzioni. Ma soprattutto, non la si deve considerare una versione moderna e progredita di magia nera, capace di qualunque cosa e di tutto.

Penso che ogni scienziato informato abbia fiducia nella capacità della scienza di portare ulteriori straordinari contributi al benessere umano. La scienza può proseguire nel suo cammino alla conquista della natura, imparando nuove leggi, acquisendo nuovo potere di previsione e di controllo, creando nuovi prodotti utili o destinati allo svago. Inoltre la scienza può dare ulteriori brillanti contributi alla comprensione della natura vivente, dandoci nuovo vigore e salute, una vita più lunga e migliore, e una più saggia comprensione del comportamento umano. Anzi, penso che gli scienziati più informati vadano ancora oltre e credano che le tecniche esatte, obiettive, ed analitiche della scienza troveranno applicazioni utili in aree definite delle discipline sociali e politiche.

Si posson reclamare per la scienza e il metodo scientifico ancor più chiari riconoscimenti. Come parte essenziale del suo metodo caratteristico, lo scienziato insiste sulla esatta definizione dei termini e la chiara

descrizione del problema. Naturalmente è più facile definire i termini con precisione nelle discipline scientifiche piuttosto che in molti altri campi. Ciò non toglie, tuttavia, che la scienza è un esempio quasi schiacciante dell'efficacia di un linguaggio ben definito e accettato, e di un insieme di idee e tradizioni comuni. Il modo in cui l'universalità della scienza è riuscita a superare barriere di spazio e di tempo, attraversando confini politici e culturali, è molto eloquente. Fra tutte le imprese intellettuali dell'umanità, l'impresa scientifica è forse quella che ha risolto meglio il problema di comunicare le idee, e ha dimostrato come ciò si traduca necessariamente in una collaborazione e comunione di interessi a livello mondiale.

È vero, la scienza è uno strumento potente, e vanta una serie di successi straordinari. Ma lo scienziato umile e saggio non crede né spera nell'onnipotenza della scienza. Egli ha ben presente che la scienza insegna il rispetto delle specifiche competenze, e non crede che basterebbe semplicemente mettere "gli scienziati" ai posti di comando perché tutti i problemi sociali, economici o politici scompaiano d'incanto. Non pretende - tranne poche aberranti eccezioni - che la scienza fornisca un codice etico o estetico; né che la scienza fornisca il parametro di valutazione, o il meccanismo di controllo, dell'amore dell'uomo per la bellezza e la verità, del suo senso dei valori o delle sue convinzioni religiose. Vi sono nell'uomo delle qualità ricche ed essenziali che sfuggono alla logica, che non sono materiali né quantificabili, e che non si possono vedere sotto il microscopio, pesare con la bilancia, o captare col microfono più sensibile.

Se la scienza si occupa di problemi quantitativi puramente logici, se non ha cognizione di valori o scopi, o non ne ha interesse, in che modo il moderno uomo di scienza può raggiungere un buon equilibrio di vita, dove la logica si accompagna con la bellezza, e l'efficienza fa coppia con la virtù?

In un certo senso la risposta è molto semplice: il nostro senso etico deve raggiungere un livello adeguato al complesso meccanismo che abbiamo per le mani. Per il raggiungimento di quest'obiettivo, tuttavia, non basta evidenziarne la necessità. Il grande divario, che sfortunatamente separa il nostro potere dalla nostra capacità di usarlo con saggezza e getta ombre sul nostro futuro, può essere superato solo con un'imponente combinazione di sforzi: deve migliorare la conoscenza del comportamento dell'individuo e del gruppo; deve migliorare la comunicazione tra popoli di lingue e culture diverse, così come fra tutti i diversi portatori di interessi, spesso pericolosamente contrastanti, all'interno di una stessa comunità; deve essere compiuto un progresso rivoluzionario nella nostra comprensione dei fattori economici e politici; deve essere sviluppata la volontà di sacrificare interessi immediati di natura egoistica, sia personali che nazionali, allo scopo di determinare miglioramenti *a lungo termine* per tutti.

Nessuno di questi traguardi sarà raggiungibile finché gli uomini non comprenderanno che cos'è realmente la scienza; il progresso deve avvenire in un mondo in cui la scienza moderna è un'influenza inevitabile in perenne espansione.

fine

