

CHE COS'È LA SCIENZA?¹

Ringrazio il signor DeRose che mi ha dato l'opportunità di unirmi a voi, docenti di scienze. Anch'io sono professore di scienze. Ho maturato una significativa esperienza con gli studenti di dottorato in fisica e il risultato è che so di non sapere insegnare.

Sono certo che anche voi, che siete insegnanti veri e che lavorate al primo livello di questa gerarchia di docenti, istruttori di docenti, esperti in piani di studi, anche voi siete sicuri, come lo sono io, di non sapere come si insegna: in caso contrario non vi sareste presi il disturbo di partecipare a questo congresso.

L'argomento di questa conferenza è stato scelto non da me, ma dal signor DeRose. Tuttavia vorrei dire che, secondo me, il titolo «Che cosa è la scienza?» non è affatto equivalente a «Come si insegna la scienza», e debbo attirare la vostra attenzione su questo punto per due ragioni. Innanzitutto questo mio preambolo può dare l'impressione che io voglia spiegarvi come si insegna la scienza, e non è assolutamente così, dal momento che non so nulla di bambini. Ho un figlio, e quindi so di non sapere. In secondo luogo, penso che molti di voi, visto che si fanno tante conferenze, si scrivono tanti articoli e vi sono tanti esperti nel campo, abbiano una vaga sensazione di mancanza di fiducia in se stessi. Venite sempre ammoniti, in un modo o nell'altro, per il fatto che le cose non funzionano bene, e vi si dice che dovrete imparare a insegnare meglio. Non sono qui per rimproverarvi del cattivo lavoro che state facendo e indicarvi il sistema per migliorarlo in modo definitivo; non è assolutamente questa la mia intenzione.

In realtà al Caltech arrivano ottimi studenti e abbiamo anzi riscontrato che migliorano ogni anno. Non saprei dirne il motivo; mi domando se voi lo sappiate. Non voglio interferire con il sistema, che è davvero ottimo.

Solo due giorni fa abbiamo deciso in una riunione che non era più necessario tenere un corso elementare di meccanica quantistica nella scuola di dottorato. Era così anche ai miei tempi, ma solo perché allora veniva considerata una materia difficilissima. Ne venne istituito uno che avevo appena cominciato a insegnare. Ora invece la insegniamo al primo ciclo. Abbiamo scoperto che un corso elementare non è più necessario neanche per i dottorandi provenienti da altre università. Perché abbiamo eliminato quel corso? Perché oggi all'università siamo in grado di insegnare meglio, e questo perché gli studenti vi arrivano più preparati.

Che cos'è la scienza dovrete saperlo, visto che la insegnate. Lo dice il buon senso. Che posso dire? Se non lo sapete, troverete tutta la spiegazione nell'edizione per l'insegnante di qualsiasi libro di testo. Esiste una sorta di distillato annacquato e distorto delle parole che Francis Bacon ha pronunciato alcuni secoli fa, parole che allora vennero considerate come espressione del senso profondo della filosofia della scienza. Tuttavia William Harvey, uno dei maggiori scienziati sperimentali del tempo, una persona che stava davvero facendo scienza, disse che la definizione di Bacon descriveva la scienza come avrebbe potuta farla un lord cancelliere. Bacon parlava del fare osservazioni, ma ometteva il fattore vitale: valutare che cosa osservare e a che cosa prestare attenzione.

Qualunque cosa sia la scienza, quindi, di certo non è quello che hanno detto i filosofi, e di sicuro non è ciò che sta scritto nei testi a uso dei professori. Che cosa sia, me lo sono chiesto subito dopo aver accettato di tenere questa conversazione.

Dopo un pò mi è tornata in mente una piccola poesia:

Un millepiedi camminava tutto contento, quando un rospo in vena di intrattenimento, gli chiese
«Ti prego dimmi,
quale gamba viene dopo e quale prima? ».

La domanda spinse il dubbio ad una tale cima che il bruco, distratto, cadde nella fenditura, perché non sapeva più come riprendere l'andatura.

Per tutta la vita mi sono occupato di scienza, e sapevo di che si trattava, ma ora che sono venuto a dirvi quale gamba viene dopo e quale prima, mi accorgo che non sono in grado di farlo. E mi spaventa che, una volta tornato a casa, potrei ritrovarmi come nella poesia: incapace di riprendere a fare ricerca.

(Diversi giornalisti hanno tentato in tutti i modi di ottenere un estratto di questo discorso; non era possibile perché l'ho appena preparato, e ora mi sembra di vederli tutti indaffarati a scrivere un pezzo con un titolo di questo tenore: Il professore ha chiamato rospo il presidente dell'Associazione dei professori di scienze).

Date le circostanze, ovvero la difficoltà dell'argomento unita alla mia antipatia per i discorsi filosofici, presenterò la cosa in modo insolito. Mi limiterò a raccontarvi come io ho imparato che cosa è la scienza.

¹ Richard P. Feynman, *Il piacere di scoprire*, Adelphi, Milano, 2002 pp. 181-198

Sono cose un poco infantili. Le ho imparate da bambino; le ho avute nel sangue da sempre, e vorrei dirvi come vi sono entrate. Tutto ciò potrebbe dare l'impressione che io stia cercando di insegnarvi il mestiere, ma non è mia intenzione. Vi dirò che cosa è la scienza raccontandovi come ho imparato che cosa è la scienza.

Quando mia madre era incinta pare che mio padre abbia detto (ma non potrei confermare): «Se sarà un maschio, diventerà uno scienziato». Come è riuscito nell'impresa? A me non ha mai detto: «Fa' lo scienziato!». Lui non lo era di certo – commerciava in uniformi –, ma leggeva libri scientifici e amava la scienza.

Ero piccolissimo e mangiavo seduto sul seggiolone. Mio padre aveva acquistato, da qualche parte a Long Island, una partita di vecchie piastrelle da bagno, di forma rettangolare. Giocavamo: le mettevamo in piedi l'una vicina all'altra, e io avevo il permesso di spingere l'ultima e guardare tutta la costruzione che cadeva.

Poi, il gioco si complicò. Le piastrelle avevano colori diversi. Io dovevo disporre una bianca, due blu, una bianca, due blu... (Già riconoscerete la solita subdola astuzia: lo fate divertire per un pò, poi poco per volta passate al gioco educativo).

«Lascialo giocare in pace, povero bambino. Se gli piace quella blu, che la prenda pure» disse mamma, con aria protettiva.

«No, voglio che faccia attenzione alle regolarità» replicò mio padre. «E la sola cosa che a questa età gli possa insegnare e che abbia un significato matematico».

Se il tema della conferenza fosse stato «Che cos'è la matematica?», vi avrei già risposto. La matematica è la ricerca di regolarità nelle strutture (*pattern*).

(In effetti quel sistema educativo ha dato qualche risultato. Ne avemmo la verifica sperimentale quando andai all'asilo. In quel periodo ci facevano tessere, poi hanno smesso: era troppo difficile per i bambini. Di solito intrecciavamo carta colorata su un ordito di strisce verticali per creare disegni. La mia maestra scrisse ai miei una lettera per esprimere il proprio stupore: ero un bambino molto speciale perché sembravo in grado di visualizzare il motivo in anticipo, e facevo disegni incredibilmente complicati. Il gioco delle piastrelle mi aveva insegnato qualcosa).

Vorrei portare altri argomenti a sostegno del fatto che la matematica riguarda i pattern. Quando ero a Cornell ero incuriosito dall'insieme degli studenti, che mi sembravano un miscuglio diluito di qualche persona sensata in una grande massa di sciocchi, che studiavano cose come economia domestica – e qui ci metto parecchie ragazze. Mangiavo alla mensa con loro e cercavo di captare i loro discorsi per sentire se ne uscisse qualche parola intelligente. Potete immaginare la mia sorpresa quando scoprii una cosa che a me sembrò un'enormità.

Stavo ascoltando una conversazione tra due ragazze, e una stava spiegando all'altra: «Se vuoi fare una linea retta, per ogni fila che sali verso l'alto devi andare a destra di un certo numero fisso di punti; cioè, se ti sposti sempre della stessa quantità per ogni fila che sali, ottieni una linea retta». Un profondo principio di geometria analitica! Ero alquanto impressionato: non pensavo che la mente femminile fosse capace di capire la geometria analitica.

La ragazza continuò: «Supponiamo che tu abbia un'altra linea retta proveniente dall'altra direzione e vuoi sapere dove le due linee si incontrano. Supponi che una linea retta vada verso destra di due ogni volta che sale di una fila e che l'altra salga di tre verso sinistra per ogni fila, e che all'inizio esse siano a venti passi di distanza...» e così via. Ero folgorato! La ragazza aveva trovato come si determina l'intersezione di due rette! Alla fine scoprii che stava spiegando all'amica come lavorare a maglia le calze scozzesi.

Quindi le donne capiscono la geometria analitica. Quelli che da anni insistono nell'affermare (a dispetto di ogni evidenza) che la mente femminile è uguale a quella maschile e altrettanto capace di pensiero razionale potrebbero avere una parte di ragione. Probabilmente non abbiamo ancora scoperto il modo giusto per comunicare con una mente femminile. Chissà, un giorno potrebbero venir fuori cose interessanti.

Ma vorrei parlarvi ancora delle mie prime esperienze con la matematica.

Un'altra cosa che mi aveva detto mio padre – mi è un pò difficile spiegarlo perché fu più un coinvolgimento emotivo che una semplice informazione – è che il rapporto tra la lunghezza di una circonferenza e il diametro è sempre lo stesso, qualunque sia la circonferenza. Non mi era sembrato poi così strano, ma quel rapporto aveva qualcosa di magico. Era un numero favoloso: π . C'era un mistero intorno a π che io da giovane non capivo del tutto, ma era questo il bello, e di conseguenza lo cercavo ovunque.

A scuola studiavamo come convertire le frazioni in decimali; quando si trattò di trasformare $3 + 1/8$, scrissi 3,125 aggiungendo che questo numero era uguale a π , il rapporto tra la circonferenza e il suo diametro. L'insegnante lo corresse a 3,1416.

Sto dicendo queste cose per illustrare come lavora una suggestione. Per me era importante che il numero fosse ma-

gico, misterioso, non che numero fosse.

Molti anni dopo facevo esperimenti nel mio laboratorio di casa, e trafficavo con varie cose... bé in verità non facevo esperimenti, stavo semplicemente giocando. Costruivo radio e marchingegni vari. Insomma, giocavo. Da libri e manuali cominciai a scoprire formule che si riferivano all'elettricità, che collegavano la corrente con la resistenza e cose del genere. Un giorno scoprii che la formula della frequenza di un circuito oscillante era $2\pi\sqrt{LC}$, dove L e C erano l'induttanza e la capacità del circuito. E c'era π , ma dov'era la circonferenza? Voi ridete, ma io ero molto serio allora: π aveva a che fare con le circonferenze e qui spuntava da un circuito elettrico! A proposito, sapete da dove viene?

Dovevo cercare, capire bene. Alla fine ebbi la rivelazione: ma certo, le bobine hanno spire circolari! L'anno dopo, mi capitò per le mani un altro libro che dava l'induttanza di bobine quadrate e nelle formule c'era ancora π , e allora scoprii che π non derivava dalla forma circolare della bobina. Ora queste cose le capisco meglio, ma in cuor mio ancora non so bene dove sia quella circonferenza, da dove provenga quel π .

[...]

Qui vorrei aprire una parentesi per dire due parole su termini e definizioni. I vocaboli di per sé non sono un argomento scientifico, ma ciò non significa che non dobbiamo insegnare i termini corretti solo perché insegniamo scienza. L'argomento di questa conferenza è la scienza, non ciò che dobbiamo insegnare. Sapere come si passa da gradi centigradi a gradi Fahrenheit è necessario, ma non è scienza. Nello stesso senso, discutendo su che cosa sia l'arte, non diremmo che c'entri molto sapere che una matita 3-B è più morbida di una 2-H. C'è una netta differenza. Tuttavia questo non significa che un insegnante di arte non debba insegnarlo, o che un artista possa lavorare altrettanto bene senza saperlo. (Per rendersene conto basta tracciare due righe su un foglio; ma è un modo un pò troppo scientifico che forse ai professori di arte non verrebbe in mente).

Per comunicare con i nostri simili abbiamo bisogno delle parole, e questo va bene. È una buona idea cercare di vedere la differenza, ed è bene distinguere tra l'insegnamento degli strumenti della scienza, come una corretta terminologia, e l'insegnamento della scienza in se stessa.

Per rendere più chiaro il concetto prenderò a bersaglio della mia critica un testo scolastico che ben conoscete, anche se è un pò ingeneroso, perché non sarebbe difficile trovare aspetti negativi in altri libri.

Questo libro per la scuola elementare fin dalla prima lezione insegna la scienza in maniera infelice, poiché parte da una concezione sbagliata di scienza. C'è il disegno di un cane, un giocattolo a molla, una mano carica la molla e il cane comincia a muoversi. Sotto l'ultimo disegno si legge la domanda: «Che cosa lo fa muovere?». Segue il disegno di un cane vero e la domanda: «Che cosa lo fa muovere?». Dopo si vede il disegno di un ciclomotore con la didascalia: «Che cosa lo fa muovere?». E così via.

Subito pensai che gli autori si preparassero a dire di che cosa si occupa la scienza: fisica, biologia, chimica. Ma non era così. La risposta si trovava nell'edizione per l'insegnante. La cosa che avrei dovuto imparare era: «Lo fa muovere l'energia».

L'energia è un concetto sottile. Non è facile capire l'energia abbastanza bene da usarla nel modo giusto, così da giungere a conclusioni corrette. È una cosa che supera la portata della scuola elementare. Sarebbe stato lo stesso se avessero detto: «Lo fa muovere Dio» o «Lo fa muovere lo spirito» o anche «Lo fa muovere la mobilità». (In realtà è altrettanto corretto dire: «Lo fa fermare l'energia»).

Guardiamo la cosa da un altro punto di vista: quelle frasi potrebbero fornire la definizione di energia, se fossero rovesciate. Possiamo dire che una cosa in movimento ha energia, ma non che «ciò che la fa muovere è l'energia». Lo stesso si può dire in relazione all'inerzia. Forse posso chiarire un poco questa idea.

Immaginate di fare la domanda a un bambino (o a qualunque persona): «Cosa fa muovere il cane giocattolo?». Direbbe che si carica la molla, la molla cerca di scaricarsi e fa girare il meccanismo. Questo è davvero un ottimo inizio per un corso di scienze. Smontate il giocattolo, e guardate il funzionamento. Osservate l'intelligenza degli ingranaggi – il cricco della molla. Imparate com'è fatto il giocattolo, il modo in cui è costruito, l'ingegnosità di chi ha progettato le ruote dentate e gli altri ingranaggi. Questo è il modo giusto. La domanda che gli autori ponevano va bene. La risposta è un poco infelice perché quello che stavano cercando di fare era insegnare la definizione di energia. E in definitiva non si impara nulla.

Supponiamo che un ragazzo dica: «Non ci credo che sia l'energia a farlo muovere». Che cosa gli risponderete?

Alla fine ho scoperto un sistema per verificare se ciò che si è insegnato è una vera idea o una semplice definizione. Si fa così, dite: «Senza usare i termini nuovi che hai appena ascoltato, spiegami con parole tue quello che hai capito», oppure «Senza usare la parola "energia" dimmi quello che sai ora del

movimento del cane». Non può dire nulla. Quindi non avrà imparato nulla, tranne la definizione. Nulla che sia vera scienza.

Il che può anche andare bene. Forse non si voleva insegnare subito, all'inizio, qualcosa sulla scienza. Si dovevano studiare le definizioni. Ma, trattandosi della prima lezione, sembra una mossa un pò pericolosa.

Penso che imparare nella lezione numero uno una formula mistica come risposta alle domande sia proprio la cosa peggiore. Il libro ne contiene altre: «La gravità lo fa cadere»; «L'attrito logora le suole delle scarpe». Il cuoio delle scarpe si consuma perché struscia sul marciapiede: le piccole gobbe e le asperità della pietra smangiano e strappano pezzetti di suola. Dire semplicemente che tutto questo dipende dall'attrito è triste, perché non è scienza.

Mio padre si occupò un poco dell'energia e cominciò a utilizzare il termine solo dopo che me n'ero fatta un'idea. So che cosa avrebbe detto, perché in sostanza fece la stessa mossa del libro, anche se non usò l'esempio del cane giocattolo. Avrebbe detto: «Si muove perché il sole splende». E io avrei risposto: «No. Che c'entra il sole? Si muove perché ho caricato la molla».

«E perché, amico, riesci a muovere la mano per caricare la molla?».

«Perché mangio».

«E che cosa mangi, amico?».

«Mangio le piante».

«E loro, come crescono?».

«Crescono perché il sole splende».

Ed è la stessa cosa con il cane. E il petrolio? Energia solare accumulata che è stata catturata dalle piante e conservata nella terra. Vi sono altri esempi e tutti finiscono con il sole. E così quell'idea a proposito del mondo alla quale, in fondo, mirava il nostro libro di testo viene formulata in maniera davvero stimolante. Tutte le cose che vediamo muoversi, lo fanno perché il sole splende. Questo spiega le relazioni tra una sorgente di energia e un'altra, e il bambino può negarle. Può dire: «Non penso che dipenda dal fatto che il sole splende» e la discussione può cominciare. E qui sta la differenza. (Più avanti lo potrei sfidare con le maree, chiedergli che cosa fa girare la terra, e affrontare di nuovo il mistero).

Questo è solo un esempio della differenza tra le definizioni (che pure sono necessarie) e la scienza. La sola obiezione, in questo caso particolare, riguardava il fatto che la definizione veniva data nella prima lezione. Deve di certo essere data, ma più avanti, dicendo che cosa è l'energia, ma non come risposta a questa semplice domanda: «Che cosa fa muovere il cane?». A un bambino si dovrebbe dare una risposta da bambino. «A-priamolo. Vediamo che cosa c'è dentro».

Ho imparato molte cose, durante le passeggiate nei boschi con mio padre.

Gli uccelli per esempio. Invece di dirmi i loro nomi, mio padre diceva: «Guarda, quell'uccello si becchetta continuamente le piume. Secondo te perché lo fa?».

«Forse erano tutte arruffate e lui cerca di rimetterle in ordine».

«Ma allora quando si arruffano, o com'è che si arruffano?».

«Quando vola. Se cammina non succede niente, ma quando vola si scompigliano».

«Allora subito dopo essere atterrato dovrebbe lisciarsele di più. Dopo un pò che è a terra dovrebbe farlo molto meno. Diamo un'occhiata!».

Scoprimmo però che non c'era molta differenza e che gli uccelli che erano appena atterrati si becchettavano le piume più o meno come quelli che avevano camminato al suolo. Così la mia supposizione era sbagliata.

«Papà, non so perché si liscia le piume!».

«E perché gli uccelli hanno i pidocchi» spiegava. «Dalle piume si staccano squame commestibili e i pidocchi se le mangiano».

I pidocchi, continuava mio padre, secernevano sulle zampe una cera di cui si nutrivano certi acari. Sennonché gli acari, ingordi, non riuscivano a digerirla perfettamente e dall'estremità del corpo emettevano un liquido zuccherino; in quello zucchero vivevano minuscoli organismi, che a loro volta ecc.

I particolari non erano tutti corretti, ma il concetto era quello. Un organismo vive su un altro, che vive su un altro, e così via. Avevo imparato qualcosa sul parassitismo.

Ovunque esista una fonte di cibo che potrebbe consentire la continuazione della vita, mi spiegava mio padre, vi è una forma di vita che trova il modo di utilizzarla; e ogni minimo scarto viene mangiato da un'altra.

Il risultato di simili osservazioni, anche se non riuscivo ad arrivare alla conclusione corretta, era comunque splendido: una pepita preziosa, una cosa meravigliosa.

Supponiamo invece che mi fosse stato detto di osservare, di redigere una lista, di scrivere, di fare questo e quello, di guardare, e una volta compilata la mia brava relazione, che questa finisse insieme ad al-

tre centotrenta in fondo al cassetto. Avrei pensato che era una cosa tediosa, che non ne valeva la pena.

Penso sia molto importante – nel mio caso lo era – far capire che dalle osservazioni può emergere qualcosa di splendido. Fu così che imparai che cosa voleva dire scienza. Era pazienza. Se osservavi e prestavi attenzione ottenevi una grande ricompensa (anche se non tutte le volte, forse). Una volta diventato adulto, avrei lavorato assiduamente sui problemi, ora dopo ora, per anni – a volte per molti anni, a volte per tempi più brevi –, spesso senza risultato, gettando molti fogli nel cestino; ma di tanto in tanto sarebbe apparso quell'oro che avevo imparato ad aspettarmi quando ero ragazzo: capire qualcosa di nuovo come risultato della osservazione. Perché avevo imparato che l'osservazione serviva.

Girando nel bosco, imparavo anche altre cose.

Ci guardavamo intorno e parlavamo dei più diversi argomenti: delle piante che crescevano, della loro lotta per la luce, di come si sforzino di crescere il più alto possibile, di come cerchino di risolvere il problema di far arrivare l'acqua fino ad altezze di dieci o quindici metri, delle piccole piante del sottobosco che cercano i pochi raggi di sole che filtrano, di tutto quel crescere e così via.

Un giorno mio padre mi portò di nuovo nel bosco e disse: «In tutto questo tempo, abbiamo visto solo la metà di quel che avviene nella foresta, esattamente la metà».

« Che vuoi dire? ».

«Abbiamo visto come crescono tutte queste cose, ma per ogni pò di crescita qualcosa va in decomposizione, in caso contrario i materiali verrebbero consumati definitivamente. Gli alberi morti giacerebbero lì in eterno, dopo avere consumato tutte le risorse dell'aria e del suolo, e nulla tornerebbe nell'aria e nella terra; non crescerebbe più niente perché non ci sarebbe materiale a disposizione».

Seguirono camminate nel bosco durante le quali rompevamo vecchi rami, e vedevamo spuntar fuori strani insetti e funghi. Mio padre non poteva mostrarmi i batteri, ma ne vedevamo gli effetti di ammorbidente, insieme a tante altre cose. Io vedevo la foresta come un processo continuo di riciclaggio di materiali.

Vi furono tante esperienze di questo tipo, descrizioni di cose fatte in modi curiosi. «Supponi che arrivi un marziano e guardi il mondo» cominciava mio padre. È un modo eccellente di osservare il mondo. Una volta, mentre giocavo con un trenino elettrico, mi parlò di una grande ruota azionata dall'acqua, collegata a fili di rame che correvano in tutte le direzioni e finivano lontano, e di tante piccole ruote che quando la grande girava ruotavano a loro volta. Avevano in comune ferro e rame, nient'altro, non c'erano parti in movimento che le collegassero. Tu giri una ruota laggiù e tutte le piccole ruote girano in quell'altro posto, e il tuo treno è una di queste piccole ruote. Era veramente bello questo mondo, raccontato da mio padre.

[...]

Che cos'è la scienza? A me piacerebbe dire così: c'è stata su questo pianeta una evoluzione della vita fino allo stadio di animali intelligenti. Non solo gli uomini, ma anche gli animali che giocano e giocando possono imparare, come i gatti. Tuttavia a questo stadio ogni animale potrebbe imparare solo dalla propria esperienza. Un pò alla volta gli animali si evolvono, finché qualche animale riesce a imparare più rapidamente e riesce pure a imparare dall'esperienza di altri guardando, oppure un animale diventa capace di mostrare agli altri quello che ha scoperto. A questo punto tutti hanno la possibilità di imparare la novità, ma la trasmissione è ancora inefficiente, e i singoli individui muoiono prima – o magari muore prima colui che aveva imparato per primo.

La domanda è questa: è possibile apprendere abbastanza rapidamente ciò che qualcuno ha imparato per caso; prima, cioè, che la cosa sia dimenticata, vuoi per i difetti della memoria, vuoi per la morte di chi aveva imparato o inventato quella cosa?

A un certo punto, verosimilmente, in qualche specie la velocità di apprendimento era tale che si verificò un fatto nuovo: ciò che veniva appreso da un animale poteva essere trasmesso a un altro, e a un altro ancora, in maniera sufficientemente rapida da non andare perduto. Diveniva possibile l'accumulazione della conoscenza della specie.

Questo processo è stato chiamato legame tra generazioni. Non so chi per primo l'abbia chiamato così. In ogni caso alcuni di questi animali sono seduti qui davanti. Tutti cercano di collegare le diverse esperienze, cercano di apprendere l'uno dall'altro.

Questo fenomeno, il possedere una memoria della specie, avere un bagaglio culturale che si può tramandare da una generazione all'altra, era una grande novità, ma soffriva di una malattia. Era possibile trasmettere idee sbagliate. La specie ha accumulato idee, ma queste non sono necessariamente vantaggiose.

Così giunse un momento in cui le idee, benché si accumulassero molto lentamente, divennero un ammasso in cui non tutto era utile o pratico, cumuli di pregiudizi di ogni tipo, di credenze strane e bizzarre.

E poi si scoprì un sistema per evitare la malattia. Il sistema consiste nel dubitare che ciò che viene tra-

mandato sia vero; nel cercare di scoprire *ab initio*, di nuovo partendo dall'esperienza, quali siano i fatti piuttosto che prendere per oro colato l'esperienza di chi ci ha preceduto. Ecco che cosa è la scienza: il risultato della scoperta che vale la pena verificare di nuovo tramite nuovi esperimenti diretti, senza necessariamente fare affidamento alle conoscenze della specie. Io la vedo così. Questa è la migliore definizione di «scienza» che io sappia dare.

Vorrei ricordare cose che tutti conosciamo molto bene per suscitare un pò di entusiasmo. In campo religioso si insegna la morale, ma non ci si limita ad impartirla una volta sola, viene istillata ogni momento. Credo sia necessario fare lo stesso con la scienza, ricordarne il valore ai bambini, agli adulti, a chiunque, e in diversi modi; non solo perché così diventeremo cittadini migliori, più abili nel controllo della natura e via dicendo. Vi sono altre cose.

Vi è il valore della nuova visione del mondo che da essa si origina. Vi è la bellezza e la meraviglia del mondo scoperto attraverso i risultati di queste nuove esperienze. Per esempio le meraviglie di cui ho appena parlato: il fatto che le cose si muovono perché il sole splende, una idea profonda, davvero strana e stupenda. (Certo, non tutto si muove per questo motivo. La rotazione della terra è indipendente dallo splendore del sole, e le reazioni nucleari hanno di recente prodotto energia nuova sulla terra, una nuova fonte d'energia. E anche probabile che i vulcani siano mossi da fonti diverse dallo splendore del sole).

Il mondo appare così diverso a chi ha studiato la scienza. Per esempio: gli alberi sono costituiti soprattutto di aria. Quando vengono bruciati, ritornano all'aria, e nel calore delle fiamme viene rilasciato il calore del sole che aveva tramutato l'aria in alberi. La cenere costituisce la piccola parte che non proveniva dall'aria, quella che, invece, derivava dalla terra e ne aveva la consistenza.

Sono cose bellissime e la scienza ne è piena. Sono davvero illuminanti e possono venire utilizzate per ispirare altri.

Un'altra caratteristica della scienza è che insegna il valore del pensiero razionale e l'importanza della libertà di pensiero, come pure la necessità di dubitare, di non dare per scontata alcuna verità.

Soprattutto nell'insegnamento bisogna distinguere la scienza dalle forme o procedure che a volte si usano nel suo sviluppo. E semplice dire: «Scriviamo, sperimentiamo, osserviamo...». Si può seguire fedelmente il modello, e chiamarlo scienza, ma sarà una pseudoscienza; le grandi religioni si snaturano quando si riducono a pratiche esteriori e dimenticano il contenuto originale delle parole dei maestri. Noi tutti oggi dobbiamo subire una forma di dispotismo da parte di istituzioni dove dettano legge presunti esperti scientifici.

Vi è un mare di ricerche sulla didattica, in cui tutti fanno osservazioni, compilano elenchi, elaborano statistiche, ma tutto questo non diventa scienza vera, conoscenza fondata. Si tratta solo di un'imitazione, come quella degli isolani del Pacifico che costruiscono piste di atterraggio e torri di controllo di legno in previsione dell'arrivo di un grande aeroplano. Costruiscono persino imitazioni in legno degli aerei degli stranieri, che però, stranamente, non volano. Il risultato di questa imitazione pseudoscientifica è la produzione di esperti – e molti di voi lo sono. Voi maestri che, alla base della piramide, insegnate davvero ai bambini, fareste bene a dubitare talvolta degli esperti. La scienza vi dice che dovete farlo. In effetti un'altra definizione di scienza potrebbe essere: la scienza è la fede nell'ignoranza degli esperti.

Chi dice che la scienza insegna questo e quello usa la parola «scienza» in modo scorretto. A insegnare è l'esperienza. Se vi dicono che la scienza ha mostrato una certa cosa, potreste chiedere: «E come lo ha dimostrato, in che modo lo scienziato lo ha scoperto – come, dove e quando?». Non è stata la scienza, ma questo esperimento, questo fenomeno. E voi avete esattamente lo stesso diritto di chiunque altro, quando sentite parlare degli esperimenti (ma dobbiamo porre attenzione a tutte le prove) di decidere se si è giunti ad un risultato che può essere registrato e usato di nuovo.

In un ambito così complicato che la vera scienza non è ancora in grado di dare soluzioni, possiamo solo appellarci a una sorta di antica saggezza, un tipo di sostenuta rettitudine. Sto cercando di infondere in chi è alla base della piramide un pò di speranza, un pò di fiducia nel proprio buon senso e nella propria intelligenza. Gli esperti che vi guidano possono sbagliare.

Probabilmente con questi incitamenti ho mandato in rovina il sistema e i prossimi studenti che arriveranno a Caltech non saranno dei fuoriclasse. Viviamo in un'epoca in cui quasi tutte le parole sventolate nei mezzi di comunicazione, nella televisione, nei libri e così via non sono di marca scientifica. Non significa che siano tutte sbagliate, ma non sono scientifiche. Il risultato è l'esercizio, in nome della scienza, di una tirannia intellettuale di notevole entità.

Per finire: non possiamo vivere oltre la morte. Ogni generazione ha il dovere di tramandare il frutto della propria esperienza, ma lo deve fare nei limiti di un delicato bilancio di rispetto e irriverenza, così che la nostra specie (ora che è cosciente della malattia cui va soggetta) non imponga con troppo rigore i propri errori ai giovani, ma tramandi la saggezza accumulata assieme alla consapevolezza che essa potrebbe non essere

saggezza.

È necessario insegnare ad accettare e insieme a rifiutare il passato, esercitando un gioco di equilibrio che richiede molta abilità. Di tutte le discipline la scienza è l'unica che racchiude in sé stessa il monito sul pericolo costituito dalla fede nell'infallibilità dei più grandi maestri della generazione precedente.

Quindi, continuate così. Grazie.