

## **Relatività e relativismo: cambia la trama dell'Universo (Di Eleonora Saia)**

“Il mondo cambia, la vita è un’opinione che si adegua” (Democrito)

La conversazione di questa sera nasce dal piacere, via via crescente, di partecipare a questi incontri pomeridiani organizzati dal CLE, che sono una boccata di ossigeno nella ritualità della quotidianità scolastica, poiché inducono a riflettere, ad approfondire temi che richiamano le comuni radici di studio. E nasce anche dal bisogno di socializzare l’importanza fondamentale che gli studi classici rivestono in una formazione professionale come la mia, apparentemente distante dall’eredità dei valori e visioni del mondo classico cui ci si rivolge principalmente per le mirabili produzioni del pensiero umano in campo letterario, artistico filosofico, quasi mai in campo scientifico.

Lo scopo fondamentale dell’incontro di questa sera è, pertanto, quello di evidenziare il contributo essenziale che la civiltà greca ha dato alla nascita e allo sviluppo del pensiero scientifico nel metodo, nell’atteggiamento e nella forza dell’intuizione, necessari alla rappresentazione del mondo, alla luce delle recenti rivoluzioni scientifiche, tracciando il cammino dell’Uomo nel progresso della Scienza e nella costruzione della Conoscenza del mondo in cui viviamo.

L’uomo dalle origini ha sempre cercato di capire e spiegare, con i mezzi a sua disposizione, la complessità dei fenomeni in cui era immerso, interrogandosi sul suo rapporto con la natura, e in ultima analisi, sul senso ultimo della esistenza. In questo percorso esistono tappe fondamentali che hanno rifondato la costruzione del suo Universo di conoscenza, aprendo a visioni del circostante del tutto nuove.

Questa sera ripercorreremo queste tappe fondamentali, senza pretese di puntualizzazione scientifica, piuttosto raccontando il valore della crisi nella costruzione della conoscenza, come questa abbia aperto a nuove rappresentazioni del mondo e quali problemi di natura filosofico – concettuale abbia posto all’intera umanità, mettendo in discussione la natura stessa del sapere scientifico.. Non a caso la sintesi di questa relazione può essere racchiusa in un potentissimo verso di Democrito: Ὁ κόσμος ἀλλοίωσις ὁ βίος ὑπόληψις *“Il mondo è mutamento, la vita è un’opinione che si adegua”*.

Il pensiero di Democrito, anche e soprattutto alla luce delle rivoluzioni scientifiche che hanno stravolto la fisica del ‘900, riassume efficacemente l’essenza stessa della conoscenza scientifica. Il XX secolo, infatti, nasce con la crisi profonda degli ideali della civiltà occidentale e dell’impianto filosofico – concettuale che l’aveva sostenuta, alimentando la sua vocazione all’etnocentrismo, ossia la convinzione che essa fosse l’unica depositaria di verità assolute.

La concezione positivista, supportata dallo sviluppo di nuovi campi di indagine e dal trionfo della tecnica, cui si devono numerose e mirabili applicazioni, aveva prodotto con il mito del progresso la convinzione che l’uomo, attraverso la scienza, potesse dominare la Natura, avendone ormai compreso appieno il funzionamento. L’elaborazione e l’affermarsi della teoria della relatività e della meccanica quantistica sgretolano inesorabilmente tale concezione e tutte le certezze costruite sino a quel momento, rimettendo in discussione, attraverso la crisi delle conoscenze consolidate e pensate come ormai indiscutibili, non solo la rappresentazione del mondo e l’impianto filosofico – concettuale dei secoli precedenti, quanto la stessa natura della conoscenza scientifica.

Lecture della scienza fatte dai filosofi, da Carnap a Bachelard, da Popper a Kuhn da Feyerabend a Lakatos (basti ricordare i circoli di Vienna e Berlino) hanno posto in discussione il senso e le caratteristiche della stessa attività scientifica.

Lo shock conseguente alle predizioni, tutte verificate sperimentalmente, delle due teorie ( relatività e meccanica quantistica) e i loro successivi sviluppi, rapportati comunque al periodo storico in cui si sono evolute, caratterizzato da conflitti mondiali, crollo degli imperi, nuova geografia di potere nel mondo occidentale, ha accentuato, con la perdita delle certezze, sino ad allora baluardo della superiorità della cultura occidentale, quel senso di disorientamento, quasi di implosione della nostra civiltà che si riflette sull'interrogativo, tema conduttore dei seminari CLE di quest'anno sociale: **“La civiltà occidentale è al tramonto?”**

È una domanda difficile che ammette differenti risposte, a seconda della lettura che vogliamo fare degli eventi caratterizzanti il periodo storico in discussione. Nella precedente relazione, tenuta lo scorso novembre dalla prof.ssa Elisa Biasi, che ha presentato il pensiero filosofico di due autori importanti come Nietzsche e Heidegger , abbiamo assistito ad un progressivo disgregarsi dell'Essere nell'Ente e di quest'ultimo nel Nulla.

La crisi dell'uomo contemporaneo, irrisolta dal punto di vista filosofico, nasce dall'oscillazione fra il bisogno di verità assolute e la negazione dell'esistenza stessa della Verità.

Fra questi due poli esiste una terza via: quella dell'indagine sul mondo, della ricerca di ciò che non sappiamo, a partire da ciò che sappiamo, del confronto delle idee, del vaglio delle ipotesi per pervenire alla migliore possibile, in quel contesto e momento storico in cui viviamo, con gli strumenti a disposizione.

Senza pretendere che il risultato raggiunto sia la Verità ultima, ma con la consapevolezza che esso potrebbe non reggere al vaglio della critica e quindi generare altre visioni del mondo e della stessa condizione umana. Questa è la strada maestra del pensiero scientifico e dà una risposta ottimistica alla domanda iniziale.

Ogni civiltà nasce in continuità con quella che la precede e in stretta connessione con quelle circostanti. Le civiltà dialogano fra loro: non sono gabbie ma vasi comunicanti, come la stessa civiltà greca, che è posta alle origini della nostra civiltà occidentale, ci ha insegnato. Per tale motivo una civiltà non scompare nel nulla senza lasciare tracce di sé nella storia successiva. C'è un intrinseco rapporto di contiguità fra civiltà diverse e di contiguità rispetto alla storia. Ciò che può tramontare di una civiltà è il suo ruolo dominante all'interno del contesto geopolitico, storico e temporale di riferimento. La storia del pensiero scientifico ne è un luminoso esempio.

La Scienza ha costruito e continua a costruire una civiltà globale, usa un linguaggio universale, procede per passi parziali in continuità con la conoscenza accumulata, evolve per crisi successive, indagando, attraverso la formulazione delle ipotesi e il vaglio critico dell'esperienza ciò che non sappiamo per ampliare lo spazio di conoscenza sul mondo. È la storia stessa del cammino dell'Uomo nell'interpretazione del Mondo, e quindi non può tramontare! Quando è cominciata questa storia? Cercheremo di rispondere ad una serie di interrogativi che possono meglio illustrare quanto sin qui premesso.

Che cos'è e quando nasce il pensiero scientifico? Quali sono i suoi limiti e che cosa ci insegna davvero? In che rapporto è con le altre forme di conoscenza?

La speculazione scientifica, intesa come riflessione consapevole sulla realtà che ci circonda e formulazione di ipotesi di spiegazione della complessità dei fenomeni naturali, nasce in simbiosi con quella filosofica nella scuola Milesia, nel VI sec. A. C.

Mileto era a quel tempo l'archetipo di una comunità civile e progredita, porto sulle coste dell'Asia Minore, centri vivacissimo di influenze e di scambi, non solo commerciali, delle civiltà del bacino del Mediterraneo e di quelle orientali.

Taleta Anassimandro e Anassimene sono i primi pensatori che raccogliendo il contributo di informazioni ed esperienze provenienti dal mondo allora conosciuto, hanno interpretato la complessità dei fenomeni naturali come estranee alla manifestazione di una volontà divina. Fra i yre emerge la figura di Anassimandro, che più degli altri si dedicò all'indagine naturalistica.

A lui, infatti, pur non essendosi tramandati testi diretti ma solo fonti indirette, si deve una serie di formulazioni teoriche sui fenomeni meteorologici e cosmogonici:

- 1) La pioggia avviene per evaporazione delle acque del mare, e dei fiumi, a seguito del calore del sole.
- 2) I lampi ed i tuoni sono generati da scontri di nubi nel cielo.
- 3) I terremoti sono dovuti a movimenti della terra, originati dal troppo caldo o dalle piogge abbondanti.
- 4) La Terra è un sasso piatto che naviga nel Cosmo, circondata completamente dal cielo; non cade perché non esiste nessuna direzione privilegiata verso cui cadere.
- 5) la Terra si trova al centro di un sistema di ruote che, girando intorno ad essa, come quelle di un carro, fanno muovere la luna, il sole e le stelle.
- 6) Il mondo e tutti i fenomeni che lo caratterizzano, si è originato dall' **ἄπειρον** (infinito o indistinto) quando si sono separati il caldo e il freddo.

Anassimandro scrisse un libro, il **περί φύσεως** (Sulla Natura) andato perduto, di cui rimane un solo frammento riportato direttamente da Simplicio, filosofo sincretico, nel VI sec. D. C. in "Commentario alla fisica di Aristotele" che recita: "Tutte le cose hanno origine l'una dall'altra e periscono l'una nell'altra secondo Necessità. Esse si rendono giustizia reciprocamente e si ricompensano per l'ingiustizia secondo l'ordine del tempo".

Al di là delle tante interpretazioni sulla traduzione di tale frammento (l'ultima di Heidegger) alla Scuola Milesia e ad Anassimandro va attribuito il merito di: 1) Considerare la Natura come oggetto di conoscenza e non più rivelazione del Divino. 2) Cogliere nella Natura verità nascoste, ad essa integrate, che vanno indagate e svelate con l'osservazione ed il pensiero. 3) Riconoscere che le cose avvengono secondo Necessità ossia esistono leggi secondo cui i fenomeni avvengono. 4) Riconoscere che il divenire della Natura si evolve secondo l'ordine del Tempo, e che bisogna indagare come le cose mutano nel Tempo.

Il lungo cammino del pensiero scientifico si apre con l'idea di Anassimandro, che esistono leggi che governano il mondo e che ci dicono come esso cambia secondo l'ordine del Tempo. Ad Anassimandro si deve inoltre l'idea che sta alla base di qualsiasi teoria scientifica: ipotizzare che esistano entità non immediatamente percepibili cui ricondurre la spiegazione di quanto si va osservando, ma sempre riconducibili nel contesto della **φύσις**; fino ad allora tutto ciò che derivava dall'esperienza ma che non si era in grado di spiegare era ricondotto alla manifestazione occulta di un potere Assoluto, fosse il sovrano di turno nelle civiltà orientali o il volere di una divinità.

Certamente la scuola milesia si fermava alla descrizione dell'ipotesi della fenomenologia naturale da vagliare. Nulla era detto sul linguaggio in cui potevano essere espresse queste leggi naturali. Bisognerà aspettare Pitagora per fare un ulteriore salto di qualità nella speculazione scientifica, consistente nell'idea fondamentale che il linguaggio della Natura era la matematica, che per i Greci voleva significare Geometria. Il numero diventa forma e quindi espressione delle cose! Questa idea, rafforzata dall'intuizione degli Atomisti di raffigurare le sostanze come configurazioni di particelle solide e indistruttibili viene successivamente e definitivamente tramandata ai posteri da Platone.

Nonostante le storie della filosofia sottolineino spesso aspetti considerati antiscientifici, come la critica alle spiegazioni in termini di cause efficienti o la svalutazione dell'osservazione rispetto alla ricerca razionale, Platone gioca un ruolo importante nello sviluppo della Scienza. Egli stesso nel Timeo compie un tentativo concreto di realizzare il programma di descrivere geometricamente il mondo reinterpretando gli atomi di Leucippo e Democrito e le sostanze elementari di Empedocle in termini di figure geometriche elementari, ossia forme sulle quali costruire le Verità naturali. Il suo errore è stato quello di dimenticare il Tempo, ossia di dare una descrizione della Natura senza considerarne l'evoluzione nel Tempo.

Ciononostante la sua influenza nella matematizzazione del mondo sarà immensa. È sempre lui che, secondo Simplicio, pone agli astronomi la domanda "Qual è il moto uniforme e ordinato dei pianeti, che dobbiamo assumere per rendere conto del loro movimento apparente?"; ed è al programma pitagorico platonico che si rivolgerà esplicitamente Galileo nel suo cercare le leggi nascoste dietro le cose.

Altro grande contributo che la Scienza deve alla cultura greca sta nell'averne osservato **l'Atteggiamento Critico**. La grande eredità della cultura greca in campo sociale e politico ha in qualche modo generato la nascita del pensiero scientifico. I Greci trovano la loro identità culturale nella poesia di Omero che canta il loro passato glorioso. Ma gli Dèi di Omero non sono né credibili né maestosi. In questo mondo senza centro e senza Dèi forti si apre una via importante per il pensiero umano: quella che oggi definiremmo pensiero laico, ossia il fatto che le leggi, come le idee degli antichi non siano necessariamente le migliori, che le decisioni più valide possano emergere da una discussione fra tanti invece che da un'unica autorità sovrana o dalla riverenza della tradizione, che la critica pubblica di una proposta sia utile a ricercare e discernere la proposta migliore, che si possa argomentare e convergere ad una conclusione- Questi presupposti sono alla radice tanto del processo politico greco quanto della riflessione scientifica sul mondo.

La civiltà greca non aveva carattere piramidale: ogni **πόλις** costituiva, con un forzato parallelismo scientifico, un dominio di validità, ossia un sistema di organizzazione di costumi, di leggi, all'interno dei quali si inserivano in conformità i comportamenti dei suoi cittadini, senza che alcuno presumesse di esser al vertice di tutti i suoi sistemi vigenti! La relatività dei sistemi non scoraggiava, anche nello scontro, il confronto, la ricerca della migliore soluzione possibile, dopo aver vagliato criticamente le ipotesi in campo, senza presumere a priori di possedere la verità assoluta.

Questa impostazione, per così dire costitutiva della civiltà greca, ha favorito l'idea che la conoscenza è un atto di ribellione virtuosa che, a partire da ciò che si sa, indaga ciò che non si sa per pervenire, nel confronto delle idee, ad una idea migliore. Questa è la via maestra della Scienza, nell'atteggiamento e nel metodo, in barba a qualsiasi pretesa, successiva al mondo greco, di aspirazione ad un'unica Verità Assoluta e Metafisica.

Più tardi si ritorna, con i Romani, al potere nelle mani di un singolo, e con il Cristianesimo alla Teocrazia. Cioè si ritorna al pensiero Assoluto. È in questo contesto che nasce la scienza come indagine basata sull'attività sistematica sperimentale, con Galileo, molti secoli dopo, e con Isaac Newton. Quest'ultimo aveva prodotto un sistema mirabile di interpretazione di tutti i fenomeni naturali, raffigurando:

1. Il mondo come ampio spazio vuoto in cui si muovono particelle, come sassolini, che interagiscono tramite la forza di gravità.
2. Tale spazio era tridimensionale e descritto pienamente dalla geometria euclidea.
3. Tutti i mutamenti che avvenivano nel mondo fisico erano descritti in funzione di una dimensione separata, il Tempo, che non aveva alcun legame con il mondo fisico ma scorreva uniformemente dal passato al futuro, attraverso il presente: Spazio assoluto e Tempo assoluto.

4. Le equazioni matematiche che traducevano tale sistema trattavano i corpi come fossero punti materiali, oggetti solidi e indistruttibili che costituivano tutta la materia.

Tale modello era simile a quello degli Atomisti greci, entrambi si basavano sulla distinzione tra pieno e vuoto, materia e spazio; in entrambi le particelle rimanevano sempre identiche a se stesse, in massa e forma, per cui la natura era sempre conservata e inerte. La differenza consisteva nel fatto che Newton aveva introdotto una precisa descrizione della forza che fa interagire le particella, la forza di gravità che dipende solo dalle masse e dalle reciproche distanze..

Di cosa fosse fatto questo spazio, pensato come un grande contenitore tridimensionale, non era detto, né era detto in che modo questa forza facesse interagire cose che erano molto lontane tra loro senza che ci fosse niente in mezzo. Newton, da grande scienziato, non aveva azzardato ipotesi. La concezione meccanicistica della Natura era rigorosamente deterministica: si riteneva che Dio avesse creato tanto le particelle, quanto le forze che tra esse interagiscono e le leggi fondamentali del moto che danno origine a tutti i fenomeni dell'universo. In tal modo tutto ciò che accadeva aveva una causa definita e un effetto definito. Ciò avrebbe consentito di poter prevedere con assoluta certezza il futuro di una parte qualsiasi del sistema, se si fosse conosciuto in un qualsiasi istante il suo stato in tutti i suoi particolari.

La base filosofica di questo determinismo rigoroso era la fondamentale divisione tra l'io e il mondo, fra osservatore ed osservato, introdotta da Cartesio. Come conseguenza di questa divisione si riteneva che il mondo potesse essere descritto oggettivamente e ciò divenne l'ideale della scienza per tre secoli. Pura assumendo tale concezione come indiscutibilmente vera, la speculazione e l'indagine scientifica non si fermerà nei secoli successivi.

Il XIX secolo, in particolare, fu caratterizzato dalla nascita e dallo sviluppo di nuovi campi e strumenti più efficienti di indagine, spesso sollecitati dalle applicazioni tecnologiche che portarono a scoperte mirabili. Sul finire dell'Ottocento la scienza e la tecnologia erano trionfanti: l'esposizione universale di Parigi nel 1889, a cento anni dalla rivoluzione francese, e successivamente quella di Chicago nel 1893, a quattrocento dalla scoperta dell'America, furono mostre straordinarie delle nuove tecnologie: dalla Torre Eiffel, all'illuminazione artificiale di una vastissima area, dal fonografo ai primi ascensori, dai condizionatori e alle automobili. Negli ultimi anni del secolo furono scoperti i raggi X, che consentivano di individuare le ossa rotte, la radioattività che sembrava una fonte di energia inesauribile, e l'elettrone, alla base di tutti i fenomeni elettrici.

La concezione filosofica Positivista, rafforzando l'idea cartesiana di separazione fra l'io e il mondo, aveva prodotto con il mito del progresso l'idea che l'uomo potesse, attraverso la speculazione scientifica e le sue applicazioni tecnologiche, dominare la Natura e creare benessere e migliori condizioni di vita per l'intera umanità. La scienza aveva fatto un buon lavoro e molti pensavano che avesse esaurito il suo compito. Da questo punto di vista l'Ottocento segna per vie diverse una pietra miliare nella comprensione di fenomeni naturali: genera infatti, in continuità con la concezione deterministica del mondo due ipotesi, poi sperimentalmente verificate, di interpretazione di fenomeni osservati che preludono alle successive rivoluzioni scientifiche. Da un lato, la nascita, ad opera di Faraday e Maxwell della teoria elettromagnetica, e dall'altro, con lo studio delle superfici curve bidimensionali di Gauss, delle geometrie non euclidee di Riemann e Losowsky.

I primi producono una rivoluzione concettuale, sostituendo al concetto di forza tra particelle quello di **Campo**, quale rete invisibile di interazioni che permea lo spazio intorno ai corpi. Si capirà che la luce è un'increspatura su queste ragnatele e che tali increspature generano onde di varia lunghezza. Hertz le

ricostruirà in laboratorio, Marconi ne ricaverà la prima radio e l'universo delle telecomunicazioni moderne, per fare un esempio, poggerà su questa ridefinizione degli inosservabili campi.

Gauss formula le equazioni per descrivere le curve bidimensionali, ed un suo allievo, Bernhard Riemann, perviene al risultato, matematicamente dimostrato, che le proprietà di uno spazio curvo sono catturate da un incerto oggetto matematico, che oggi indichiamo con  $R$  = curvatura di Riemann. Sarà proprio Einstein, con la teoria della relatività generale, a dimostrare che  $R$  è proporzionale all'energia della materia, ossia lo spazio si incurva dove c'è materia.

Agli inizi del Novecento i fisici tentavano di far fronte ad una tipica situazione di crisi: la meccanica newtoniana non sembrava più in grado di rendere conto di alcuni risultati osservativi che meglio si conciliavano con la teoria di campi elettromagnetici di Maxwell. Il campo elettromagnetico è un'entità reale, diffusa ovunque, che porta le onde radio, riempie lo spazio, può vibrare e ondulare come la superficie di un lago, e porta in giro la forza elettrica. Newton aveva cercato di spiegare la ragione per la quale le cose cadono e i pianeti girano, immaginando lo spazio come un grande contenitore vuoto, uno scatolone per l'universo, in cui i corpi corrono dritti finché la forza di gravità non li faccia curvare. Einstein intuisce che, se esiste il campo elettromagnetico che porta in giro l'elettricità, deve esistere anche un campo gravitazionale, analogo al campo elettrico, che porta in giro la gravità, e cerca di capire come è fatto questo campo gravitazionale e quali sono le equazioni che possono descriverlo.

E qui arriva l'idea straordinaria che fa di Einstein il genio che conosciamo: il campo gravitazionale non è diffuso nello spazio, è **lo spazio**. Questa è l'idea della teoria della relatività generale cui lavorò per dieci anni, dal 1905 al 1916. Lo spazio non è qualcosa di diverso dalla materia: è una delle componenti materiali del mondo, un'entità che ondula, si flette, si incurva, si storce. Non siamo immersi in una grande scaffalatura rigida, ma in un mollusco flessibile. Il sole piega lo spazio intorno a sé e la Terra non gli gira intorno perché attirata da una misteriosa forza, ma perché corre dritta in uno spazio che si inclina. Come una pallina che rotola in un imbuto: non ci sono forze generate dal centro dell'imbuto, la pallina cade perché è la natura curva delle pareti dell'imbuto a farla cadere. L'equazione matematica che descrive tale situazione di una semplicità impressionante, usa la costante di Riemann, e in sostanza esprime il fatto che la curvatura è proporzionale all'energia della materia, ossia lo spazio si incurva dove c'è materia.

Cade definitivamente il concetto di Spazio Assoluto. Tuttavia non è solo lo Spazio ad incurvarsi, ma anche il Tempo. Einstein predice che il Tempo passi più veloce a distanza maggiore dalla terra e più lento in basso. Negli anni successivi alla formulazione della sua teoria, risultati sperimentali hanno confermato tutte le sue predizioni.

Cade così anche il concetto di Tempo assoluto, come dimensione avulsa dai fenomeni naturali. Già nel 1905 (Teoria della relatività ristretta), assumendo come corretti tanto il nucleo della relatività newtoniana, ossia l'equivalenza dei sistemi di riferimento inerziali, quanto le equazioni di Maxwell, era pervenuto al risultato che non si poteva parlare di simultaneità assoluta, ossia di un tempo assoluto e uguale per tutti i fenomeni.

L'equazione di Einstein apre ad una serie di predizioni, tutte successivamente verificate:

1. L'esistenza di buchi neri: una stella che abbia bruciato il suo combustibile, l'idrogeno, finisce per spegnersi. Quanto resta, non più sorretto dal calore della combustione, crolla schiacciato sotto il suo peso fino a curvare lo spazio intorno a sé così fortemente da sprofondare dentro ad un vero e proprio buco. Oggi sono osservabili a centinaia.

2. Lo spazio non sta fermo: può distendersi e dilatarsi, deve essere in espansione. Nel 1930 questo viene effettivamente osservato.
3. L'espansione scaturisce dall'esplosione di un giovane Universo (Big Bang), piccolissimo e caldissimo. Nel cielo è stata successivamente ed effettivamente osservata la "radiazione cosmica di fondo" ossia il bagliore diffuso che rimane dall'esplosione iniziale.
4. Gli effetti delle increspature, come onde del mare, del campo gravitazionale, sono osservate nel cielo delle stelle binarie, e combaciano con la previsione della Teoria come una sbalorditiva precisione di 1/100 miliardi!

Insomma la teoria descrive un mondo stupefacente dove esplodono universi, lo spazio sprofonda in buchi senza uscita, il tempo rallenta abbassandosi su un pianeta e le sconfinite distese di spazio interstellare si increspano e ondeggiando come la superficie del mare. Ben lungi quindi dall'essere statico e immutabile l'Universo presenta una trama diversa ed è in continuo movimento: ciò che studia la scienza non è la descrizione degli oggetti nello spazio e nel tempo ma il variare dello spazio/tempo e la natura delle loro reciproche relazioni. Noi siamo immersi negli eventi e nella loro continua mutevolezza, consapevoli dell'equivalenza tra massa ed energia ( $E = m c^2$ ), con l'unico postulato, per ora, dell'irraggiungibilità della velocità della luce.

Ma un'altra via di indagine che concerne l'infinitamente piccolo, ha contribuito agli inizi del novecento a ridisegnare la nostra comprensione del mondo: la nascita della meccanica quantistica cui ha partecipato anche Einstein. Max Planck, un fisico tedesco, studiando la radiazione termica dei corpi. Ossia il cambiamento di colore degli oggetti riscaldati, fenomeno all'epoca osservato ma che non si era in grado di spiegare, ipotizzò che la radiazione elettromagnetica emessa venisse prodotta in pacchetti indivisibili che chiamò Quanti. La funzione matematica che spiegava il fenomeno utilizzava, come "trucco di calcolo", una costante (la cosiddetta costante di Planck) che mostrava come la luce emessa era costituita da pacchetti di energia, in ragione della sua frequenza e non della sua intensità. Sino ad allora si pensava che l'energia fosse qualcosa che variava in maniera continua e non discreta.

Fu sempre Einstein che nel 1905 sostenne che la luce ha duplice natura, di onda e particella; i quanti di luce, che chiamò fotoni, non solo erano emessi ed assorbiti in pacchetti discreti, ma viaggiavano in pacchetti discreti (effetto fotoelettrico).

Niels Bohr e il gruppo di fisici che intorno a lui si costituì, la scuola di Copenaghen, sfruttando il modello atomico di Rutherford (nucleo ed elettroni che orbitano intorno ad esso) ipotizzò che il momento angolare dell'elettrone, ossia la misura di quanto sta girando intorno al nucleo, era multiplo della costante di Planck. L'ipotesi fu verificata e si capì che l'energia degli elettroni è rappresentata da valori discreti: gli stessi possono saltare da un'orbita all'altra solo assorbendo ed emettendo fotoni (i cosiddetti salti quantici).

Nel 1925 un giovane genio tedesco, Werner Heisenberg, produsse le equazioni della fisica quantistica che rimpiazzavano l'intera meccanica di Newton! D'un tratto tutto torna e può essere calcolato. Ad esempio la tavola degli elementi di Mendeleiev, appesa sulle pareti delle nostre aule. Tutti ci saremo chiesti, almeno una volta, perché è formulata in quel modo, con quei periodi, e quelle proprietà che caratterizzano e distinguono le sostanze elementari. Ebbene la risposta è che ogni elemento è una soluzione dell'equazione base della meccanica quantistica!

L'intera chimica emerge da questa singola equazione. Ma c'è di più: il principio di indeterminazione di Heisenberg ha generato una sconvolgente visione del mondo atomico, ossia il fatto che un esperimento, per quanto preciso, non può misurare allo stesso tempo la posizione di una particella e la sua quantità di

moto (ossia la sua velocità). Per poter osservare la prima bisogna utilizzare onde di lunghezza sempre minore, mentre al contrario per calcolare la seconda occorrono onde di lunghezza sempre più grandi! La meccanica newtoniana invece ci aveva insegnato che quando misuriamo la posizione e la velocità di qualcosa sappiamo che farà da qual momento in poi! La descrizione del mondo che emerge dalla meccanica quantistica risultò difficile da accettare dagli stessi fisici, eppure è alla base di tutta la tecnologia contemporanea.

1. A livello subatomico la materia non si trova in luoghi ben precisi ma mostra piuttosto una “tendenza a trovarsi” in un luogo.
2. Gli eventi atomici non avvengono con certezza in determinati istanti ma mostrano piuttosto una “tendenza ad avvenire”.
3. Gli elettroni non sono in un luogo preciso: esistono solo quando urtano qualcosa d’altro, i salti quantici da un’orbita all’altra sono il loro solo modo di essere reali. Quando nessuno li disturba non sono, non si mostrano!
4. Questi salti con cui ogni oggetto passa da un’interazione all’altra non avvengono in modo prevedibile ma a caso. La funzione matematica che ne descrive l’esistenza usa le onde di probabilità: **non possiamo prevedere con certezza un evento atomico, possiamo solo dire quanto è probabile che esso avvenga.**
5. La probabilità che interpreta i fenomeni subatomici non descrive le particelle (ossia le cose) ma solo le loro reciproche interconnessioni.

La meccanica quantistica rivela quindi una fondamentale Unità dell’Universo: non esistono unità minime dotate di esistenza indipendente. La realtà ci appare come una complessa rete di relazioni fra le varie parti del tutto. Queste relazioni includono sempre l’osservatore come elemento essenziale che costituisce l’anello finale del sistema. Le proprietà di qualsiasi oggetto atomico possono essere capite solo in termini di interazioni fra l’oggetto e l’osservatore: non possiamo parlare della Natura senza parlare di noi stessi.

Cadono assunti fondamentali della fisica classica:

1. La separazione cartesiana fra l’io e il mondo che aveva prodotto l’ideale classico di una descrizione oggettiva della natura.
2. L’idea che la massa sia associata con una qualche sostanza in quanto è una forma di energia legata in modo dinamico ad attività e processi (Einstein  $E = mc^2$ , Dirac formula l’antiparticella, si sono create sperimentalmente particelle materiali di energia pura)
3. L’indivisibilità della materia (atomo) ma anche la sua divisibilità: non ha senso di parlare di mattoni indivisibili.

Gli urti ad elevata energia frantumano le particelle originarie in altre particelle che non sono più piccole delle prime. Le particelle sono vite come configurazioni meccaniche, o processi che coinvolgono una certa quantità di energia che si presenta a noi come massa. Quando collidono l’energia viene ridistribuita originando una nuova configurazione. Tutte le particelle possono essere trasformate in altre particelle, crearsi dall’energia e scomparire nell’energia.

L’immagine della materia che emerge dallo studio degli atomi dimostra che la maggior parte di essa è concentrata in minuscoli nuclei separati di enormi distanze, questi costituiscono solo una piccola frazione di ciò che noi rappresentiamo come massa totale (una capocchia di spillo in un campo di calcio). L’aspetto solido che noi conosciamo è dovuto ai legami necessari per costruire le strutture molecolari che sono

responsabili delle loro proprietà chimiche, e al fatto che le temperature non sono troppo elevate quindi tali da consentire alle molecole oscillazioni non troppo veloci e mantenere in equilibrio dinamico i legami.

Il Novecento ci ha dunque lasciato due teorie strabilianti che hanno cambiato la trama dell'Universo: la teoria della relatività generale e la meccanica quantistica! La prima disegna uno spazio curvo dove tutto è continuo, un gigantesco mollusco, su cui si sono sviluppate la cosmologia, l'astrofisica, lo studio delle onde gravitazionali, i buchi neri e molto altro! La seconda disegna uno spazio di probabilità dove saltano quanti di energia, che sono alla base della fisica atomica, della fisica della materia condensata e molto altro.

Eppure le due teorie non possono essere entrambe giuste, almeno nella loro forma attuale, perché si contraddicono l'una con l'altra. Attualmente i fisici teorici sparsi per i cinque continenti stanno laboriosamente cercando di dirimere la questione: il campo di studio si chiama **gravità quantistica**. L'obiettivo è quello di trovare una teoria ossia un insieme di equazioni, ma soprattutto una visione del mondo coerente con entrambe. Non sarebbe la prima volta che succede, anzi Newton trovò la gravitazione universale combinando le parabole di Galileo con le ellissi di Keplero, Maxwell trovò le equazioni dell'elettromagnetismo combinando la teoria elettrica e magnetica; lo stesso Einstein ha generato la relatività per risolvere un apparente conflitto fra la meccanica newtoniana e l'elettromagnetismo.

La frontiera della ricerca attuale è la gravità quantistica "a loop" come tentativo di conciliare la relatività con la meccanica quantistica. Ma le sue conseguenze sono radicali: un'ulteriore modifica della struttura profonda della realtà! La relatività ci ha insegnato che lo spazio non è una scatola inerte ma un immenso mollusco mobile che si può comprimere e storcere. La meccanica quantistica ci insegna che ogni sorta di campo di tal genere è fatto di quanti, ossia ha una struttura granulare. Ne consegue che anche lo spazio fisico è fatto di quanti.

La predizione centrale della teoria dei loop è quindi che lo spazio non sia continuo, non sia divisibile all'infinito, ma sia formato da grani ossia da atomi di spazio! Questi atomi di spazio (un miliardo di miliardi più piccoli del più piccolo dei nuclei atomici) non sono isolati ma è inanellati con altri simili, formando configurazioni che si evolvono continuamente in modo dinamico e di conseguenza una rete di relazioni che tesse la trama dello spazio. Lo spazio è perciò creato dall'interagire di quanti di gravità. In tale disegno e nelle equazioni che lo descrivono non c'è alcuna variabile tempo. Il mondo descritto dalla teoria si allontana ulteriormente da quello che c'è familiare: non c'è uno spazio che contenga il mondo e non c'è il tempo lungo il quale avvengono gli eventi. Ci sono quanti di spazio che interagiscono tra loro in continuazione.

Tutto ciò è ancora in via di verifica sperimentale. Le rivoluzioni scientifiche del XX secolo ci hanno insegnato che non esiste un solo insieme di leggi fondamentali della Natura, come non esistono teorie scientifiche definitive che restano valide per sempre. Anche la relatività e la meccanica quantistica mostrano limiti, e potranno essere rimpiazzate da altre teorie più efficaci.

Questo sintetico *excursus* delle tappe fondamentali degli sviluppi del pensiero scientifico e soprattutto le conseguenze e gli scenari che già si prefigurano all'orizzonte come ulteriore modificazione della nostra rappresentazione del mondo, richiamano le domande iniziali.

1. Che cosa ci insegna la Scienza e quali sono i suoi limiti? L'insegnamento della Scienza è che essa costruisce e sviluppa un'immagine del mondo, ossia una struttura concettuale per pensare il mondo, efficace e consistente in ciò che sappiamo e impariamo da esso. La conoscenza scientifica è il **Processo** di modificare e migliorare in continuità la nostra concettualizzazione del mondo, nasce

da ciò che non sappiamo mettendo in discussione qualcosa che credevamo di sapere, che non resiste alla prova dei fatti o ad un'analisi critica intelligente. (Democrito)

2. Esistono sicurezze nella scienza? Si può rispondere affermativamente, proprio per il suo connotato di sedimentazione della conoscenza. La sicurezza non deriva dal possedere verità assolute o ultime, ma dal fatto che è il nostro migliore modo di conoscere il mondo in quel momento storico (la nostra ipotesi migliore, come direbbero i Greci) con gli strumenti di indagine a disposizione.
3. "La conoscenza scientifica non è un insieme di proposizioni verificabili, come voleva il Positivismo, ma è costituita da teorie complesse che possono al più essere falsificate globalmente": questa è l'intuizione centrale di Karl Popper. Da ciò consegue che essa è globale, provvisoria ed evolutiva.

Esistono domini di validità di una teoria determinati dalla precisione con cui osservo e misuro il mondo, e dei regimi all'interno dei quali si situano i fenomeni considerati. All'interno di questi domini possiamo considerare buona una teoria in quanto dà predizioni verificabili sui fenomeni che in essi avvengono.

Questa caratteristica ha aperto il fianco alla critica filosofica che si è sviluppata nel '900, soprattutto in Italia e in Germania, perché identificava la Scienza con le sue applicazioni o con il suo potere predittivo. L'errore di fondo in tale interpretazione è il confondere la scienza con la tecnica, ossia con gli strumenti che essa utilizza per indagare o con le sue applicazioni. Le formule, le procedure di calcolo, il linguaggio matematico su cui si poggia producono per logica predizioni e per conseguenza tecnologie, ma non intaccano il nucleo della Conoscenza che è Visione globale sul mondo. Sarebbe come confondere il pensiero di uno scrittore con la penna che usa!

Altra critica sul suo carattere evolutivo si deve a Kuhn, Feyerabend e Lakatos; secondo il primo una teoria scientifica è una descrizione del mondo che poggia su una struttura concettuale: un Paradigma per descrivere un insieme di fenomeni. Il paradigma possono essere falsificati dall'esperienza, e qui interviene la ricerca scientifica che produce un nuovo Paradigma capace di rendere ragione dei nuovi fenomeni come di quelli compresi nella teoria precedente.

Lo sviluppo scientifico sarebbe allora costituito da periodi "normali" in cui esiste una teoria dominante all'interno della quale si cerca di risolvere tutti i problemi, e periodi di "Rivoluzione scientifica", in cui il paradigma generale viene rimpiazzato e tutti i fenomeni reinterpretati in un nuovo sistema concettuale. Questa interpretazione manca però di evidenziare il complesso collegamento che le teorie scientifiche hanno l'una con l'altra e con il nostro sapere sul Mondo. Sembra, cioè, che le teorie nascano dal nulla e siano costruzioni mentali indipendenti tra loro.

Feyerabend e Lakatos mettono l'accento sugli innegabili aspetti di discontinuità lungo l'evolversi del pensiero scientifico, trascurando gli aspetti cumulativi e di continuità. Esempio: Newton vuole conciliare l'elettromagnetismo con la meccanica newtoniana. Secondo tali filosofi si dovrebbe non assumere per buoni gli aspetti delle teorie precedenti e generare una struttura concettuale del tutto nuova. Così non è stato: Einstein ha assunto per buone le teorie precedenti ma le ha reinterpretate nel loro aspetto intrinseco per trovare una lettura del mondo che dia comprensione a quanto si osserva.

Non sono, perciò, i dati sperimentali nuovi che producono nuove teorie, ma lo scoprire nelle pieghe del modello concettuale esistente ciò che è nascosto e che va modificato nella visione attualizzata del mondo. In altre parole la risposta sbagliata ad una domanda su ciò che osserviamo non induce a trovare nuove risposte coerenti con un impianto concettuale del tutto nuovo, buttando via ciò che sino ad allora avevamo imparato, piuttosto induce a riformulare la domanda sulla fiducia del sapere accumulato. Questo il succo del processo fondativo scientifico!

Infine, il carattere non Assoluto di ciò che sappiamo non toglie valore a quanto sappiamo. La relatività del nostro sapere sul mondo viene spesso confusa con il relativismo, ossia con la conclusione che tutte le opinioni sono ugualmente vere e che tutti i sistemi di valore sono equivalenti. Tale critica non può applicarsi al sapere scientifico per due ordini di motivi: primo, perché rifiuta qualsiasi Verità, sostituendo essa il Nulla e confutando la nozione stessa di Realtà, secondo perché a sua volta ha la pretesa di porsi come Assoluto. In tale visione si trascura il valore concettuale dell'esperienza che, comunque, consente di verificare con giudizi di merito (vero o falso) la bontà delle sue affermazioni. Il pensiero scientifico, come le altre forme di conoscenza, non è avulso dal contesto storico, politico, di civiltà in cui si sviluppa: è un pensiero di realtà ed è comunque impregnato di giudizi etici, morali, estetici di coloro che lo esprimono; è strutturato sul nostro modo di conoscere, ma si rivela continuamente in aspetti nuovi che ne modificano l'immagine. La Storia e l'esperienza ci hanno insegnato che tali giudizi, come persino la nozione stessa di realtà vengono dati in maniera diversa in contesti culturali diversi, perché diversi sono i tempi e i sistemi di valori in cui sono iscritti.

Oggi più che mai viviamo in una civiltà globale col suo rimescolarsi delle conoscenze su tutti i piani. Il pensiero umano è sempre il prodotto dell'Universo di discorso in cui si sviluppa, ma la sua caratteristica è di dialogare con l'esterno, sia essa la Natura o un'altra Cultura. Essere consapevoli che possiamo aver tanto è cosa completamente diversa dal ritenere che non si possa parlare di torto o ragione, poiché non si tiene in conto il peso della critica e dell'esperienza, che ci consentono di vagliare il valore di verità delle nostre affermazioni, e il fatto che non si può fare a meno di essa.

La questione, perciò, non è scegliere a priori se accettare o comunque rifiutare il diverso: il problema è usare la ragione per saper articolare confronto, dialogo, scelte. Tra il punto di vista dell'esistenza di una Verità assoluta e quello dell'equivalenza di tutti i sistemi di verità, esiste una terza via: quella del confronto, della discussione, della critica, del vaglio delle ipotesi in campo. Questo è il cammino della scienza ed è il profondo insegnamento nell'atteggiamento e nel metodo che dobbiamo alla cultura greca, di cui siamo figli. Per accettare la critica come base del sapere bisogna aver l'umiltà di accettare che quello che oggi ci sembra vero potrebbe rivelarsi falso domani. Rendersi conto di tale processo evolutivo si scontra con il sogno, comune a tante filosofie e religioni, di poter fondare una ricostruzione certa e completa del sapere!

Ma la stessa filosofia ci ha insegnato che non esiste una "religione della conoscenza": non esiste l'osservazione pura che Bacone voleva a fondamento della scienza, né la ragione pura che Cartesio voleva a garanzia della verità. Osservazione e ragione sono gli strumenti più potenti che abbiamo, insieme alla conoscenza accumulata, per far crescere il nostro Spere sul mondo, nell'infinito gioco di incontro e scambio di civiltà che fonda l'avventura umana. Negare questa evidenza storica comporta la tendenza alla Restaurazione di un Pensiero Assoluto, di un'Unica Verità con le paurose conseguenze di un conflitto di civiltà e il pericolo di ricadere in forme di etnocentrismo che non rendono ragione alla storia stessa del pensiero umano.

Per accettare la critica alle nostre certezze non bisogna aver paura che esse possano risultare false, perché le certezze solide sono quelle che accettano di essere criticate continuamente e ne sopravvivono! Certo per incamminarsi su questa strada bisogna avere fiducia nell'Uomo: nella sua essenziale ragionevolezza e onestà nella ricerca della verità. Questo, in sintesi, è l'insegnamento del cammino scientifico come del luminoso Umanesimo delle città greche del VI secolo a. C. Questa è la radice della straordinaria fioritura intellettuale e culturale dei secoli successivi che ancora oggi nutre il mondo contemporaneo, e che riecheggia attuale più che mai nell'assunto di Democrito con cui abbiamo aperto questa conversazione: "Il mondo cambia, la vita è un'opinione che si adegua".