

Prolusione all'inaugurazione dell'Anno Accademico tenuta presso il Camplus Città Studi di Milano il 15 febbraio 2005.

Professor Marco Bersanelli
*Dipartimento di Fisica
Sezione Astrofisica e Fisica del Plasma
Università degli Studi di Milano*

LA RAGIONE ALLE PRESE CON LA RICERCA SCIENTIFICA

Qual è la natura, il comportamento, se così possiamo dire, della nostra ragione quando è alle prese con la ricerca scientifica? Oppure, come accade per la maggior parte di voi, come agisce la ragione quando si cimenta nello studio di materie scientifiche? Lo studio e la ricerca infatti sono aspetti inseparabili, e con evidenti analogie di metodo e di contenuto. Come giunge uno scienziato, o un gruppo di ricerca, a concepire un nuovo esperimento, a scoprire un nuovo fenomeno, a mettere in luce una legge di natura? Qual è la posizione razionale di chi si dedica alla ricerca? E che cosa, in fondo, sta cercando? Sono domande profonde e affascinanti, rispetto alle quali non mi sento certo di dare risposte che pretendono essere definitive o complete. Tenterò piuttosto di portare la mia esperienza non di filosofo o di epistemologo, perché non sono né l'uno né l'altro, ma di uno dei tanti "addetti ai lavori" del mondo della scienza. La mia esperienza di ricerca è nel campo della cosmologia, la scienza che studia l'origine, la struttura e l'evoluzione dell'universo nel suo insieme. Le esemplificazioni saranno quindi per lo più tratte da questo ambito.

Un mare di stelle

L'inizio della nostra chiacchierata è segnato da un'immagine: quella del cielo stellato, da sempre termine privilegiato della curiosità e dell'indagine umana e fonte di meraviglia. Tutta la conoscenza, compresa quella di marca scientifica, ha il suo inizio in una curiosità. Infatti, non si approfondisce se non ciò che provoca un interesse, una qualche attrattiva che di fatto rende l'oggetto degno della nostra attenzione e di una qualche dedizione. Almeno un presentimento di bellezza o di utilità delle cose è indispensabile per muovere l'affezione alla conoscenza. C'è una frase di Max Planck, uno dei più grandi fisici di tutti i tempi, che esprime con semplicità e sintesi questo legame inscindibile tra la ragione e l'affezione di un uomo che conosce: «Chi ha raggiunto lo stadio di non meravigliarsi più di nulla, dimostra semplicemente di aver perduto l'arte del ragionare e del riflettere». La nostra ragione di uomini, e anche di scienziati, è mossa da qualcosa che viene prima della riflessione razionale: è mossa dalla meraviglia per ciò che di bello, notevole, interessante, accattivante la natura mostra. Come, appunto, un cielo stellato visto ad occhio nudo. La curiosità è un tratto caratteristico dell'infanzia e dell'adolescenza, ma rimane tale e si approfondisce come apertura indomabile al reale nell'adulto consapevole, nello scienziato come nell'artista. Essere colpiti dalla bellezza delle cose, attratti dal presentimento di un senso possibile, da un ordine possibile che lega tra loro i fenomeni, è sorgente di quel desiderio di *amicizia* con tutto ciò che esiste che è il desiderio della conoscenza.

Se è abbastanza facile riconoscere che lo stupore accende l'inizio di un processo di conoscenza, spesso si ritiene che l'esito della conoscenza scientifica sia precisamente quello di abolire o comunque ridimensionare quella meraviglia iniziale. Via via che fisici, chimici e biologi sono in grado di "spiegare" i fenomeni trovando leggi quantitative che sottostanno i fatti osservati, non ci sarebbe più posto per lo stupore, si estinguerebbe la curiosità. Ma è proprio così? Dicevamo che forse non c'è scena naturale più suggestiva di un cielo stellato. Da decine di migliaia di anni gli esseri umani sono sottoposti a questo spettacolo quotidiano: la nostra generazione è forse la prima che dopo millenni ne è stata di fatto privata quasi del tutto dall'inquinamento luminoso. Quanta immaginazione deve aver suscitato negli antichi la luce argentea, delicata e persistente, della *Via Lattea* che attraversa il cielo da un capo all'altro. Oggi grazie ai progressi

della scienza possiamo dire della Via Lattea cose che gli antichi non potevano dire, né sono stati in grado di immaginare. Osservando una piccola porzione della Via Lattea con uno dei potenti telescopi che oggi la tecnologia ha messo a disposizione degli astronomi, come i telescopi dell'*European Southern Observatories* in Cile, siamo di fronte a uno spettacolo impressionante. Scopriamo che quanto l'occhio nudo ci consente di scorgere non è che una piccolissima parte della realtà che ci circonda; ci accorgiamo che siamo circondati, o meglio immersi, in un mare di stelle. Se noi ci allontanassimo a grandissima distanza e ci guardassimo indietro il Sole non sarebbe che una stella tra miliardi di altre stelle come un granello di sabbia in una spiaggia, o se preferite una goccia nel mare. Oggi sappiamo che questa immensa distesa di stelle non si estende all'infinito (proprio come un mare è grande ma non infinito), ma si raccoglie a formare una struttura ben precisa, che è la nostra la nostra Galassia (che chiamiamo, appunto, Via Lattea): una enorme girandola di 200 miliardi di stelle, con un diametro di centomila anni-luce (ogni anno-luce è circa 10.000 miliardi di km; significa che un raggio di luce, che percorre 300.000 km ogni secondo, impiega 100.000 anni ad attraversare la nostra Galassia da una parte all'altra). Una varietà di osservazioni accurate che utilizzano non solo luce visibile ma anche radiazione dall'infrarosso al radio, come la riga a 21 cm dell'idrogeno, oggi ci consentono di costruire con precisione una mappa tridimensionale dell'intera Via Lattea e di studiare i complessi movimenti del sistema. Il disco a spirale ruota in modo differenziale intorno a un centro più compatto e con maggiore densità stellare. Il Sole si trova nel ramo cosiddetto di Orione. Noi vediamo il cielo attraversato da altri bracci vicini della grande girandola, detti del Sagittario e di Perseo: sono questi che provocano la luce argentea e diffusa che vediamo ad occhio nudo. Il nostro Sole si trova alla periferia della Galassia, in una regione particolarmente favorevole per il verificarsi di condizioni necessarie per ospitare complessità e vita.

Così oggi sappiamo che quel tenue ponte di luce che chiamiamo Via Lattea "altro non è" che un braccio della nostra Galassia. Forse nessuna cultura pre-scientifica ha avuto abbastanza fantasia per immaginare questo: quella striscia di luce è generata da miriadi di stelle lontanissime. Così il mistero antico della Via Lattea non si dissolve affatto in una spiegazione banale, ma al contrario amplifica a dismisura la visione della vastità e la ricchezza del mondo. La meraviglia iniziale non si disperde, ma ritorna in modo diverso, con maggiore intensità e accompagnata da nuove domande.

Un altro gigante della fisica più vicino ai nostri tempi, Richard Feynman, si esprime così¹: "A una maggiore conoscenza si accompagna un più insondabile e meraviglioso mistero, che spinge a penetrare ancora più in profondità." La percezione di bellezza e di vertigine che la realtà suscita non indietreggiano man mano che la conoscenza scientifica avanza, ma, dice Feynman, diventano sempre più grandi. Lo spettacolo di un arcobaleno non è in nulla ridotto dal conoscere quali delicate leggi fisiche concorrono alla sua comparsa; sarà vero piuttosto che quello spettacolo potrà essere contemplato con maggior spessore. E vi saranno bellezze che un osservatore "scientificamente inconsapevole" non potrebbe neppure notare, e che invece la "coscienza scientifica" del fenomeno può farci apprezzare. Pensiamo ad esempio all'oscurità del cielo notturno: il cosmologo sa che in quell'abisso nero e lontano abbiamo nientemeno che la traccia dell'universo primordiale.

La ragione dunque, svelando le cause dei fenomeni o le leggi che li descrivono, non contraddice la mossa affettiva da cui era partita, ma la rilancia. E infatti l'avventura scientifica prosegue, di domanda in risposta, in nuova domanda; almeno finché ci sarà un soggetto umano sufficientemente incuriosito e appassionato alla corporalità delle cose. Credo che questo sia un aspetto culturalmente rilevante a riguardo della ragione alle prese con la scienza. La spiegazione scientifica intesa da una ragione aperta non conduce a una riduzione della realtà, ma è un possibile approfondimento del rapporto con essa. La percezione della bellezza non è circoscritta ma esaltata dalla conoscenza delle leggi di natura: essa rappresenta un'occasione per accrescere l'intensità del carattere estetico del reale.

¹ Richard Feynman, "The Value of Science", in *Frontiers in Science: A Survey*, a cura di E. Hutchings, Basic Books, New York, 1958.

Osservare è meno facile che ragionare

Un po' come un bimbo stupito e attratto da qualcosa che vede tende verso l'oggetto e sgrana gli occhi, analogamente lo scienziato incuriosito da un certo fenomeno fisico cerca di affinare la sua *osservazione* desiderando comprendere di che si tratta. L'osservazione è un aspetto fondamentale della dinamica conoscitiva della ragione, non solo nel campo della scienza. Saper osservare non è un fatto istintivo: richiede predisposizione, e anche un lavoro, un allenamento almeno pari a quelli richiesti dallo sviluppo analitico di una ipotesi. Ha scritto Alexis Carrel, premio Nobel per la medicina: "Ci siamo confinati nelle astrazioni anziché andare incontro alla realtà concreta. Certo, è difficile cogliere la realtà concreta e il nostro spirito sceglie il minimo sforzo. Forse la pigrizia naturale dell'uomo gli suggerisce la semplicità dell'astratto anziché la complessità del concreto. È meno arduo salmodiare formule o sonnacchiare sui principi che cercare laboriosamente come sono fatte le cose e quale sia il metodo per servirsene. Osservare è meno facile che ragionare. È risaputo che scarse osservazioni e molti ragionamenti sono causa di errore. Molta osservazione e poco ragionamento conducono alla verità. Ma sono assai più gli spiriti capaci di costruire un sillogismo che quelli che sanno cogliere esattamente il concreto."²

La ragione alle prese con l'indagine scientifica necessariamente deve ricercare e sistematicamente perseguire la propria sottomissione al dato osservato. La prevalenza dell'osservazione sul ragionamento reclamata in queste parole di Carrel non è certo uno sminuire il valore della capacità logica della ragione: si tratta invece di rendersi conto che ogni momento della conoscenza richiede una tenace attaccamento al dato osservato nella sua completezza. Lo scienziato quasi "istintivamente" dovrebbe desiderare questo serrato paragone con il dato osservato. Osservare non è uguale a vedere, se per "vedere" intendiamo la pura capacità di registrare un avvenimento esterno attraverso gli occhi, il cervello e tutta la fisiologia del caso. Il livello del vedere che chiamiamo osservazione implica guardare l'oggetto con una prospettiva di significato che va oltre la semplice annotazione del dato: implica la speranza (implicita o esplicita) di conoscere, di possedere, di conquistare l'oggetto, vale a dire di coglierne il nesso con la totalità.

Verso confini sempre più grandi

Fin dagli albori dell'umanità, l'attitudine all'attenzione ai fatti e all'osservazione fa parte del nucleo elementare dell'approccio della ragione tesa alla conoscenza. Probabilmente un'attenzione acuta a fenomeni naturali particolarmente impressionanti o attraenti già caratterizzava gli ominidi più evoluti. Possiamo solo immaginare il terrore misto ad ammirazione dei primi umani improvvisamente spettatori di un'eclisse totale di sole. Vi sono testimonianze che risalgono fino a 30 mila anni fa interpretate da alcuni studiosi come riflesso dell'osservazione della fasi lunari³ da parte di gruppi preistorici. E sappiamo per certo che le antiche civiltà come quella Egizia o Babilonese cinque millenni fa avevano sviluppato osservazioni astronomiche sistematiche. Non è certo questa la sede per un descrizione dettagliata, ma è istruttivo andare rapidamente a ritroso nei secoli per vedere come l'osservazione ha via via esteso i confini dell'universo conosciuto in senso quantitativo.

Il primo oggetto di scala astronomica di cui furono misurate le dimensioni è il nostro pianeta, da parte di Eratostene di Cirene (273-192 a.C.), che sfruttò con genialità il passaggio del Sole sul meridiano di Alessandria nel giorno del solstizio d'estate, sapendo che nello stesso momento il Sole era allo Zenith nella città di Aswan, la quale si trova precisamente a Sud di Alessandria e a una distanza di circa 800 km. Un'osservazione geniale che, per quanto ne sappiamo, ha inaugurato l'epopea umana della misura delle distanze astronomiche. Fu invece Aristarco di Samo (310-230 a.C) a stimare la distanza del Sole. Sebbene le stime di Aristarco sottostimassero la distanza del sole (che oggi sappiamo essere circa 150 milioni di km) di un

² Alexis Carrel, *Riflessioni sulla condotta della vita*, Bompiani, Milano 1953, pp.27ss.

³ Si veda ad esempio John Barrow, *The artful Universe*, Oxford 1995, pp. 126-132.

fattore circa 20, esse furono sufficienti a mostrare che il Sole è molto più distante e più grande della Luna: fu probabilmente questo un indizio che condusse Aristarco alla sua famosa ipotesi eliocentrica. Dopo le incerte stime delle distanze nel sistema solare, basate su osservazioni ad occhio nudo, occorre attendere quasi due millenni, fino all'inizio del 1600, quando le osservazioni furono innalzate dall'introduzione del cannocchiale. Da allora abbiamo assistito a una formidabile impennata: abbiamo imparato a misurare la distanza delle stelle (prima usando metodi geometrici, poi basandoci su conoscenze sempre più profonde delle proprietà fisiche di varie classi di stelle dalle quali è possibile estrarre la loro luminosità assoluta e quindi la distanza), poi delle Galassie più vicine risolvibili in stelle, per spingerci poi alle galassie e quasar a distanze cosmologiche (centinaia di milioni, e poi miliardi di anni luce) sfruttando la legge di espansione. Oggi i confini dell'universo osservabile si spingono fino alla cosiddetta superficie di ultima diffusione, da cui riceviamo la luce fossile residuo della fase calda e densa dell'universo primordiale, che ha viaggiato per 14 miliardi di anni prima di raggiungere i nostri strumenti. Così, dall'introduzione del cannocchiale ad oggi, in meno di quattro secoli la nostra profondità di osservazione dell'universo è aumentata di 15 ordini di grandezza: un milione di miliardi di volte.

L'osservazione sfocia senza soluzione di continuità nell'*esperienza*, cioè in quella attività caratteristica della conoscenza scientifica che consente di osservare in modo selezionato e vantaggioso il fenomeno particolare che si sta indagando. Consideriamo ad esempio il telescopio spaziale Hubble e i suoi sofisticati strumenti di rivelazione; oppure le missioni spaziali WMAP e Planck Surveyor per la misura della luce fossile del big bang; o ancora i grandi acceleratori di particelle del CERN. Questi strumenti, in un certo senso, non sono altro che la materializzazione di un certo numero di domande che gli scienziati si sono posti: Come si formano le stelle? Vi sono pianeti intorno ad esse? Di che natura è la materia oscura? Come evolvono le galassie nel tempo? Qual è il destino dell'espansione dell'universo? Esiste davvero una energia oscura, e di che si tratta? Quali sono i costituenti ultimi della materia? Qual è la natura della massa delle particelle? Ciascuna di queste domande ha in qualche misura determinato le caratteristiche particolari (i cosiddetti "requisiti scientifici") con cui quegli strumenti sono stati concepiti, progettati, realizzati e verificati. I ricercatori si sono inventati strumenti di varia natura, a volte (specie nel passato) semplici e ingegnosi, altre volte (sempre più di frequente) tanto sofisticati e costosi da richiedere lo sforzo congiunto di centinaia di persone di molti paesi diversi e per molti anni.

Un nuovo territorio disteso davanti ai miei occhi

Quando siamo fortunati, e qualche volta questo succede, l'osservazione e l'esperienza conducono all'esito sperato: una scoperta. Il più delle volte si tratta di scoperte "microscopiche", nel senso della loro impercettibile rilevanza per l'avanzamento della conoscenza. Ma sta di fatto che tale avanzamento è tutto fatto di occasioni, piccole e grandi, nelle quali un certo aspetto della realtà trova il varco giusto e irrompe nell'orizzonte dell'esperienza. Talvolta la scoperta accade come termine sospirato di una lunga e laboriosa ricerca mirata a verificare un'ipotesi ben definita. Altre volte invece arriva come una bella notizia inattesa, un'evidenza improvvisamente introdotta da fattori casuali e imprevedibili. Ma in entrambi i casi si tratta di qualcosa che "accade" e che introduce una discontinuità irriducibile a quanto era precedentemente conosciuto. Anche quando si studia è così. Si può andare avanti per giorni o settimane o mesi su un teorema che non si capisce, poi quasi d'improvviso qualcosa cambia in noi e la nebbia si dirada.

Talvolta quell'incontro ravvicinato con il reale che è la scoperta, ha le caratteristiche intense del grande imprevisto. È il caso della celebre scoperta del fondo cosmico di microonde, la cui vicenda è istruttiva e anche controversa. Nella primavera 1964 Arno Penzias e Robert Wilson, due radioastronomi del Bell Laboratory a Crawford Hill, nel New Jersey, sono protagonisti di una scoperta destinata a dare un impulso straordinario alla cosmologia, impulso a tutt'oggi lungi dall'essersi esaurito. Come ha scritto Dave Wilkinson al riguardo, "forse tutte le scoperte scientifiche hanno in sé qualche elemento di una buona storia di mistero, questa sicuramente!" Penzias e Wilson erano alle prese con un'antenna originalmente progettata per un programma

di telecomunicazioni satellitari, connessa a un ricevitore a basso rumore a una frequenza di circa 4 GHz, quando registrarono un segnale tenue e diffuso proveniente da tutte le direzioni del cielo, corrispondente a una temperatura di circa 3 Kelvin, il quale non era spiegabile con nessuna sorgente nota. La cosa lasciò a lungo perplessi i due scienziati, che verificarono attentamente ed escludono ad una ad una tutte le cause di origine strumentale, terrestre o astrofisica. Sullo stesso numero dell'*Astrophysical Journal* in cui Penzias e Wilson riportarono la loro enigmatica evidenza sperimentale⁴, compariva un articolo di Robert Dicke e collaboratori dell'Università di Princeton, con i quali Penzias e Wilson erano entrati in contatto, nel quale si avanzava l'ipotesi che quella tenue energia nelle microonde, fosse un residuo della fase calda e primordiale dell'universo⁵. Il gruppo di Princeton proprio in quei mesi stava preparandosi a un esperimento che verificasse la presenza di un tale fondo di radiazione, previsto dai loro studi teorici sul big bang caldo! Ma, ad aggiungere movimento alla storia, sia i gruppi di Princeton che del Bell Lab erano ignari del fatto che quasi vent'anni prima, alla fine degli anni '40, George Gamow⁶ e collaboratori⁷ avevano previsto l'esistenza di quel fondo diffuso di origine cosmologica con una temperatura di 5-7 Kelvin. Nel 1975 Penzias e Wilson ricevettero il premio Nobel per la loro scoperta, che potremmo senz'altro qualificare come fortunosa. Certamente i due ebbero la buona sorte di imbattersi in quel fantastico indizio non cercato, ma va loro riconosciuto un merito grande: l'abilità e la perseveranza di indagare fino in fondo quella anomalia, evitando di relegarla nel margine di un effetto secondario insignificante. È interessante notare, a posteriori, che negli anni precedenti altre osservazioni avevano rivelato la presenza di un eccesso di background nelle microonde, ma la cosa non aveva mai trovato la necessaria attenzione. A volte la novità interviene in un modo inatteso, ma come ha notato acutamente il biologo William Beveridge "La casualità favorisce solo coloro che la sanno corteggiare." In quel "corteggiare" sta tutta la simpatia istintiva di uno scienziato per la realtà come un *dato* che può talvolta farsi avanti anticipando le nostre domande. Solo laddove vi è un atteggiamento razionale profondamente aperto e al tempo stesso teso al rigore metodologico dell'indagine scientifica l'imprevisto può divenire preziosa occasione di scoperta; diversamente esso rappresenterà soltanto una ulteriore fonte di errore o di confusione.

Ma anche quando la scoperta è l'esito di un paziente e mirato percorso, e la preda catturata è proprio quella che stavamo inseguendo, l'esito raggiunto porta con sé novità e sorpresa. All'inizio del secolo appena trascorso nella comunità degli astronomi vi fu quello che è passato alla storia come "il grande dibattito", la disputa scientifica tra coloro che come Harlow Shapley ritenevano che la nostra Galassia sostanzialmente coincidesse con l'intero universo, e coloro che come Heber Curtis invece credevano che le nebulose a spirale fossero degli "universi isola", oggetti esterni e molto distanti della stessa natura della nostra Via Lattea. Com'è noto furono Edwin Hubble e Milton Humason nel 1922-24 a dirimere la questione identificando, grazie a precise osservazioni con il nuovo telescopio di Monte Wilson, alcune variabili Cefeidi nella nebulosa di Andromeda, ampliando così d'improvviso le dimensioni dell'universo noto di oltre un ordine di grandezza. Da allora nuove e sempre più sensibili osservazioni ci hanno consentito di scrutare uno spazio popolato da miliardi di galassie. "Immaginate durante gli anni Venti di essere all'interno della cupola del telescopio da 60 pollici su Monte Wilson. Uno degli uomini che aveva guidato i muli che trasportarono i pezzi di quello stesso telescopio da 60 pollici, lungo la vecchia pista di Monte Wilson, era Milton Humason. Humason restò all'Osservatorio per diventare custode e, poi, assistente notturno al telescopio. Alla fine divenne segretario dell'Osservatorio e un valido e famoso astronomo. Humason era allora un assistente osservatore e possiamo immaginarlo accompagnare il ben noto astronomo della Carnegie in quella cupola, Harlow Shapley. Humason mostra a Shapley le stelle che aveva trovato nella Nebulosa di Andromeda, che apparivano e sparivano sulle fotografie di quell'oggetto. Il famoso astronomo assai pazientemente spiega che gli oggetti potrebbero non essere stelle, in quanto la Nebulosa era una nube gassosa assai vicina, all'interno del nostro sistema della Via Lattea. Shapley prende il suo fazzoletto dalla tasca e cancella i segni di identificazione sul dorso della lastra fotografica. Naturalmente, nel 1924, arrivò Hubble e

⁴ A. Penzias & R. Wilson, *The Astrophysical Journal*, 142 (1965) p. 419.

⁵ R. Dicke, J. Peebles, E. Roll, D. Wilkinson, *The Astrophysical Journal*, 142 (1965) p. 414.

⁶ George Gamow, *Physical Review*, 74 (1948) 506.

⁷ R.A. Alpher & R.C. Herman, *Nature*, 162 (1948) 774.

dimostrò che erano proprio stelle variabili Cefeidi nella Nebulosa di Andromeda, a dimostrare che si trattava di un sistema separato di galassie. La scoperta permise a Hubble di fare la rivoluzione più fondamentale nella scienza del nostro tempo. Questa storia propone molte conclusioni. I telescopi non fanno grandi scoperte, sono le persone a fare grandi scoperte. Inoltre, le persone fanno grandi scoperte notando qualcosa che non dovrebbe essere lì, ma c'è, e quindi seguendola."⁸.

In ogni scoperta, la ragione si trova di fronte a qualcosa che c'era già, un "dato" di cui diviene ad un certo punto consapevole. Werner Heisenberg, uno dei padri della meccanica quantistica, usa addirittura la parola "dono" per esprimere la natura del fatto oggettivo che emerge alla sua coscienza⁹: "Le ultime settimane sono state molto entusiasmanti per me. E forse posso illustrare nel modo migliore ciò che ho sperimentato attraverso un'analogia: quella del tentativo di un'ascesa al picco fondamentale ancora sconosciuto della teoria atomica, tentativo che mi è costato grandi sforzi durante gli ultimi cinque anni. E ora che il picco è proprio davanti a me, l'intero territorio dei rapporti interni nella teoria atomica è improvvisamente e chiaramente disteso dinanzi ai miei occhi. Che questi rapporti interni mostrino, in tutta la loro astrazione matematica, un grado incredibile di semplicità, è un dono che noi possiamo solo accettare con umiltà. Neppure Platone avrebbe potuto credere che essi fossero così belli. Questi rapporti, infatti, non possono essere inventati; essi esistono dalla creazione del mondo."

E' un fatto del tutto sorprendente che la realtà *si lasci conoscere*, cioè che l'impresa scientifica nel suo complesso sia possibile. Ciò infatti richiede non solo che vi sia un ordine nella realtà, ma anche che la naturale ragione umana, sia in grado di stabilire un rapporto. Einstein, in una delle sue più riuscite sintesi, ha affermato che "la cosa più incomprensibile nell'universo è il fatto che esso sia comprensibile". La nostra ragione è quindi in grado di paragonarsi in qualche modo ad ogni aspetto della realtà fisica: un microbo, una galassia, l'universo di 15 miliardi di anni fa. Vi è un ordine insito nella realtà, e questo ordine per motivi che noi non comprendiamo, in modo assolutamente "gratuito", è accessibile alla nostra ragione. La fiducia in un tale ordine è in ogni caso essenziale incominciare l'avventura della conoscenza. Credo che l'esperienza di un ricercatore, ma anche quella di uno studente, sia quella di esser tesi a qualcosa di nuovo nel rapporto con l'oggetto di ricerca o di studio, l'attesa di una "discontinuità" nel rapporto con quell'oggetto che introduca un autentico passo di conoscenza. D'altra parte la realtà fisica ci appare anche irraggiungibile nella sua consistenza ultima. Si ha l'impressione che il livello ultimo del reale sia sempre oltre ciò che la ragione può definire e comprendere. C'è sempre una "terra incognita", un livello inarrivabile.

La realtà è dunque al tempo stesso accessibile e inarrivabile. Così la ragione che seriamente ricerca scopre la natura della realtà come *mistero*: essa esiste, con essa la ragione stabilisce un rapporto di genuina conoscenza, ma ultimamente sfugge alla sua comprensione completa. Come se ogni nostra conoscenza o conquista rimandasse inesorabilmente a un oggetto ultimo, ulteriore, nascosto. Questa è la condizione avvincente di chi si impegna nella ricerca, e nello stesso tempo umiliante, nel senso che ci rende umili di fronte a una creazione la cui natura ultima è sempre esuberante rispetto ad ogni nostra capacità definitoria o creativa. A mio parere, ben lungi dall'essere una condizione frustrante, questa è piuttosto una condizione "avventurosa".

Un tremore che attraversa tutto lo spazio e tutto il tempo

I cenni fatti suggeriscono che l'esperienza della ricerca implica o richiede un concetto di ragione ben più vasto della sola ragione come 'misura', definizione o deduzione: l'avanzare della ricerca richiede curiosità, osservazione, apertura, tensione a un significato possibile. Di

⁸ La pagina citata è tratta da Halton Arp, *La contesa sulle distanze cosmiche e le quasar*, Jaca Book, Milano, 1989, p. 213. Vari resoconti storicamente completi di questa vicenda sono stati pubblicati. Per una gustosa ricostruzione si veda Edward (Rocky) Kolbe, *Blind watchers of the sky*, Addison-Wesley, 1996.

⁹ Werner Heisenberg, citato in Hideki Yukawa, *Tabibito (The Traveler)*, World Scientific Publishing, Singapore 1982, p. 207.

fronte all'ordine e alla bellezza dell'universo che la scienza aiuta ad apprezzare siamo tutti posti di fronte a un interrogativo quasi inevitabile: c'è un senso, oppure no, in tutto questo? Questo universo così straordinariamente congegnato, miracolosamente capace di ospitare vita e complessità, è semplicemente qualcosa da accettare come fatto brutto o tutto ciò punta ad una spiegazione ulteriore? Sono domande che la ragione urge, anche se sconfinano dall'ambito del metodo scientifico.

Uno degli aspetti più fertili a questo riguardo, certamente non l'unico, emersi dal fronte scientifico negli ultimi decenni riguarda il nesso tra l'evoluzione e struttura dell'universo nel suo insieme e la presenza in esso della complessità, della vita e della coscienza. La cosmologia è piena di domande aperte, ma oggi ci consente di tracciare un quadro abbastanza consolidato delle tappe fondamentali della storia cosmica, a partire dai primi minuti dopo il big bang fino ad oggi. Speculazioni teoriche, forse verificabili sperimentalmente in un prossimo futuro, ci conducono fino alle primissime frazioni di secondo dopo l'inizio, quando l'espansione potrebbe aver attraversato una fase, detta "inflazione", che avrebbe fissato alcune proprietà globali decisive per l'evoluzione cosmica successiva. E' straordinario rendersi conto che in questo poderoso movimento cosmico il nostro esserci, in un momento particolare del tempo e dello spazio, si appoggia su eventi e strutture profonde dell'universo (in particolare le costanti di natura e la forma delle leggi fisiche) senza le quali la complessità e la vita non sarebbero possibili. Prendiamo ad esempio (uno dei moltissimi che potremmo fare) l'ampiezza delle irregolarità primordiali di densità, che costituiscono gli "embrioni" delle strutture cosmiche attuali che la forza di gravità ha accresciuto nel tempo. I fotoni del fondo cosmico di microonde tracciano tali increspature primordiali della densità, in quanto hanno viaggiato pressoché indisturbati per il 99.998% dell'età dell'universo portandoci una vera e propria immagine diretta di quell'universo neonato. Le attuali mappe ci mostrano un livello di fluttuazione di una parte su centomila. Ebbene, se il contrasto di densità fosse stato significativamente più grande la successiva evoluzione avrebbe condotto alla formazione di oggetti collassati e buchi neri; se invece fosse stata più piccola, le strutture semplicemente non avrebbero avuto opportunità fisica di formarsi e l'universo si sarebbe ridotto a un banale gas di idrogeno, elio e tracce di altri elementi leggeri in perenne espansione.

Oggi la scienza quasi costringe la nostra ragione di uomini moderni a porsi con nuova forza e drammaticità domande semplici e antiche come la civiltà umana, qualunque sia la nostra posizione filosofica di partenza: quale rapporto c'è tra la vastità del cosmo e la nostra effimera esistenza? C'è una direzione e un senso nello sviluppo della natura? Che posto occupa la vita, e quel punto vertiginoso che è la coscienza umana, nell'economia dell'universo? Non pochi scienziati moderni si sono posti esplicitamente di fronte a questi quesiti fondamentali con apertura e profondità. Maria Mitchel, per esempio così si è espressa¹⁰: "Questi immensi spazi della creazione non possono essere misurati dalla nostra limitata potenza [...]. Eppure, piccola com'è la nostra realtà rispetto all'infinità della creazione, breve com'è la nostra vita in paragone ai cicli del tempo, noi siamo così impastati con il tutto [...] che non solo la caduta di un passero è sentita fino agli estremi confini, ma la stessa vibrazione delle parole che noi gridiamo riempie tutto lo spazio, e il suo tremore attraversa tutto il tempo." Un cosmologo contemporaneo come Paul Davies, a proposito della sottigliezza con cui le leggi fisiche appaiono alla nostra ragione, ha osservato¹¹: "Chiaramente l'universo è ordinato in una maniera molto particolare. Se non fosse così, forse non sarebbero esistiti esseri coscienti in grado di contemplare questo fatto [...]. Gli esseri umani possono discernere le leggi fondamentali che governano l'universo, le stesse leggi che hanno facilitato in primo luogo l'emergere della nostra coscienza. Tali leggi perciò sono doppiamente speciali."

Viktor Weisskopf, altra colonna della meccanica quantistica, afferma: «Ogni scienziato intuisce un senso, coscientemente o incoscientemente; se così non fosse non andrebbe avanti con quel fervore così comune tra gli Scienziati nella sua Ricerca di qualche cosa che egli chiama Verità.» Ma naturalmente c'è tutto il ventaglio di posizioni che la libertà umana assume davanti a questi

¹⁰ Maria Mitchel, cit. in Mario Livio, *The Accelerating Universe*, John Wiley & Sons, Inc., New York 2000, p.265.

¹¹ Paul Davies, *The intelligibility of Nature*, in *Quantum Cosmology and the Laws of Nature*, Ed. R.J. Russel, N. Murphy & C.J. Isham, Vatican Observatory Foundation, 1993, pp.157ss.

interrogativi. Sul fronte degli scettici, è rimasta famosa la pagina di Steven Weinberg¹²: "Qualunque modello cosmologico finisca col rivelarsi esatto, la soluzione trovata non potrà darci alcun conforto. [...] Mentre scrivo queste righe mi trovo su un aereo che vola a 9000 metri di quota nel cielo del Wyoming, diretto da San Francisco a Boston. Sotto di me la terra appare dolce e confortevole: qua e là sono sospese soffici nubi, che il sole declinante tinge di rosa; la campagna è attraversata da strade rettilinee che collegano una città all'altra. E' molto difficile rendersi conto che tutto ciò è solo una parte di un Universo estremamente ostile. Ancora più difficile è rendersi conto che l'Universo attuale si è sviluppato a partire da condizioni indicibilmente strane e che sul suo futuro incombe un'estinzione caratterizzata da un gelo infinito o da un calore intollerabile. Quanto più l'Universo ci appare comprensibile, tanto più ci appare senza scopo." E' interessante che qualche anno dopo, lo stesso Weinberg commentando le reazioni di vari suoi colleghi a quella sua affermazione di apparente assenza di scopo nell'universo, ha scritto: "La risposta che mi è piaciuta di più è stata quella dell'astronomo Gerard de Vaucouleurs, mio collega all'università del Texas, il quale disse di trovare «nostalgica» la mia osservazione. Lo era davvero; era piena di nostalgia per un mondo nel quale i cieli narravano la gloria di Dio."¹³ Anche al bordo ultimo della posizione più scettica non viene meno questa ultima nostalgia di un senso, o almeno di un tempo in cui il senso era considerato possibile. Ma non c'è ragione per rifiutare la possibilità di un significato profondo e misterioso alla storia dell'universo e alla presenza umana in esso. Einstein, in un passaggio altrettanto famoso, ha scritto¹⁴ "La più bella e profonda emozione che possiamo provare è il senso del Mistero. Sta qui il seme di ogni arte, di ogni vera scienza."

Viviamo in una mentalità nella quale la ragione è assunta come il discriminante del reale: esiste ed è conoscibile ciò che rientra nell'ambito delle capacità di misura e di dimostrazione della nostra ragione; non esiste (oppure è irrilevante) ciò che le sfugge. Questa mentalità nasce almeno in parte da una esasperazione del metodo scientifico, esasperazione forse favorita dagli straordinari successi della scienza e della tecnologia negli ultimi quattro secoli. Ma l'esperienza mostra con forza che la realtà è molto più vasta, ricca e imprevedibile di quanto la "ragione scientifica" possa comprendere, misurare, definire. Non solo: un'accezione di ragione ridotta a capacità di misura o dimostrazione è troppo ristretta anche per descrivere in modo credibile anche la dinamica della conoscenza nel pur ristretto ambito scientifico. Contrariamente a una percezione diffusa, infatti, la ragione impegnata in campo scientifico è inscindibile dalla capacità affettiva ed estetica propria dell'essere umano. La disponibilità a lasciarsi stupire, direi quasi "commuovere", dai fenomeni naturali, anche da quelli apparentemente scontati, sembra essere parte necessaria del movimento della ragione impegnata nella ricerca. Un'accezione ristretta di ragione è insufficiente a spiegare il fenomeno scientifico come fenomeno.

E' anche diffusa l'opinione secondo cui l'avanzare della scienza coinciderebbe con il retrocedere inesorabile del senso di bellezza e di mistero nel nostro rapporto con il mondo naturale. Ma l'esperienza di molti ricercatori sembra indicare piuttosto il contrario. La scoperta è l'irrompere della novità in un modo che non può essere ridotto alla somma dei passi effettuati o delle congetture escogitate, per quanto geniali queste possano essere. L'esperienza scientifica considerata senza pregiudizio appare così come un'avventura intensamente umana. Dall'interno dei limiti ristretti determinati dal suo metodo essa è in grado di condurre a elementi genuini di conoscenza dell'Universo, non ottenibili con altre vie d'indagine, che possono contribuire a farci apprezzare la generosità e la sapienza con cui la creazione è stata concepita.

Grazie.

¹² Steven Weinberg, *I primi tre minuti*, Mondadori, Milano 1977, ristampa 1980, p.170.

¹³ Steven Weinberg, *Il sogno dell'unità dell'universo*, Mondadori, Milano 1993, pp. 263-264.

¹⁴ Denis Brian, *Einstein: a life*, Wiley, New York 1996, p.234.

DOMANDE AL TEMINE:

Domanda:

"Lei ha parlato di misure; quando è stato misurato che la Luce va a 300.000 km/s ?"

Risposta:

"La prima misurazione, anche se non molto precisa, fu fatta verso la fine del 1600 da Ole Römer, studiando le orbite dei satelliti di Giove. La cosa importante di quella misura, più che il valore preciso della velocità della luce, fu la dimostrazione che la luce viaggia a una velocità finita, cosa niente affatto ovvia allora. Römer fu in grado di individuare l'anomalia temporale dovuta alle diverse distanze che Giove assume dalla Terra in diversi periodi dell'anno: misurando il ritardo nella scomparsa di uno dei satelliti dietro al disco di Giove, e conoscendo le leggi della Meccanica che permettono di ricostruire in modo estremamente accurato il moto dei satelliti, gli fu possibile risalire alla velocità della luce. Il metodo è semplicissimo e geniale: il ritardo misurato del segnale luminoso, una volta nota la differenza delle distanze, conduce a una misura della velocità della luce. In seguito sono state eseguite misure molto più accurate e ai nostri giorni abbiamo misure precise fino a 1 metro al secondo, sui circa 300.000 mila km al secondo (una precisione superiore a una parte su cento milioni!).

È interessante notare che esistono oggi motivazioni cosmologiche per domandarsi se effettivamente la velocità della luce sia rimasta costante nella storia dell'Universo: ci sono tentativi di considerare la velocità della luce come un valore che cambia nel tempo. In particolare, una velocità della luce variabile in un brevissimo lasso di tempo iniziale (dell'ordine di 10^{-35} secondi), potrebbe rendere ragione di alcune caratteristiche peculiari dell'universo, che oggi osserviamo, in maniera alternativa alla teoria dell'inflazione, a cui abbiamo accennato prima.

Quindi quella che noi effettivamente misuriamo con precisione è la velocità della luce nell'universo attuale. Per altri periodi, e in particolare per l'universo primordiale, la questione è aperta. Chiunque di voi abbia idee in merito è il benvenuto!"

Domanda:

"Quando lei cerca, e osserva fenomeni dalle grandiose dimensioni, non prova un minimo di paura ?"

Risposta:

"Più che di paura forse parlerei di 'vertigine'. Lavorando su queste cose ci si abitua a ragionare e discutere con ordini di grandezza di questo tipo. Ma finché non si fa "mente locale", i numeri sono solo numeri. Nel momento in cui ci si ferma un istante a riflettere, a provare a immaginare rendendosi conto della realtà di queste cose, c'è sicuramente un senso di vertigine, che non è dato tanto dal numero in sé ma dalla coscienza della grandezza effettiva che sta dietro quel numero.

Questo percezione di grandezza, di maestosità del cosmo, e anche di vertigine o sproporzione, una volta che si è sviluppato nei confronti della vastità dell'universo e alla complessità della sua evoluzione, si ritrova anche nelle cose più prossime. Se voi guardate per esempio un fiore o un filo d'erba, e avete un poco di coscienza del travaglio cosmico, dal punto di vista puramente fisico, che è stato necessario per produrre (o per consentire l'esistenza) di quel singolo filo d'erba, avete una nuova percezione della consistenza di quel filo d'erba. Perché ci si rende conto di come in realtà la storia dell'universo che noi studiamo ha valore perché rende possibile tutto ciò che ci circonda nel presente. A cominciare da noi stessi, che valiamo molto di più di molti fili d'erba. Gli eventi anche comuni, come la nascita di una vita, assumono una

rilevanza quasi sconcertante nel quadro della totalità della storia cosmica – qualcosa di grandioso e prossimo al tempo stesso.”

Domanda:

“Lei ha parlato di rappresentazioni degli stadi evolutivi dell'Universo tramite la Radiazione di Fondo a partire da 380.000 anni dalla sua 'nascita'. Ma anche per i primissimi istanti di vita dell'universo, ci sono solo teorie o anche dati tangibili ?”

Risposta:

“L'ultima frontiera di quello che possiamo osservare direttamente è l'universo come ci viene mostrato dalla Radiazione di Fondo; perché non si può vedere quello che c'era prima? Perché prima dei 380.000 anni (comunque poca cosa rispetto ai circa 14 miliardi di anni dell'età attuale: come le prime ore di vita rispetto a un adulto di 50 anni) l'universo era troppo caldo e troppo denso per permettere alla luce di propagarsi. La materia esisteva al solo stato di *plasma* uno stato in cui i nuclei e gli elettroni non si legano fra loro a causa dell'alta temperatura, proprio come succede nel Sole e nelle altre stelle. Espandendosi l'universo si raffredda sempre di più, diciamo che diviene sempre “meno caldo”, finché dopo 380.000 anni il plasma si trasforma in materia neutra (per la prima volta si formarono gli atomi!) e l'universo da opaco è diventato trasparente alla radiazione luminosa. Cercare di vedere osservare qualcosa prima di quell'epoca sarebbe come cercare di osservare l'interno del Sole, che essendo fatto di plasma è opaco alla sua stessa luce. Ciò che vediamo del Sole infatti ci viene dalla fotosfera, la sua parte più esterna e unica visibile, non vediamo direttamente gli strati interni. Analogamente, la regione cosmica da cui riceviamo la Radiazione di Fondo può essere assimilato ad una enorme fotosfera opaca, con un raggio di 14 miliardi di anni-luce, che ci circonda in tutte le direzioni. Quindi ciò che l'universo è stato nei primi 380 mila anni lo dobbiamo tentare di dedurre dai dati che abbiamo dal fondo cosmico, analogamente a come noi possiamo farci un'idea di com'è strutturato l'interno del Sole osservando la luce che ci viene dalla fotosfera e utilizzando le nostre conoscenze di fisica stellare. Oggi abbiamo un'ottima confidenza su fenomeni che sono accaduti appena qualche secondo dall'inizio dell'espansione. Può sembrare strano, e in effetti lo è, ma è più facile ricostruire la storia primordiale dell'universo nei suoi primi momenti che cercare di capire come si sono formate le galassie nei miliardi di anni successivi. Il motivo è che nei primi tempi le cose sono molto più semplici e lineari, mentre poi diventano più complesse. Forse vale ancora l'analogia con la vita di una persona... Comunque noi ritroviamo vari indizi straordinari che combaciano tra teoria e osservazione: ad esempio è possibile dalla teoria ricostruire la quantità di Elio che si dev'essere formato nei primissimi minuti di vita dell'universo, e questa quantità corrisponde mirabilmente al valore osservato.”

Domanda:

“Com'è possibile misurare intervalli di tempo come 10^{-35} secondi ?”

Risposta:

“Non si misurano intervalli di tempo di questo genere. Ma se uno crede nella teoria, può arrivare a prevedere quello che è accaduto in quel tempo così piccolo e così remoto. Il punto è che alla scala di energie corrispondente a quel tempo iniziale potrebbe essersi verificato, in base a teorie tuttora da verificare, il fenomeno dell'inflazione, una espansione esponenziale dello spazio. Questa spiegherebbe un certo numero di caratteristiche che riscontriamo nell'universo attuale, e che sono difficili da spiegare in altro modo. La domanda è: è ragionevole credere a una tale teoria? Abbiamo sufficienti elementi sperimentali per sostenerla? Ecco, oggi su questo nessuno ci mette la mano sul fuoco, e nemmeno io! Ma forse in un futuro non troppo lontano potremo avere più elementi di oggi per giudicare.”

Domanda:

“È possibile individuare una 'posizione' dell'entità iniziale che concentrava in sé la massa dell'universo? Ci sono teorie a riguardo ?”

Risposta:

“Quello che noi immaginiamo pensando al *Big-Bang* è uno spazio vuoto con un agglomerato di materia da qualche parte, che ad un certo istante inizia ad espandersi nello spazio circostante: ecco, questo è sbagliato! Non è corretta la stessa idea di 'spazio' implicita in questa immagine delle cose; non esiste infatti uno spazio preesistente nel quale la materia si espande: ad espandersi è lo spazio stesso! Non è facile da immaginare, ma la teoria della Relatività Generale di Einstein descrive tutto questo in maniera molto rigorosa, e anche relativamente semplice. Bisogna accettare che non esiste uno spazio '*fuori dall'universo*', e quindi non c'è un bordo dell'espansione. Tutto l'universo si espande in ogni suo punto, e ogni punto vede l'universo espandersi intorno a sé.

Si può fare un'analogia bidimensionale con un palloncino, pensando però non al volume ma alla superficie del palloncino. La superficie della sfera del palloncino non ha alcun confine, è limitata (tutti sanno che vale $2\pi r^2$) ma non è rintracciabile in essa alcuna frontiera: camminandoci sopra una formica non troverebbe mai alcun ostacolo o discontinuità; disegnando poi una serie di punti sulla superficie e gonfiando il palloncino, si potrà osservare come i punti si allontanano reciprocamente (in perfetta analogia con la Legge di Hubble), ma non sarà individuabile un punto attorno cui avviene l'espansione: da uno qualunque dei punti si vedranno tutto gli altri punti che si allontanano. Questo accade anche su scala cosmica.”

Domanda:

“Tornando all'analogia con la stella, l'Universo prima o poi regredirà, collasserà con un Big-Crunch oppure ha un quantitativo di energia sufficiente a prolungare la sua espansione fino all'infinito, o arriverà a uno stallo? C'è poi anche il problema del trovare tutta la materia in gioco, e quindi della Materia Oscura; come si stanno affrontando questi problemi?”

Risposta:

“Ci si lavora alla grande! Stiamo tentando con vari approcci di capire di più sia sul problema del futuro dell'espansione, sia sul problema della materia oscura. Sono due questioni importanti e anche collegate tra loro. Il dato di fatto è che l'universo si espande (le evidenze sono ormai clamorose), il problema è capire come si comporta questa espansione sui tempi cosmici. Per quanto riguarda il passato dell'universo, ogni modello credibile porta (al di là di dettagli dai quali dipende, in particolare, il valore esatto dell'età dell'universo), a una fase iniziale in cui lo spazio tende a zero in un tempo finito del passato. Per il futuro invece le cose sono più incerte: a seconda degli ingredienti dell'energia dell'universo, si può avere un collasso (i tempi di misurano in decine di miliardi di anni, non c'è da preoccuparsi per una catastrofe imminente!); oppure un'espansione che continua indefinitamente nel futuro, portando a un universo sempre più freddo e rarefatto.

Il discriminante di tra questi modelli sta nel valore di alcuni parametri fondamentali, tra cui la densità della materia, che comprende la Materia Oscura di cui si chiedeva prima. Questa è materia che “vediamo” attraverso i suoi effetti gravitazionali, ma non produce luce né radiazione a qualunque lunghezza d'onda. Oggi vi sono molti indizi e indipendenti tra loro che suggeriscono l'esistenza della materia oscura, che sembra costituire addirittura il 90 per cento di tutta la materia nell'universo. Un universo con una forte densità di materia (oscura più luminosa) tenderebbe a richiuderlo su se stesso nel Big Crunch.

Recentemente vi sono evidenze sperimentali che mostrano che l'espansione non solo continuerebbe nel futuro, ma questa espansione “ora” (un “ora” cosmico, cioè in questo miliardi di anni, su per giù...) sembra subire una accelerazione. Questo dell'accelerazione cosmica è realmente lo “scoop” della cosmologia degli ultimi tempi. I dati vengono da misure molto precise del fondo cosmico di microonde insieme a osservazioni di Supernovae nell'universo lontano. La combinazione di queste osservazioni suggerisce questo fatto sorprendente: l'universo sta accelerando la sua espansione. Se confermata, si tratta di una grande e inaspettata scoperta che arricchisce il panorama della Cosmologia. Per rendere ragione di questo dato, sembra necessario che oltre alla materia luminosa e alla materia oscura, entri in gioco anche un'altra componente di energia, una nuova forma di energia legata al vuoto, oggi battezzata “Energia Oscura”, che agisce come una sorta di anti-gravità. Il vuoto dunque sarebbe responsabile di una accelerazione dell'espansione. Stiamo lavorando per cercare di verificare queste teorie con osservazioni sempre più accurate, e speriamo di avere presto nuovi riscontri.

Questo conferma quello che accennavamo prima: ogni nuova risposta conduce a nuove domande, che magari inizialmente non erano neppure state prese in considerazione come possibilità. Oggi stiamo tentando di dare spiegazione a un fatto che solo un anno fa non era neppure considerato; e questo senza contraddire nulla (in questo caso) di tutto quello che prima si era compreso e chiarito: si tratta di un fattore aggiuntivo nel quadro globale, un fattore che però potrebbe risultare decisivo. Vediamo qui quel carattere inesauribile della realtà di cui parlavamo prima: dove più avanziamo, dove più risposte riusciamo a dare, proprio lì ci accorgiamo che la realtà è più estesa e piena di imprevisti e di ricchezza di quello che avevamo immaginato. La ragione alle prese con la ricerca è davvero ingaggiata in una grande avventura, in una sfida che viene continuamente rilanciata”.