



UNIVERSITÀ DI PARMA

**Conferimento del titolo di Professore ad
honorem in Fisica della materia**

a Roberto Caciuffo

Lectio Magistralis

**"Alla frontiera della Tavola Periodica,
fra neutroni, radiazione di sincrotrone
e centri di ricerca internazionali"**

Roberto Caciuffo

Aula Magna della Sede centrale
Parma

12 giugno 2025

Una sera d'autunno, una ventina d'anni fa, stavo cenando in un ristorante di Braga, una città portoghese vicina al confine con la Galizia, dove si stava costruendo un laboratorio di nanotecnologie finanziato dalla Spagna e dal Portogallo. Facevo parte di un comitato consultivo incaricato di svilupparne i futuri piani di ricerca e di individuare la strumentazione più adatta per la loro attuazione. Avevamo trascorso la giornata riflettendo su un certo problema, senza giungere a conclusioni utili, e ne discutevo con il nostro coordinatore, Heinrich Rohrer, un fisico svizzero che, nel 1986, aveva ricevuto il premio Nobel per l'invenzione del microscopio a effetto tunnel.

Rohrer mi chiese se sapessi quanta energia consuma un cervello umano in un giorno. "Più o meno mezzo chilowattora," disse. "Quindi, al prezzo di oggi, saranno dieci centesimi. Cosa vuoi pretendere per pochi centesimi?" L'indomani risolvemmo il problema consultando un esperto.

La ricerca scientifica è un lavoro basato sulla collaborazione: collaborazione tra sperimentali e teorici, tra ricercatori specializzati in una stessa disciplina o in discipline diverse, costruttori di strumenti, ingegneri, informatici, tecnici. L'idea che il lavoro di squadra fosse fondamentale nella ricerca scientifica mi era stata inculcata molti anni prima, attraverso una metafora di Heinz Maier-Leibnitz, un fisico tedesco molto influente, fondatore con Louis Néel dell'Institut Laue-Langevin di Grenoble: "Se coltivi patate, puoi mangiarle. Ma se le dai a chi alleva maiali, poi puoi mangiare prosciutto con lui".

Sono state le collaborazioni a facilitare il mio lavoro e a determinare qualsiasi successo io abbia potuto ottenere nel corso della mia carriera. E, fra tutte, quella con l'Università di Parma è stata la più fruttuosa e significativa.

Magnifico Rettore, componenti del Senato Accademico dell'Università degli Studi di Parma, chiarissimi colleghi e colleghe, è per questo motivo che vi sono particolarmente grato per il prestigioso riconoscimento che oggi mi conferite. Lo accetto con grande soddisfazione, anche se non senza un velo di malinconia per l'assenza di una persona importante: il professor Giuseppe Amoretti, già direttore del Dipartimento di Fisica di questa Università. Per quarant'anni abbiamo lavorato insieme, condividendo l'entusiasmo per i nuovi progetti, la frustrazione per i risultati che tardavano ad arrivare, la soddisfazione per i successi e i riconoscimenti del nostro lavoro. E l'orgoglio per i giovani allievi che, lavorando con noi, crescevano e ci superavano.

Avevo preparato una lectio piuttosto tecnica. Poi, però, mi è tornato in mente il monito di Niels Bohr, secondo cui chiarezza e precisione in una presentazione scientifica sono grandezze coniugate: più aumenti l'una, più rischi di sacrificare l'altra. E poi ho pensato che per molti di voi sarebbero state sufficienti, da parte mia, delle brevi scuse per avervi coinvolto in questa cerimonia, piuttosto che una lezione di fisica. Perciò, ho deciso di raccontarvi semplicemente alcuni momenti che hanno segnato il mio percorso e fare qualche riflessione sul ruolo — oggi più che mai cruciale — della ricerca scientifica.

Mi sono laureato in Ingegneria nucleare nell'estate del 1980, a Torino. Ma la mia ambizione era di fare il fisico. La possibilità di esercitare quella che, per me, era la professione più bella del mondo mi fu offerta dal mio professore di Fisica atomica, Renato Malvano, e dalla direttrice dell'Istituto di Fisica del Politecnico, la professoressa Francesca Demichelis. Un mese dopo la laurea, entravo all'Institut Laue-Langevin di Grenoble (ILL), il centro di ricerca più avanzato al mondo per lo studio della materia condensata mediante neutroni.

I neutroni sono particelle prive di carica elettrica, confinate nei nuclei degli atomi. Sono particelle composte e la loro struttura interna si manifesta nella presenza di uno spin, una grandezza squisitamente quantistica associata a un momento magnetico, che li rende simili a minuscoli aghi di bussola. Fuori dai nuclei – dai quali possono fuggire in seguito a certe reazioni nucleari – i neutroni sono particelle instabili, con una vita media di circa un quarto d'ora. Un tempo lunghissimo rispetto alla durata degli eventi atomici, durante il quale essi possono essere manipolati, raggruppati in fasci collimati, indirizzati lungo traiettorie predeterminate, e selezionati in base alla loro velocità e all'orientamento dell'ago di bussola che trasportano.

Grazie alle loro proprietà, i neutroni liberi sono sonde quantistiche ideali per interrogare a livello nanoscopico la materia condensata, ovvero quegli aggregati di miliardi di miliardi di miliardi di atomi che costituiscono il nostro mondo. A causa del grandissimo numero di particelle da cui è costituita, la materia condensata mostra proprietà emergenti che non possono essere previste dalle leggi elementari della fisica. L'osservazione sperimentale è essenziale per comprenderne la natura. I neutroni permettono di “vedere” la materia in modo diverso rispetto ad altre tecniche di indagine, rivelandone aspetti che queste non possono svelare. Sono in grado di attraversare materiali spessi decine di centimetri, disturbando appena gli atomi che li costituiscono. Questo accade perché i neutroni interagiscono con i nuclei atomici attraverso una forza molto intensa ma a cortissimo raggio, che si annulla cioè a una distanza neutrone-nucleo centomila volte inferiore a quella tra atomi adiacenti. È come se, viaggiando dentro la materia, i neutroni esplorassero uno spazio praticamente vuoto, ma costellato da ostacoli quasi puntiformi, contro i quali, occasionalmente, vanno a collidere. Questi urti – poco probabili – cambiano l'energia e la direzione di moto dei neutroni. Sono questi cambiamenti a rivelare la disposizione spaziale degli atomi e i loro movimenti.

Lo spin rende i neutroni sensibili anche alla distribuzione del campo magnetico all'interno dei materiali, che a sua volta è generato dagli elettroni. Questi, circondando i nuclei, forniscono la “colla” che impedisce alla materia di disgregarsi e ne determinano il comportamento macroscopico.

I neutroni sono dunque sonde estremamente delicate, che consentono di osservare – senza alterarle in modo significativo – le correlazioni atomiche responsabili delle proprietà della materia. Per questo motivo, gli studi condotti con i neutroni si sono rivelati fondamentali in una miriade di campi: dalla fisica di base alla conservazione dei beni artistici e archeologici, dalla medicina alla tecnologia digitale e quantistica, dall'ingegneria alla farmacologia, dall'industria aerospaziale fino all'agricoltura e allo sviluppo di nuove fonti di energia.

Alcune di queste applicazioni della diffusione neutronica sarebbero diventate centrali per la mia futura attività di ricerca. Tuttavia, nei miei primi anni all'ILL non ero particolarmente interessato a questi argomenti. Piuttosto, ero affascinato dagli esperimenti che Helmut Rauch e i suoi collaboratori dell'Università Tecnica di Vienna stavano eseguendo con uno strumento particolare: un interferometro a neutrone singolo. Questo interferometro permetteva di realizzare sovrapposizioni coerenti di onde di materia e, insieme ad Anton Zeilinger — della cui tesi di dottorato era stato il supervisore — Rauch aveva condotto esperimenti che confermavano alcune previsioni fondamentali della meccanica quantistica. Per esempio, che lo spin di un neutrone debba compiere due giri completi per tornare alla configurazione di partenza. Nessuno dubitava che fosse così, ma l'osservazione sperimentale diretta di un fatto descritto in ogni manuale di meccanica quantistica disponibile nel 1980 risultava comunque avvincente.

Così, realizzai il mio primo esperimento usando l'interferometro di Rauch e Zeilinger, per rivelare una correzione relativistica al potenziale di interazione fra un neutrone e un nucleo con molti protoni — un nucleo di uranio-238, che di protoni ne ha 92. Due anni dopo, pubblicavo il mio primo articolo su *Physical Review Letters*, nello stesso volume in cui Alain Aspect presentava, in due articoli fondamentali, i risultati dei suoi esperimenti su uno degli aspetti più controversi della meccanica quantistica: quello che i francesi chiamano groviglio, *intrication* o *enchevêtrement*, e che tutti gli altri chiamano *entanglement*.

Quarant'anni dopo, nel 2022, Aspect e Zeilinger avrebbero ricevuto il premio Nobel per la Fisica, e sarebbero apparse all'orizzonte tecnologie rivoluzionarie basate sull'entanglement quantistico. Ma nel 1982 l'interesse per i fondamenti della meccanica quantistica era minimo. Nessun dipartimento di Fisica era alla disperata ricerca di giovani smaniosi di spendere 'la miglior parte di sé e il loro tempo primo' su sudate carte dedicate ai principi di realismo e località. D'altra parte, l'epoca tragica del *publish or perish* bussava prepotentemente alle porte, e le mie ambizioni accademiche reclamavano pubblicazioni, possibilmente di qualità, ma anche numerose.

Quindi, sotto la guida di Franco Rustichelli — che in quegli anni teneva viva in Italia, con la dedizione di una vestale, la sacra fiamma della neutronica — iniziai a utilizzare i neutroni per la caratterizzazione microstrutturale di acciai e leghe metalliche e, in collaborazione con il gruppo di Jean-Marc Fournier e Alain Blaise, del dipartimento di ricerca fondamentale del Centro di Studi Nucleari di Grenoble (CENG), a studiare le proprietà magnetiche degli attinidi, una serie di quattordici elementi radioattivi con numero atomico crescente da 90 a 103, che nel Sistema Periodico seguono l'attinio. Tra essi, solo torio e uranio si trovano in abbondanza nella crosta terrestre, mentre attinio e protoattinio sono presenti in quantità molto limitate. Gli altri elementi della serie, dal nettunio al laurenzio, sono tutti artificiali,

anche se tracce di nettunio e plutonio si possono trovare nei minerali di uranio. La loro scoperta è strettamente legata ai progressi della Fisica nucleare a partire dagli anni '40.

Fu proprio in quel gruppo del CENG che, nel 1981, incontrai per la prima volta Giuseppe Amoretti, un teorico dell'Università di Parma in congedo per motivi di studio. Avevamo qualità complementari e insieme avremmo lavorato benissimo. Quell'anno nacque un rapporto scientifico che sarebbe durato per tutta la vita, cementato da un'amicizia sincera.

Negli anni '80 del secolo scorso, Grenoble era un luogo ideale per un giovane ricercatore, ambizioso ed entusiasta. La vivacità dell'ambiente era alimentata da un flusso continuo di visitatori provenienti da tutto il mondo, tra cui molti dei protagonisti della Fisica di quegli anni. Fra questi c'era Gerry Lander, uno dei maggiori esperti al mondo sugli attinidi, direttore della sorgente di neutroni liberi di Argonne, nell'Illinois. Anche con lui iniziai una collaborazione intensa, che sarebbe cresciuta nel tempo e che continua ancora oggi.

Nel frattempo, avevo conseguito il diploma di perfezionamento in Fisica dello stato solido presso la Scuola guidata a Parma dal Prof. Roberto Fieschi, avevo vinto il concorso da professore associato in Fisica generale, bandito nell'aprile del 1984, e nel 1988 ero rientrato in Italia, ad Ancona, dove Rustichelli e Savino Melone avevano costituito un piccolo gruppo di giovani interessati ai neutroni.

Erano anni di grande fermento. Nel 1985, il Governo italiano e il Governo britannico avevano firmato un accordo di collaborazione per lo sviluppo e l'utilizzo di ISIS, una sorgente di neutroni innovativa, alimentata non da un reattore nucleare, ma da un acceleratore di protoni. ISIS, allora in fase di collaudo, è ancora oggi la sorgente pulsata di neutroni più intensa al mondo; fa parte del Rutherford Appleton Laboratory, un grande campus nei pressi di Oxford che oggi ospita anche la sorgente

di luce di sincrotrone Diamond. Iniziai a dedicarmi intensamente a quel progetto e, nel 1989, ottenuto un anno di congedo per motivi di ricerca dall'università, io e la mia giovane famiglia ci trasferimmo a Oxford. ISIS era diventato il laboratorio in cui conducevo la maggior parte dei miei esperimenti e, per diversi anni, trascorremmo le estati in Inghilterra.

Intanto, a Grenoble prendeva forma un nuovo progetto visionario: la European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), la prima sorgente al mondo di luce di sincrotrone di terza generazione. Nel 1988, i ministri della ricerca di undici Paesi europei firmarono a Parigi la convenzione e lo statuto di questa nuova infrastruttura, che avrebbe accolto i primi utilizzatori nel 1992 e che, per oltre tre decenni, fino a oggi, avrebbe dominato il panorama mondiale. Un primato che, però, sarà presto conteso dalla High Energy Photon Source, in costruzione nei pressi di Pechino, la cui entrata in funzione è prevista per la fine del 2025.

La “luce di sincrotrone” è radiazione elettromagnetica emessa da elettroni accelerati a velocità ultra-relativistiche. Lo spettro — cioè la distribuzione di intensità in funzione della frequenza — dipende dalle dimensioni della sorgente e si estende dalla luce visibile ai raggi X di alta energia. Macchine come l'ESRF sono ottimizzate per generare luce di sincrotrone nella regione dei raggi X. Questa radiazione possiede caratteristiche di brillantezza, collimazione e coerenza tali da costituire, come i neutroni, un potentissimo strumento di indagine nello studio della materia condensata. Le due sonde sono complementari, ma se si è interessati allo studio degli elementi attinidi e dei loro composti, la luce di sincrotrone offre un vantaggio pratico significativo rispetto ai neutroni: mentre questi richiedono campioni con una massa dell'ordine del grammo, per esperimenti con la luce di sincrotrone sono sufficienti campioni con una massa dell'ordine del microgrammo, un milione di volte più piccoli. E questa è una circostanza estremamente gradita se si devono manipolare campioni contenenti plutonio, curio o californio — elementi

affascinanti, ma difficili da studiare sia per la loro non piccola radiotossicità sia per la scarsità con cui si possono ottenere. Così, mentre il mio coinvolgimento nello studio degli attinidi cresceva, il mio interesse si spostava gradualmente dagli esperimenti con i neutroni a quelli con la luce di sincrotrone.

Nel 1987, Lander assunse la direzione del Servizio di ricerca di base sugli attinidi dell'Istituto Europeo dei Transuranici, con sede a Karlsruhe, in Germania, uno degli stabilimenti del Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea. Anni dopo, raggiunta l'età canonica della pensione, Gerry tornò a Grenoble, e a me si presentò la possibilità di prenderne il posto. All'epoca ero professore ordinario di Fisica sperimentale, ma l'opportunità era di quelle difficili da rifiutare. Così, nel 2005 lasciai l'università, diedi le dimissioni e mi trasferii in Germania.

Al JRC di Karlsruhe si studiavano principalmente le proprietà magnetiche e la superconduttività non convenzionale dei composti degli attinidi, oltre ad alcune applicazioni delle loro proprietà nucleari. Ad esempio, in campo oncologico, era in corso uno studio sulle potenzialità di una radioterapia a bersaglio molecolare dei tumori metastatici basata sull'uso di particelle alfa emesse dall'isotopo ^{225}Ac dell'attinio. Negli anni successivi, questa tecnica si sarebbe rivelata particolarmente efficace nel trattamento del tumore della prostata in fase avanzata, attirando l'interesse della grande industria farmaceutica. Che la sperimentazione abbia successo è molto probabile. Resta, però, da risolvere il problema dell'approvvigionamento in quantità sufficienti di attinio-225. A Karlsruhe lo si ottiene dal decadimento spontaneo dell'isotopo ^{229}Th del torio, la cui disponibilità è però, attualmente, molto limitata. Per questo, si stanno esplorando strade alternative in collaborazione con altre istituzioni europee e con il CERN di Ginevra.

Il torio-229 (^{229}Th) è un isotopo estremamente interessante anche in vista di una possibile applicazione in metrologia: la realizzazione di un orologio ottico ultra-preciso allo stato solido, basato non su transizioni tra livelli elettronici, ma tra stati energetici nucleari. Il ^{229}Th è infatti l'unico fra oltre tremila isotopi conosciuti a presentare una transizione tra livelli nucleari con un'energia — circa 8,4 elettronvolt — eccitabile con le attuali tecnologie laser. Un orologio ottico nucleare non richiederebbe sofisticate tecniche di intrappolamento e raffreddamento a temperature prossime allo zero assoluto, unendo semplicità costruttiva a una maggiore stabilità e precisione rispetto agli attuali orologi a fontana atomica. Perché l'idea funzioni, tuttavia, è necessario che gli ioni di ^{229}Th siano incorporati in una matrice cristallina isolante, con un gap energetico — l'intervallo proibito di energia che in un isolante separa gli stati elettronici occupati da quelli vuoti — più ampio dell'energia di diseccitazione nucleare. Un composto ideale, come abbiamo dimostrato al JRC, è rappresentato da film sottili monocristallini di tetrafluoruro di torio (ThF_4). Le applicazioni di un orologio ottico nucleare allo stato solido, capace di perdere un solo secondo in venti miliardi di anni, sarebbero dirompenti non soltanto per la ricerca fondamentale — dalla caccia alla materia oscura allo studio delle sorgenti di onde gravitazionali — ma anche in ambiti pratici come la geodesia, le prospezioni geologiche o la navigazione GPS.

Le applicazioni più note di alcuni elementi attinidi sono però quelle legate alla fissione nucleare indotta dai neutroni. Il 2 dicembre 1942, a Chicago, Enrico Fermi e i suoi collaboratori domavano per la prima volta un nuovo “fuoco”: un fuoco nucleare, capace di liberare dalla materia quantità immense di energia. La possibilità di estrarre 10 trilioni di joule da un solo grammo di materia apriva la strada a un'era di prosperità e benessere. O, al contrario, di miseria e disperazione. La storia dell'umanità cambiò per sempre all'alba del 16 luglio 1945, ad Alamogordo.

La scienza è la madre della tecnologia e le applicazioni tecnologiche non sono mai prive di conseguenze.

Nella sua generosa laudatio, il professor Santini ha accennato alla nostra scoperta di un ordine multipolare magnetico nell'ossido di nettunio. Ora, nessuno dubita che l'ordine dei triakontadipoli magnetici in un composto del nettunio sia assolutamente inutile. Ma la ricerca fondamentale ci insegna che, spesso, è proprio dallo studio di effetti bizzarri, inattesi, trascurati, che nascono nuove teorie, nuove tecnologie, nuovi mercati.

È verosimile che, in futuro, scoperte oggi imprevedibili diano origine a invenzioni inattese, capaci di offrire soluzioni efficaci alle grandi sfide globali del nostro tempo. Scoperte considerate inutili oggi potrebbero essere tassate domani. Del resto, nessuno avrebbe inventato la lampadina elettrica se, nell'Ottocento, ci si fosse limitati a sovvenzionare i tentativi di produrre candele più efficienti e durature.

È questa la forza della ricerca di base. Investiamo in ricerca scientifica per ottenere conoscenza ma anche tecnologia. Ce lo ricorda la frase di Leonardo da Vinci che campeggia nell'Aula Marconi del CNR, a Roma: "La luce della scienza cerco e 'l beneficio". In Europa e in Italia, la ricerca di base è all'avanguardia, e la luce della scienza vivace. Ma la capacità di produrre ricchezza dalle scoperte scientifiche, creando tecnologie innovative e nuovi mercati, ha ancora margini notevoli di miglioramento.

Per esempio, la grande rivoluzione digitale degli ultimi vent'anni, che ha sconvolto l'organizzazione sociale in tutti i settori — da quello produttivo a quello della comunicazione e, sciaguratamente, perfino l'arte della politica — è stata resa possibile dalla scoperta della magnetoresistenza gigante. Si tratta di un effetto quantistico che si manifesta in sottili pellicole metalliche formate da strati

sovrapposti di materiali magnetici e no. In questi sistemi, la resistenza elettrica può essere modificata facilmente accendendo o spegnendo un debole campo magnetico.

La magnetoresistenza gigante fu scoperta nel 1988 a Jülich, in Germania, da Peter Grünberg e dai suoi collaboratori, e — indipendentemente — dal gruppo di Albert Fert all'Università di Paris-Sud, in Francia. Grünberg e Fert ricevettero il premio Nobel per la Fisica nel 2007. Tuttavia, i dispositivi basati su questo fenomeno — che hanno rivoluzionato la nanoelettronica inaugurando l'era della spintronica, del web, dei Big Data e dell'intelligenza artificiale — furono sviluppati dalla IBM a San José, negli Stati Uniti. Da un inglese, Stuart Parkin, oggi all'Istituto Max Planck di Halle, in Bassa Sassonia.

Se oggi portiamo in tasca telefoni cellulari con una potenza di calcolo superiore a quella di un supercomputer del XX secolo, lo dobbiamo a Grünberg, Fert e Parkin, ma anche a John B. Goodenough, fisico americano insignito del premio Nobel per la Chimica nel 2019. Durante i dieci anni trascorsi presso l'Istituto di Chimica Inorganica di Oxford, dove ebbi la fortuna di conoscerlo, Goodenough condusse ricerche fondamentali per lo sviluppo delle batterie ricaricabili agli ioni di litio. Ma fu la Sony, in Giappone, a realizzare le prime batterie commerciali che hanno reso possibile la diffusione dei dispositivi elettronici portatili e della mobilità elettrica.

La rivoluzione quantistica è nata in Europa agli inizi del Novecento. Nei decenni successivi alla sua formulazione, la meccanica quantistica ha generato innumerevoli applicazioni tecnologiche: dalla televisione ai transistor, dal laser alle lampadine LED. Tutte invenzioni che hanno trovato terreno fertile prevalentemente altrove, aprendo mercati di dimensione globale prima inesistenti. Oggi, assistiamo all'emergere di una seconda rivoluzione quantistica, che promette applicazioni nel calcolo, nelle comunicazioni ultra-sicure, nella costruzione di sensori e strumenti di misura con sensibilità e precisione impareggiabili. Queste innovazioni si basano sul

lavoro dell'irlandese John Bell, del francese Alain Aspect, dell'austriaco Anton Zeilinger e di altri scienziati europei, finanziati da istituzioni europee. Sarebbe auspicabile che l'Europa riuscisse, questa volta, a valorizzare pienamente il potenziale economico e sociale di queste scoperte, evitando di disperdere i frutti della propria eccellenza scientifica.

In tempi relativamente recenti, George Pompidou osservava che la ricerca di base è «uno dei tre modi più efficaci per sprecare denaro». In realtà, essa costituisce una delle colonne portanti della civiltà moderna e finanziarla, è un imperativo strategico. Il miglioramento delle condizioni di vita nei Paesi emergenti, il superamento della crisi climatica, l'innovazione in campo medico, trovano nella ricerca scientifica il presupposto necessario per uno sviluppo sostenibile e duraturo. Occorre però saper trasformare le scoperte scientifiche in ricchezza diffusa, in benessere collettivo, in opportunità di crescita per la società nel suo complesso.

Tuttavia, una tecnologia sempre più sofisticata produrrà squilibri geopolitici crescenti, fomentando concorrenza e ostilità. In tale contesto, è essenziale che la scienza si proponga come motore di pace e cooperazione, incoraggiando un uso responsabile delle tecnologie emergenti e un dialogo costruttivo tra le nazioni in competizione tra loro. Questi sono alcuni dei principi fondanti del Centro di Cultura Scientifica "Ettore Majorana" di Erice, fondato da Antonino Zichichi, e del cui Senato Accademico ho l'onore di far parte.

Affinché la scienza possa adempiere pienamente alla propria missione, è però indispensabile che essa mantenga la propria autonomia rispetto alle agende politiche, sia libera da condizionamenti esterni, e che la circolazione delle idee, delle informazioni e delle persone non abbia ostacoli.

Governare un sistema complesso è difficile. E la complessità del mondo continuerà a crescere. È importante, allora, che le grandi decisioni politiche tengano conto dell'evidenza scientifica, ma allo stesso tempo la consulenza offerta agli organi decisionali deve essere imparziale e trasparente, deve evidenziare esplicitamente i limiti dei modelli adottati e il grado di incertezza associato alle previsioni.

Gli scienziati non possono permettersi di essere vanagloriosi artefici di chiacchiere: la loro autorevolezza dev'essere fondata sull'evidenza sperimentale delle loro affermazioni e sulla conoscenza maturata attraverso il metodo scientifico — non sul prestigio accademico, reale o autoproclamato. E sì, la scienza è democratica. È democratica nel senso che l'ipotesi corretta di uno studente vale più dell'ipotesi sbagliata di un professore. Ma quando i conflitti di idee danno l'impressione che esistano “molte scienze”, tutte ugualmente autorevoli, l'evidenza scientifica si degrada a semplice opinione, e si apre la porta a forme sottili di manipolazione dell'opinione pubblica.

Le responsabilità della scienza sono enormi: espandere i confini della conoscenza, favorire il progresso, promuovere la cooperazione internazionale, proteggere l'ambiente. Come affrontarle? In un articolo pubblicato trent'anni fa, Freeman Dyson — grande fisico e matematico britannico — scriveva che la scienza è “un'alleanza di spiriti liberi che insorgono contro la tirannia imposta da ogni cultura che si faccia promotrice di visioni oppressive del mondo”. Per fronteggiare i compiti complessi e urgenti che la attendono, la scienza dev'essere ribelle. Ora più che mai, è necessario che la scienza sia ribelle, indipendente e capace di farsi guida intellettuale del cambiamento.