

# Da Democrito ai quark. Le grandi intuizioni della fisica

## Presentazione della mostra

Mercoledì 23, ore 11.30

### Relatori:

Giulio GIORELLO,  
Docente di Filosofia della Scienza presso l'Università degli Studi di Milano

Corrado SINIGAGLIA,  
Ricercatore di Filosofia della Scienza presso l'Università degli Studi di Milano

Gianni BONERA,  
Ordinario di Fisica presso l'Università degli Studi di Pavia

John D. BARROW,  
Docente di Astrofisica presso l'Università di Cambridge

Elio SINDONI,  
Ordinario di Fisica presso l'Università degli Studi di Milano Bicocca

### Moderatore:

Marco BERSANELLI

**Bersanelli:** La mostra “Da Democrito ai quark. Le grandi intuizioni della fisica” è molto diversificata, piuttosto ampia; vorrei dare due idee molto semplici dalle quali la mostra stessa è stata concepita.

L'idea fondamentale è che la storia della fisica non è una catena ineluttabile di eventi impersonali, è invece una storia di uomini, una lunga e appassionante vicenda umana. È una vicenda umana fatta di tentativi più o meno azzeccati, è fatta di genialità, di imprevisti, di errori, di malintesi, di fortuna e di sfortuna, di sforzi eroici. La storia della fisica è la storia di uomini che vivono in una frontiera di chiaro scuro, che chiama in causa tutta la capacità della ragione umana che osserva la realtà; è una vicenda umana sia nel senso della singola genialità sia nel senso che coinvolge il contesto culturale nel quale le svolte fondamentali della conoscenza scientifica sono accadute. La mostra tenta di mettere in risalto entrambi questi aspetti, l'aspetto del singolo e l'aspetto della radice culturale in cui una certa intuizione è maturata.

La seconda idea è che è impressionante rendersi conto di ciò che una storia lunga mette in moto e di che cosa continuamente ha tenuto in moto questa appassionante ricerca, che prosegue da oltre cinquemila anni. Legandomi peraltro alla mia esperienza di ricercatore, posso dire che la ricerca scientifica come ogni attività conoscitiva dell'uomo sarebbe impossibile senza un'attrattiva elementare, senza uno stupore originale che la realtà esercita sul soggetto che conosce; c'è uno stupore originale di fronte alla realtà nel suo insieme; di fronte alla Luna, al Sole e al corpo che cade c'è una curiosità che viene accesa, che è il terreno su cui sorgono le domande più sensate e più fruttuose. E il soggetto, l'io umano che conosce, scopre se stesso come punto notevole di questa realtà; e infatti Pascal osserva: “Tutti i corpi, il firmamento, le stelle, la Terra e i suoi regni non valgono la più piccola intelligenza: questa conosce tutto ciò e se stessa, i corpi no”. La prima mossa della conoscenza scientifica è una sorta di passività: noi quando ricerchiamo dobbiamo innanzitutto guardare, lasciarci colpire dal fatto che la realtà c'è e che è fatta in un certo modo.

**Giorello:** La mostra è anzitutto una storia della fisica, una storia di come si guarda il mondo e di come questo guardare diventi descrizione linguistica, calcolo matematico, figura e anche geometria; questo sguardo, la forza di questo sguardo è stato capace, in quella tradizione che noi oggi per comodità chiamiamo fisica, di costruire una storia meravigliosa che comincia con le prime grandi osservazioni degli astronomi e astrologi di Caldea, che debutta con i primi grandi pensatori della Ionia e che poi va avanti nel mondo greco, nel mondo latino, nella grande esperienza dell'Islam fino a innervare profondamente la nostra modernità. Raccontare tutto questo non è facile, anche perché si deve sempre scegliere qualche spunto specifico in una trama di idee così ricca e complicata, in questa trama di idee che è anche una trama di persone. Il poeta John Milton diceva che ragionare non è altro che scegliere: i fisici scelgono, ragionano perché sono capaci appunto via via di appoggiare quella teoria piuttosto che quell'altra, salvo poi scaricare quella che non funziona e spostarsi da un'altra parte. È lo stupore che muove la conoscenza, le domande più ingenue, come il domandarsi perché fa buio di notte; rispondere a questa domanda ha portato addirittura a teorizzare un universo in espansione e quindi a costruire modelli sempre più elaborati dello sviluppo del cosmo. Lo stupore muove verso la ricerca; ma anche quando si raggiunge una soluzione interessante, si costruisce una bella teoria, si vede che la nostra teoria si adatta bene ai dati sperimentali, non per questo lo stupore finisce. Lo stupore resta, è la molla per andare ancora avanti, anche quando ci rendiamo conto che questo andare avanti può essere fortemente limitato dai successi che abbiamo conseguito.

Giordano Bruno, il filosofo eretico che finì bruciato in Campo dei fiori e le cui speculazioni sugli infiniti mondi hanno profondamente aperto la strada alla fisica da Galileo a Newton, affermava che bisogna saper vivere la propria

condizione con eroico furore; anche noi siamo chiamati, come persone che amano la scienza, ad una piccola parte di questo eroico furore.

**Sinigaglia:** Lo stupore o la meraviglia sono certamente uno dei moventi o dei motivi all'origine del discorso scientifico; ma c'è anche un'altra causa, che è riportata anche nella mostra, ed è un passo di Epicuro, dalle *Massime*: "Se non ci turbassero la paura dei fenomeni celesti e quella della morte [...] non avremmo bisogno della scienza della natura". In realtà tanto la meraviglia quanto lo stupore mostrano come l'origine del pensiero scientifico trovi la sua ragion d'essere nella tensione che anima l'essere umano; la mostra cerca di ripercorrere i diversi momenti di questa tensione.

Le origini del pensiero scientifico – sulle quali mi soffermerò brevemente – affondano molto più indietro del titolo stesso: si è dato infatti il titolo da Democrito perché è una figura particolare, non perché è il primo; è invece colui che con più forza introduce quell'idea che diventerà poi decisiva per grande parte della storia della fisica e cioè l'idea di spiegare i fenomeni visibili, complessi, attraverso elementi invisibili e semplici, gli atomi. Questa immagine mi richiama alla mente un passo di un celebre filosofo della scienza, Karl Popper, che dice che la scienza non nasce per spiegare l'ignoto, la scienza nasce là dove c'è l'esigenza di spiegare il noto attraverso l'ignoto. È questo il motore del discorso scientifico: fenomeni che noi vediamo vengono spiegati attraverso qualcosa che non vediamo, di cui non conosciamo neppure la natura.

Il rapporto tra il noto e l'ignoto, il visibile e l'invisibile, si accompagna ad un altro discorso che è all'origine della conoscenza scientifica: quello che ci appare noto, quello che ci appare visibile in realtà è quello che può essere catturato soltanto dal discorso dall'opinione, dalla *doxa*, e per quanto possa sembrare paradossale il ricorso all'invisibile, all'ignoto, esso diventa la via per raggiungere l'*episteme*, la scienza. L'*episteme* è quello che perdura, quello che permane, quello che in qualche misura sta sotto e ci dà la ragione di quello che invece è alla superficie, di quello che cade sotto i nostri sensi.

Quello che viene offerto nella mostra è un grande racconto, con tante scelte che possono sembrare discutibili, ma necessarie perché bisognava comunque scegliere in una tradizione enorme, cercando di costruire un racconto che non vuole essere semplicemente una galleria di immagini ma che vuole offrire tutti gli spunti che sono emersi in questa grande storia, incluse le perdite e gli errori. I grandi argomenti della scienza nascono proprio dalla riflessione scientifica medioevale, che è una riflessione potente, intensa, certamente legata ad un'idea della scienza diversa dalla nostra ma che è ricchissima, che è stata una fonte a cui i grandi autori classici della scienza, quelli da cui noi facciamo iniziare la scienza moderna, hanno attinto a piene mani.

È un racconto, un racconto di successi, un racconto di intuizioni geniali, intuizioni che forse dopo centinaia di secoli trovano una loro realizzazione, almeno parziale, o un loro successo, ed è una storia anche di perdite, basti pensare a che cosa era la concezione della fisica per un aristotelico. L'importante è ripercorrere questo racconto non pensandolo come una via unica che porta al trionfo di alcune idee ma proprio come una trama complessa di rimandi, di idee che si sedimentano, che poi riemergono nuovamente e che trovano la loro realizzazione in campi diversi; una storia di immagini, di metafore, un lungo racconto in cui molto si è guadagnato e molto si è perso, inevitabilmente, e dove la perdita, molto spesso, era la condizione del guadagno. Se non si fosse perso molto della fisica aristotelica non sarebbe mai potuta iniziare la grande rivoluzione scientifica.

In tutti questi momenti la mostra vuole far rivivere anche la drammaticità delle scelte: le singole tappe sono state scelte drammatiche tra modelli, concezioni del mondo alternative, concezioni dell'esistenza alternative, filosofie alternative: la scienza è sempre nata come filosofia e io credo che non abbia mai perduto questa istanza filosofica di fondo. Diceva Geymonat, non ha senso ridurre la filosofia a scienza né pensare che la filosofia non abbia nulla a che fare con il discorso scientifico: pensiero filosofico e pensiero scientifico hanno ancora l'obbligo di confrontarsi tra loro. Il racconto che ritrovate nei pannelli della mostra vuole proprio mettere in scena questo confronto, la grande avventura di idee che è e che continuerà ad essere la scienza.

**Bonera:** Leggendo la storia del pensiero scientifico, partendo dai greci, così come la mostra ci propone, ci accorgiamo che molto spesso lo sviluppo scientifico procede con continuità. Le grandi intuizioni, e forse per coerenza toglierei quel grande, perché sono grandi per noi oggi, al tempo erano tutte delle intuizioni; le intuizioni accelerano il cammino della scienza, lo scuotono da un periodo di ristagno, ma questo avviene solo quando la comunità degli scienziati è pronta a recepirle, a farle proprie. Se così non è, esse vengono ignorate per anni, per secoli. L'idea eliocentrica, formulata già da Aristarco, cadde nel nulla; e ancora con Copernico essa impiegherà più di un secolo ad essere accettata e non tanto perché in contrasto con la religione, ma perché la comunità dei filosofi, intesi come filosofi naturali, non voleva accettarla. Così la nascita della meccanica classica: fino a quando ci si limitava a scagliare pietre e sassi la fisica aristotelica era sufficiente, la sua inefficienza divenne drammatica quando si cominciò ad utilizzare la polvere da sparo, quando il poter prevedere la traiettoria dei proiettili divenne vitale per la sopravvivenza di un popolo in guerra. Cominciò allora a farsi strada l'idea inerziale, intravista da Galileo, formulata da Cartesio, posta alla base della nuova meccanica da Newton; ma nel frattempo era mutata la visione del mondo: da un mondo chiuso, ordinato, gerarchico, dove ogni cosa doveva avere il proprio posto – ecco la teoria del luogo naturale – si passava ad un universo infinito, e dove solo poteva aver luogo il moto inerziale, cioè un moto rettilineo uniforme, che continua all'infinito. In pieno medioevo Avicenna intuì che nel vuoto, venuta meno ogni resistenza, il moto di un corpo avrebbe dovuto continuare all'infinito, ma in un mondo chiuso ciò non era possibile; era una prova inconfutabile, per allora, che il vuoto non poteva esistere a meno di non pensare ad un moto inerziale, circolare, uniforme come fece Galileo ancora ancorato alla filosofia platonica.

Diceva Maxwell: “I personaggi che incontriamo nella storia della scienza sono uomini come noi e dallo studio della loro vita possiamo indagare e conoscere l’animo umano”. Infatti proprio perché per varie circostanze, non sempre comprensibili, la comunità li ha resi famosi, di loro si conosce tutto e non solo riguardo agli aspetti scientifici, ma anche a quelli umani e affettivi. Prendiamo il caso di Alessandro Volta: è un personaggio che ho avuto modo di conoscere molto profondamente in questi anni leggendo più di mille lettere, e non solo a colleghi, ma anche ad amici, a familiari, a confidenti. Un uomo come tanti, con i suoi vizi, le sue virtù, le sue intuizioni e le sue incertezze. Non uso il termine errore, errore è solo ciò che oggi noi sappiamo essere sbagliato, ma per gli scienziati del passato era solo un’interpretazione possibile che poi si rivelò infruttuosa. Giovane, bello, aitante, non ancora trentenne, mentre se ne stava in barchetta sulle placide acque del lago Maggiore presso Algera, là dove il lago si impaluda tra i canneti, il suo sguardo si posò su alcune bollicine che venivano a galla. Riempì subito d’acqua una caraffa e capovolgendola ancora piena sopra il luogo dove abbondavano tali bollicine, le raccoglie e dimentico dei compagni – probabilmente della compagna – se ne torna subito a casa per studiare questa nuova aria. Intuisce che si tratta di un’aria infiammabile, ma diversa dall’aria infiammabile metallica, così si chiamava allora l’idrogeno, la studia attentamente e scopre il metano. Ma durante i successivi studi con questa aria infiammabile, in particolare con l’idrogeno, vede e lo scrive più volte, che durante la reazione esplosiva con l’ossigeno – idrogeno e ossigeno – le pareti di contenitore si ricoprivano di un sottile strato rugginoso, dice lui; ma a Volta, convinto assertore della teoria del flogisto, questo particolare non dice nulla se non che i suoi reagenti contenevano impurità di acqua che per lui era un elemento primo. Due anni dopo Lavoisier con i suoi stessi strumenti scopre la sintesi dell’acqua: idrogeno e ossigeno si combinano e danno acqua. Ma Lavoisier ormai da alcuni anni aveva rifiutato la teoria del flogisto e aveva già gettato le basi per la nuova chimica.

Un altro esempio: Volta rifacendo l’esperienza di Galvani sulle contrazioni delle rane dovute al contatto con archi bimetallici, intuisce che il segreto sta nell’arco e non nell’animale e questa intuizione gli darà la forza di difendere per molti anni la sua convinzione, anche di fronte ad esperienze di Galvani che sembrano confutarla completamente. Alla fine arrivò a dimostrare quello che oggi noi chiamiamo “effetto Volta” che è alla base della nuova tecnologia informatica. Poi, due anni dopo, quasi per caso, realizzò la pila, “la base fondamentale di tutte le tecnologie moderne” come ebbe a definirla Albert Einstein, ma si rifiutò sempre di accettarne l’interpretazione chimica. E così un’altra volta le bollicine che si sviluppavano nell’elettrolita a contatto con lo zinco non gli suggerirono nulla. Pochi mesi dopo, Nicholson, con la sua stessa pila, scoprì la dissociazione dell’acqua.

Morale: non basta vedere un fenomeno per poterlo scoprire, si scopre ciò che si è in grado di scoprire.

**Barrow:** Uno dei temi che sono stati sviluppati da coloro che hanno collaborato all’allestimento della mostra è sicuramente la comprensione della struttura della materia, la ricerca per capirne gli elementi che la compongono e che cosa succede quando vengono tagliati a metà fino a raggiungere dimensioni sempre più piccole di particelle.

Vediamo una dimostrazione molto rapida di come sia possibile esaminare e osservare realtà molto piccole in questo momento, perché vedo un pubblico fatto da numerosi bambini e altrettanto numerosi genitori. È una sfida che vi lancio. Prendete un pezzo di carta: se riuscite a piegarlo 30 volte arrivereste alla dimensione di un atomo; se invece riuscite a piegarlo 46 volte riuscireste ad arrivare alla dimensione di un protone. In questo senso le particelle più elementari presenti nella natura non sono molto distanti da noi.

Durante la mostra avrete modo di ripercorrere quelle che sono le tappe della storia dell’uomo che ha cercato fin dall’inizio di capire, quanto meno attraverso le intuizioni, quello che potrebbe succedere continuando a dividere a metà dei pezzi sempre più piccoli. L’importante è capire però che la storia non si chiude qui. Infatti stiamo cercando di realizzare la collisione delle particelle sempre a maggiori velocità, per scomporle in frammenti sempre più piccoli. Si potrebbe immaginare di continuare a fare questo per sempre, potremmo anche pensare che non esiste un limite a quanto i pezzi fondamentali possano essere ridotti e tagliati, però non sembra che le cose stiano così perché anche se colpiamo duramente non sembra che ci sia ancora un pezzo più piccolo: la situazione presenta della sfaccettature un pochino più misteriose di quanto non si pensi. È come se divideste e piegaste un pezzo di carta a metà: piuttosto che riuscire a piegare a metà il foglio di carta, è proprio come se la natura stessa dell’oggetto, cioè del foglio di carta, cambiasse e diventasse sempre più elastica; otterremmo così due pezzi che sono esattamente della medesima dimensione. È come il caso di un magnete: se noi lo dividiamo in due, non otteniamo due magneti più piccoli, ma due magneti che hanno le stesse proprietà con soltanto un polo nord del magnete. Non dobbiamo immaginare che dividendo un magnete in due abbiamo soltanto un pezzo che ha il polo nord e l’altro che ha il polo sud: quando lo dividiamo a metà abbiamo invece due pezzi di magneti, entrambi con il polo nord e il polo sud. Infatti i pezzi all’interno dei protoni e dei neutroni vengono tenuti insieme dalle forti tensioni elastiche, quindi quando dividiamo la parte in due, dividiamo la parte elastica che a sua volta rilascia più energia sufficiente a creare non due particelle ma quattro.

Negli ultimi cinque, dieci anni i fisici, nel corso dei loro studi, sono arrivati a capire che l’aspetto più importante, o fondamentale della ricerca non sono affatto le particelle, invece di essere dei punti sono delle linee, delle stringhe, degli anelli di energia, dei *loop of energy*, una sorta di elastico. Tuttavia in funzione delle variazioni di temperatura o di energia dell’ambiente possono cambiare molto: quando la temperatura è particolarmente bassa come nei laboratori di esperimenti, i *loop*, gli anelli diventano a forma di punti perché la tensione è molto elevata; quando invece la temperatura è particolarmente elevata, come negli esperimenti di particelle ad elevata temperatura oppure all’inizio dell’universo, la tensione diventa molto bassa e queste stringhe assumono appunto la forma di *loop*, di anello. Come tutte le stringhe – ad esempio quelle di una chitarra – se vengono tirate vibrano. Tuttavia, vibrano soltanto con delle energie particolari; se potessimo calcolare queste energie per quelle che sono le stringhe fondamentali che poi vengono chiamate super stringhe, potremmo calcolare le masse di tutte le particelle elementari presenti nella natura applicando

quella che è la famosa formula dell'energia di Einstein. Riteniamo infatti che queste particelle elementari siano solo e soltanto delle vibrazioni di questi *loop*, di questi anelli fondamentali di energia.

Quella che è la sfida che si pone ogni giorno la fisica, già dai tempi di Democrito e di Galvani, è di sperimentare e testare in dettaglio questa idea sulla base di esperimenti. Visitando la mostra scoprirete che la maggior parte delle scoperte sono state realizzate da giovani: la fisica non è una branca nella quale è necessario essere particolarmente anziani. Se siete giovani è molto più probabile che arrivate con nuove idee, diverse e rivoluzionarie.

**Sindoni:** La mostra è molto lunga; è divisa in cinque sezioni: il mondo antico, il medioevo, la rivoluzione copernicana, i secoli XVIII e XIX, l'era atomica; è anche corredata da parecchi esperimenti, in particolare nell'ultima parte vi sono pezzi di strumentazione fornita dal Cern di Ginevra. Ci sono vari modi per visitarla, l'essenziale è che uno possa ricavare qualcosa dalla mostra, soffermandosi eventualmente sulle parti che lo interessano di più.