

DAI CALDEI AD EINSTEIN BREVE STORIA DEL TEMPO E DELLO SPAZIO¹

Giuseppe Gentile

Renato Migliorato

Dipartimento di Matematica – Università di Messina

Contrada Papardo, 98166 – Messina – Italy

Sommario: I concetti di spazio e di tempo, così essenziali nella costituzione della scienza moderna e contemporanea, vengono qui analizzati nel loro costituirsi, dapprima nella forma del mito, per poi gradualmente assumere i caratteri propri dei concetti scientifici. In particolare si analizza il processo attraverso cui spazio e tempo assumono caratteri di grandezze misurabili, prima separatamente per essere poi coordinati tra loro fino alla loro fusione concettuale nello *spazio-tempo* relativistico.

Emerge in modo significativo come la scienza possa progredire solo in un continuo intrecciarsi dei momenti formali, propriamente scientifici, con quelli pre-formali, intuitivi o simbolici, e con il procedere delle realizzazioni tecnologiche. Mito, scienza, filosofia e tecnica appaiono dunque come livelli necessariamente distinti ma non necessariamente indipendenti.

Summary: The concepts of space and time, so essential in the constitution of the modern and contemporary science, are analyzed here in their process of constitution, at first in the form of the myth, then gradually assuming the characters proper of the scientific concepts. Particularly the proceeding is analyzed through which space and time assume characters of measurable magnitudes, first separately, to be then coordinated one another until their conceptual fusion in the relativistic space-time.

It is shown in meaningful way that the science can progress only in a continuous to weave themselves of formal and properly scientific moments with those preformal (intuitive or symbolic) ones, and with the progress of the technological realizations. Myth, science, philosophy and technique appear therefore as necessarily separate but not necessarily independent levels.

1. Introduzione.

Era il 1905, ed ora fa esattamente un secolo, quando uno sconosciuto ventiseienne di nome Albert Einstein, impiegato dell'Ufficio Brevetti di Berna, pubblicava i tre celebri articoli² con cui si delineava la teoria della relatività ristretta.

In realtà Einstein, proprio perché giovane e privo di pregiudizi non aveva esitato a porre per la prima volta sulla carta, in modo chiaro ed esplicito, conclusioni che erano già mature e potevano ben

¹ Conferenza tenuta dal Prof. Renato Migliorato il 9 marzo 2005 nell'ambito dei Seminari organizzati dalla Sezione Matematica di Messina sul tema: *I concetti di spazio e di tempo nell'evoluzione del pensiero scientifico*. Il testo della conferenza è stato elaborato in collaborazione con il Prof. Giuseppe Gentile nell'ambito di una ricerca su “*L'evoluzione del concetto di spazio da Euclide all'età moderna*” finanziata con fondi P.R.A. dell'Università di Messina. Il testo finale va attribuito agli autori in parti uguali.

² Le pubblicazioni di Einstein del 1905 sono in realtà quattro e precisamente: [1] *On the motion of small particles suspended in liquids at rest required by the molecular-kinetic theory of heat*, Annalen der Physik, 17(1905), pp. 549-560.- [2] *On the electrodynamics of moving bodies*, Annalen der Physik, 17(1905), pp. 891-921.- [3] *Does the inertia of a body depend on its energy content?*, Annalen der Physik, 18(1905), pp. 639-41.- [4] *On a heuristic viewpoint concerning the production and transformation of light*, Annalen der Physik, 17(1905), pp. 132-148. Il primo di questi non è però attinente alla teoria della relatività.

scaturire, per esempio, dai lavori e dalle riflessioni di Henri Poincaré. Questi, però, come spesso avviene ai grandi maestri della scienza, era convinto che i principi classici della fisica, così come i fondamenti più consolidati della matematica, non dovessero essere abbandonati se non in caso di assoluta e comprovata impossibilità di conciliarli con i dati empirici, magari con complessi e artificiosi aggiustamenti. In altri termini Poincaré aveva chiara consapevolezza del carattere convenzionale di concetti come quelli di spazio e di tempo; aveva piena conoscenza delle difficoltà incontrate dalla teoria elettromagnetica classica, possedeva gli strumenti tecnici e concettuali per un approccio che cambiasse radicalmente i fondamenti della fisica. Per farlo occorreva però un atto di coraggio che può essere attuato solo da chi guarda la scienza con gli occhi stupiti e forse un po' ingenui di colui che è “*nuovo del mestiere*”.

In fondo è sempre la stessa storia che si ripete ciclicamente, anche più volte nello stesso secolo. Il grande Gauss, per esempio, aveva maturato la consapevolezza della possibilità logica di geometrie diverse da quella euclidea, ma non aveva avuto il coraggio né aveva visto l'utilità di un'esplicita formulazione di tali geometrie, sicché il merito toccò a due giovani matematici: János Bolyai (ungherese) e Njkolai Lobacevskij (ucraino). Altro esempio è quello costituito da Cauchy e Galois, ma si potrebbe continuare a lungo.

Dovendo introdurre un ciclo di seminari che, proprio nel centenario della teoria einsteiniana della relatività, vuole ripensare, anche in termini didattici, il ruolo dei fondamentali concetti fisici e matematici nella cultura d'inizio millennio, non crediamo di poter prescindere da una panoramica, sia pur breve, sulla storia dei concetti di spazio e di tempo.

Perché però si è ritenuto di partire (almeno nel titolo) dai Caldei? Intanto, trattandosi di una civiltà che affonda le sue origini a ben quattromila anni prima della nascita di Cristo, ci riporta sicuramente alle radici più lontane del pensiero umano. Tuttavia questo elemento sembra essere sostanzialmente vanificato dal fatto che ben poco sappiamo di cosa e come pensassero i più antichi abitanti della Mesopotamia. Ecco allora il secondo e forse principale motivo della scelta: il fatto che questo popolo ebbe la fama di coltivare in modo straordinario la divinazione. E non c'è dubbio che l'arte della divinazione ha molto a che fare con il concetto di tempo. Ciò per almeno due ragioni.

Intanto perché *divinare* significa cercare di immaginare il futuro, implicando con ciò il primo e fondamentale elemento costitutivo dell'idea del tempo: la tripartizione passato, presente, futuro. Non c'è idea di tempo se non prendendo coscienza di un'aspettativa che può o non può avverarsi, in contrapposizione ad una memoria che posso rievocare a piacimento ma non più realizzare; dal che l'idea, appunto, di un flusso temporale unidirezionale e irreversibile.

In secondo luogo la divinazione, intesa come arte della previsione (e la moderna scienza in questo non ha nulla di diverso), non può che fondarsi sulla ricerca delle regolarità, delle ripetizioni cicliche. Dunque in primo luogo quelle cosmiche: l'alternarsi del giorno e delle notte, delle fasi lunari, delle stagioni, ecc... e, connessi con questi, tutti quei fenomeni ciclici che, come le alternanze climatiche e i cicli vegetativi della natura, condizionano la nostra vita sulla terra.

Ora se tutto questo può sembrare ovvio, in realtà possiede significati e valenze su cui forse non si riflette abbastanza.

Il fatto è che viviamo in una civiltà in cui tutto è scandito secondo un ordine preciso e regolare, continuamente controllato da strumenti tecnologici, che in qualche modo riassumono in sé e quasi materializzano concetti astratti e sfuggenti quali sono appunto quelli di spazio e di tempo.

E soprattutto il più sfuggente tra i due, quello di tempo, ci sembra oggi talmente sotto controllo da non consentirci di vedere quali abissi concettuali esso nasconde.

Comprendere però i termini della rivoluzione scientifica del Novecento è anche comprendere quale profonda rottura epistemologica si sia venuta a determinare nel significato di parole come *spazio*, *tempo* e, un po' più avanti, anche *causa*, *effetto*, *casualità*, *necessità*, ecc...

Limitandoci ai primi due concetti, spazio e tempo, che costituiscono l'oggetto fondamentale di questo ciclo, inizieremo la nostra breve storia occupandoci di ciò che chiameremo *la conquista del tempo*.

2. La conquista del tempo.

Tutto è regolato oggi secondo precise scansioni temporali. Ogni mattina, al risveglio, il mio orologio digitale da tavolo proietta sul soffitto l'immagine luminosa dell'ora esatta continuamente regolata da un impulso radio proveniente da una centrale situata in Germania. Dopo alzato accendo il computer e sulla destra in basso del monitor mi appare ancora una volta l'ora esatta. Se le due ore non coincidono penso subito che qualcosa non funziona, perché escludo a priori che le due ore, quella dell'orologio digitale e quella del computer, si riferiscano a cose diverse. Posso allora connettermi via Internet con un sito che dà l'ora esatta e fare un riscontro. Poi la giornata prosegue scandita da un grande protagonista, il mio orologio da polso che mi dice quand'è l'ora della lezione. Ed ancora una volta se non trovo gli studenti in aula penso che sia successo qualcosa di speciale, ma non certo che la mia ora sia qualcosa di diverso da quella degli studenti. Ed ancora posso accendere il televisore con la ragionevole sicurezza che tra pochi secondi inizierà il telegiornale.

Se poi voglio comunicare con il mio telefono cellulare, digito il numero, sicuro che grazie alla sintonizzazione su frequenze dell'ordine dei MHz o dei GHz, (cioè scansioni temporali estremamente piccole) operata da un gestore intermediario, potrò tranquillamente conversare con la persona desiderata.

Tutto questo ci fa percepire il tempo come qualcosa di oggettivo e di molto preciso, misurabile con approssimazioni sempre più strette, che raggiungono ormai i miliardesimi di secondo. Noi possiamo avere delle sensazioni sbagliate, stimare che è passata un'ora quando ne sono passate due, ma il tempo è lì, è oggettivo e devo solo trovare gli strumenti per misurarlo correttamente!

Ma è stato sempre così? Oggi è difficile immaginare come le cose venissero percepite dai nostri progenitori, sia che vivessero nella Mesopotamia del 3000 a.C. o nell'antica Roma o anche semplicemente nell'Europa di qualche secolo fa.

Eppure basterebbe una semplice riflessione per comprendere come il concetto di tempo sia quanto di più sfuggente la mente umana sia riuscita a concepire. Supponiamo allora che si vogliano scandire i tempi di un'azione, di un evento, mediante una serie di intervalli uguali. Tutto sommato è questa la prima fondamentale condizione perché il tempo ci appaia come una grandezza: che un intervallo di tempo si possa confrontare con un altro. Ma cosa significa dire che due intervalli di tempo sono uguali? Possiamo adattare le stesse esperienze che usiamo per le lunghezze?

Se voglio spiegare il significato dell'espressione “queste due lunghezze sono uguali” devo solo prendere un'asta che si sovrappone esattamente alla prima lunghezza e poi spostarla in modo da verificare se è possibile sovrapporla anche alla seconda. Certo, per fare questo devo assumere assiomaticamente che l'asta rimane invariata durante lo spostamento, cosa per altro corrispondente all'esperienza percettiva. In ogni caso qualunque misurazione presuppone l'assunzione di qualcosa come riferimento, da considerare quindi, provvisoriamente e in modo convenzionale, come un assoluto. Ma mentre sposto il mio regolo, le due lunghezze continuano a stare lì, io le percepisco entrambe, e in caso d'incertezza posso ripetere l'operazione di misura.

Per misurare intervalli di tempo, posso confrontarli solo con altri intervalli di tempo, cioè con la durata di qualcosa che avviene esattamente in contemporanea. Dunque se voglio confrontare la durata di un evento A con la durata di un evento successivo B, devo prima confrontare la durata di A con un evento campione C che avviene contemporaneamente ad A. Solo che in questo caso quando avviene B non ci sono più ormai né A né C. Entrambi sono svaniti e appartengono ad un passato che posso evocare nella memoria ma non più rendere presente. L'irrevocabile annullarsi del tempo è ciò che lo rende percepibile alla nostra coscienza, perché ci consente di separare passato e futuro, ma è allo stesso tempo ciò che lo rende evanescente e inafferrabile. Proprio per ciò l'iniziale presa di coscienza del tempo e della sua irrevocabilità non può che avvenire nella forma del mito. E nella mitologia greca Cronos è proprio la divinità che divora i propri figli, cioè l'entità allo stesso tempo creatrice e divoratrice di ogni sua creatura.

Ma se ogni evento è divorato e annullato da quel tempo stesso che vorremmo misurare, com'è possibile trovare un evento campione, un'unità di misura che si possa confrontare con un evento di oggi e poi con un evento che avverrà domani quando l'oggi non ci sarà più? Ed ecco allora apparire la

funzione della circolarità, degli eventi ciclici che si ripetono immutati, perenni ed immutabili (o almeno si presume). E' la raffigurazione del serpente che si morde la coda, il mito dell'eterno ritorno. Ma è anche l'alternarsi del giorno e della notte, il ripetersi delle fasi lunari, il succedersi regolare delle stagioni. La ciclicità degli eventi assume allora, rispetto alla misurabilità del tempo, lo stesso ruolo che ha il movimento rigido rispetto alla misurabilità delle distanze. L'evento ciclico diventa il nostro regolo temporale, a condizione che i cicli si possano considerare tutti di uguale durata. Ma non è questa la difficoltà più grossa, perché la convenzionalità di questa assunzione non è poi molto diversa dalla convenzionalità con cui suppongo invariabile la lunghezza del regolo durante gli spostamenti. Il fatto è che mentre un regolo si può spostare con continuità, e quindi non è difficile porre una sua estremità all'inizio della lunghezza da misurare, gli eventi ciclici che si presentano spontaneamente in natura seguono delle scansioni ben precise, per cui non possiamo ad esempio far coincidere l'alba di questo giorno con l'inizio di un evento che avrà luogo a partire dalle 11:25. Inoltre un regolo si può spezzare per ottenere oggetti più piccoli anch'essi utilizzabili come regoli, mentre un evento ciclico spezzandosi dà luogo ad eventi più piccoli, ma generalmente non più ciclici. Così, ad esempio, il giorno, inteso come ciclo completo di 24 ore, può essere suddiviso in dì e notte, ma queste due entità non sono tra loro, in alcun modo equivalenti o equiparabili. La stessa percezione che ne abbiamo ci segnala anzi la loro durata come diversa e variabile al variare delle stagioni. Se poi andiamo a dividere ulteriormente ciascuna di queste due parti, le cose diventano ancora più complesse. Per la parte diurna, ad esempio, si può segnare sul terreno la posizione dell'ombra di un bastoncino verticale nei due istanti che rispettivamente seguono e precedono l'alba e il tramonto. L'intervallo spaziale tra queste due posizioni può essere poi diviso in parti uguali (per es. 12) che convenzionalmente potremo chiamare ore. Il guaio è che in questo modo la durata di ciascuna ora sarà sensibilmente diversa tra notte e dì e tra estate e inverno. Eppure fu questo il sistema di misura usato in tutta l'antichità fino in epoca romana. La suddivisione di una giornata in 24 ore era infatti derivata dalla civiltà mesopotamica, le ore tuttavia non erano uguali, ma ne venivano assegnate 12 al giorno e 12 alla notte, con inizio del nuovo giorno (cambio di data) ad ogni tramonto. Ovviamente le ore diurne erano lunghe d'estate e brevi d'inverno, mentre il contrario avveniva per le ore notturne, che per altro, in mancanza del sole non avevano una visibilità evidente, e quindi un significato, se non per coloro che erano avvezzi allo studio degli astri. Qui appare assolutamente chiara la convenzionalità del termine di paragone e quindi del concetto stesso di misura. Dire che erano le ore tre dopo l'alba, significava che dal sorgere del sole era trascorso un quarto della durata complessiva del giorno (dall'alba al tramonto), ma non indicava nulla in termini assoluti. Si potrebbe dire la stessa cosa per le misure di lunghezza, ma in questo caso tutti i regoli sono tra loro confrontabili, per cui alla fine non è difficile riferirsi ad un unico sistema.

Molto più complessa è la questione per il tempo, perché, come si è detto, gli eventi ciclici sono già dati e non sono facilmente raccordabili tra loro. Così l'anno solare non è costituito esattamente da un numero intero di giorni, l'alternarsi del giorno e della notte varia con le stagioni, i cicli lunari hanno a loro volta una periodicità non esattamente raccordabile con gli altri eventi ciclici.

La soluzione può essere allora di produrre artificialmente eventi ciclici il cui inizio si può porre in corrispondenza con qualcosa d'atro. E' il caso della clessidra e poi degli orologi. Per misurare ad esempio il tempo concesso a degli oratori, in modo da non favorirne alcuno rispetto agli altri, si poteva capovolgere la clessidra al momento in cui aveva inizio il discorso. Più unità di tempo si potevano ottenere capovolgendo manualmente la clessidra nel momento esatto in cui la sabbia era terminata.

Ha inizio quindi la storia dell'orologio e dei suoi perfezionamenti. L'orologio ad acqua, nella sua versione più semplice non differisce molto, come principio, dalla clessidra. In questo caso però è più facile suddividere ulteriormente il tempo, graduando il recipiente in cui l'acqua, proveniente da un recipiente superiore, va lentamente a raccogliersi. Nel terzo secolo a.C. questo tipo di orologio raggiunse elevati livelli di precisione. Per far sì che il flusso del liquido non subisse variazioni, si faceva in modo che nel recipiente superiore il livello si mantenesse costante mediante un dispositivo che faceva affluire nuova acqua quando il livello tendeva a scendere. In tal modo la costanza della

pressione garantiva un flusso costante attraverso un piccolo foro³. In qualche caso, l'acqua raccolta nel recipiente inferiore, anziché essere misurata direttamente a vista, spostava con il suo peso un dispositivo che azionando un indice lo faceva muovere su di un quadrante graduato.

Più lunga e complessa è la storia degli orologi meccanici e dei loro sistemi di regolazione fino all'invenzione del pendolo e del bilanciere. Quello che però qui vogliamo notare è come nel corso della storia il tempo non si è presentato come qualcosa di unico e di oggettivo, qualcosa che era lì e la cui misurazione era solo un problema tecnico di maggiore o minore precisione. Il fatto è che **non** vi era un solo *tempo*, ma una molteplicità di *tempi*, tra loro diversi concettualmente e quindi non commensurabili. Il tempo della giornata di dodici ore tra alba e tramonto era cosa ben diversa dal tempo della clessidra o dal tempo dell'orologio ad acqua; altra cosa ancora erano il ciclo annuo e quello cosmico misurato sui moti degli astri. Ci fermiamo qui per il momento e riprenderemo il discorso quando parleremo della coordinazione spazio-temporale.

3. Lo spazio tra geometria e cosmologia.

Così come il tempo non è pensabile senza l'attesa del futuro in contrapposizione con la memoria del passato e senza la percezione di durata delle scansioni temporali cicliche, allo stesso modo non si riesce a concepire lo spazio se non come *contenitore* delle cose sensibili e dei nostri movimenti corporei. La *geometria* nasce dunque come arte della misurazione. Da questo punto di vista, l'effettiva misurazione di lunghezze appare, almeno in linea di principio, molto meno problematica rispetto a quella del tempo. Le complicazioni nascono però in relazione a due questioni essenziali:

1. Se il tempo sembra svolgersi lungo una linea di flusso unidirezionale (passato-presente), lo spazio viene percepito e sperimentato secondo tre dimensioni, dando luogo a tre classi di grandezze (lineari, di superficie, di volume) in modo che grandezze della stessa classe sono tra loro confrontabili, grandezze di classi diverse non lo sono mai. Ora se il confronto di grandezze lineari rettilinee, come si è visto nella sezione precedente, non presenta difficoltà di principio, queste cominciano ad apparire quando si devono confrontare grandezze rettilinee con grandezze curvilinee, oppure grandezze di superficie e di volume.
2. Il problema si presenta ancora quando si vogliono misurare grandezze inaccessibili, e diventa veramente arduo quando queste assumono dimensioni cosmiche.

Affrontare nel merito tutte le problematiche connesse a questi due ordini di questioni, significherebbe sviluppare l'intera storia della geometria e della cosmologia, ma ciò è lontano dalle nostre intenzioni. Affronteremo invece alcune questioni nodali che ci aiuteranno a fare emergere gli aspetti più oscuri e sfuggenti della nozione di spazio e delle sue connessioni con quella di tempo.

Com'è noto, nel passare dal Vicino Oriente alla Grecia classica, le conoscenze matematiche, già coltivate nella Mesopotamia e nell'Egitto, subirono una profonda mutazione, perdendo il loro carattere di “*arte della misurazione e del calcolo*”, per assumere gradualmente quello più intellettualistico e astratto della scienza logico-deduttiva. I caratteri fondamentali della nuova scienza, inventata dai Greci, sono quelli dell'universalità, della necessità formale degli enunciati, dell'idealizzazione dei suoi oggetti.

Quali furono le ragioni di questa improvvisa e altamente improbabile mutazione del pensiero, avvenuta spontaneamente una sola volta nella storia dell'umanità, e poi assorbita e sviluppata da altri popoli, riscoperta e ripresa nel Rinascimento fino a dare luogo a quella che oggi chiamiamo civiltà occidentale? Varie possono essere le risposte, ma per il momento ci limitiamo a cogliere il dato e a prenderne atto.

Bisogna dire d'altra parte che, nonostante gli alti livelli di astrazione e idealizzazione, nel mondo antico occidentale non si riscontra un concetto di spazio geometrico che sia separato da quello degli

³ Si può legittimamente ritenere che a fondamento di queste tecnologie vi fossero conoscenze teoriche di idrostatica di cui le opere di Archimede costituiscono la principale testimonianza.

oggetti in esso contenuti. La spiegazione più accreditata fa riferimento alla difficoltà del pensiero greco di concepire il “nulla” il “non essere”, che proprio per il fatto di *non essere qualcosa*, non potrebbe neppure essere pensato. Una conclusione, questa, che si lega fortemente al carattere *logico-discorsivo* del pensiero greco e quindi alla forma stessa del linguaggio, mentre appare meno condizionante nel pensiero indiano da cui, in epoca posteriore, si sarebbero derivati concetti quale lo zero e la possibilità di esistenza dello spazio vuoto.

Bisogna dire però che anche il pensiero greco classico non era così compatto e uniforme come può apparire, anche per il ruolo dominante che oggi si attribuisce a Platone e ad Aristotele. Tra i pitagorici ad esempio, vi furono opinioni diverse e contrastanti circa la finitezza o meno del Cosmo (cioè del tutto). Uno degli argomenti a favore dell’infinito era il seguente: se pensiamo che il cosmo sia limitato, immaginiamo un uomo che si trovi esattamente al limite di esso; cosa avviene se tenta di tendere il braccio oltre questo limite? Se al di là del limite non c’è nulla, allora nulla può impedirgli di allungare il braccio che pertanto si troverà oltre il limite e questo non è più un limite. Se invece qualcosa gli impedisce di tendere il braccio, questo qualcosa deve trovarsi al di là del limite che pertanto non è più un limite⁴.

Anche l’esclusione del vuoto non era così generale. Gli atomi di Democrito, ad es., come pure quelli di Epicuro, sembrano muoversi proprio in uno spazio vuoto.

In ogni caso lo spazio, in quanto nulla, può dirsi che è, non per sé stesso ma solo in quanto riempito o suscettibile di essere riempito da qualcos’altro. La geometria greca dunque, non riguarda direttamente lo spazio, ma la forma delle cose che lo riempiono. E queste forme sono considerate in astratto, cioè indipendentemente dagli oggetti cui possono essere assegnate. Anzi, poiché nessun oggetto del mondo percepito dai sensi può possedere le forme perfette della geometria, queste possono esistere solo come idee. E per Platone le idee sono le essenze originarie, il prototipo di tutte le cose sensibili. Queste sono invece generate da un demiurgo ad immagine e somiglianza di quelle ideali, perfette, eterne e immutabili⁵.

Per Aristotele, invece, come sappiamo, le idee non esistono per sé stesse, ma sono determinazioni degli enti singolari. Solo gli enti singolari (sostanze) esistono per sé stessi, e sono percepibili con i sensi ma diventano intelligibili solo quando se ne riconoscono le determinazioni di genere e specie, quando si comprende la *causa prima per cui sono e non possono non essere*.

Cosa sono allora in particolare le entità geometriche fondamentali? Superficie è per Aristotele ciò che limita un corpo. Linea ciò che limita una superficie, punto ciò che limita una linea. Sono cioè gli elementi costitutivi della forma dei corpi, i quali sono appunto costituiti di materia e forma, ma mentre un corpo non può sussistere senza una forma, questa senza un corpo può sussistere in potenza. Ciò vuol dire che data una qualunque forma, essa può essere assunta da un corpo ed essere così attuata. Così la forma del Mosé di Michelangelo, pensata dal suo autore, era in potenza perché potenzialmente attuabile, e divenuta poi attuale quando fu impressa nel marmo.

Ma solo le forme finite si possono attuare, per ciò non esiste per Aristotele l’infinito in atto, ma solo l’infinito in potenza. In altri termini dire che i numeri sono infiniti non significa dire che essi siano tutti dati, ma solo che comunque sia dato un numero, se ne può sempre dare uno maggiore. Ed allo stesso modo, dire che una retta è infinita può significare, per il Nostro, solo che una linea terminata si può sempre prolungare.

4. La dimensione dello spazio e la cosmologia platonica.

Tra le numerose problematiche della geometria classica, scegliamo di dare un posto di particolare rilievo al concetto di dimensione, proprio perché si tratta di una delle questioni più rilevanti

⁴ SIMPLICIO, Phys, 467,26 con riferimento a Eudemo, Phys, Fr. 30. (V. anche M. TIMPANARO CARDINI: Pitagorici. Testimonianze e frammenti, Vol. II, pp. 348-349).

⁵ PLATONE: *Timeo*.

nell’ambito della rivoluzione scientifica del ‘900 e, come vedremo, anche uno dei tratti più originali del pensiero di Poincaré.

La distinzione tra linee superfici e solidi è abbastanza netta in tutta la geometria antica, ed è presente nelle definizioni di *punto*, *linea* e *superficie* che aprono le edizioni a noi pervenute degli *Elementi* di Euclide⁶. Mentre il *punto*, definito come ciò che non ha parti, appare privo di dimensione, la *linea* definita come ciò che ha lunghezza ma non larghezza e spessore, si presenta come unidimensionale, e la superficie, avendo lunghezza e larghezza ma non spessore appare bidimensionale. Un’ulteriore specificazione viene data da Aristotele che osserva come la linea sia descritta dal movimento di un punto, la superficie dal movimento di una linea, un solido dal movimento di una superficie. L’impossibilità di un maggior numero di dimensioni si concretizzerebbe nel fatto che secondo Aristotele, il movimento di un solido non genererebbe alcunché d’altro.

L’affermazione della tridimensionalità del mondo si trova invece in Platone in una forma molto più sottile e indiretta, che richiede una premessa sul problema delle grandezze incommensurabili e su quello della duplicazione del cubo.

E’ noto che la scoperta delle grandezze incommensurabili, ed in particolare dell’incommensurabilità del lato e della diagonale di un quadrato fu alla base di una profonda crisi del pensiero pitagorico⁷. Infatti a fondamento di tutto l’esistente i pitagorici ponevano il presupposto di un costituente indivisibile di tutte le cose: la *monade* o *unità*. Ciò appariva necessario forse perché l’idea opposta, quella cioè di una illimitata divisibilità, rendeva in qualche modo sfuggente e inafferrabile il fondamento stesso dell’*essere*. La dimostrazione che il lato e la diagonale di un quadrato non sono mai multipli di una stessa unità, pone una difficoltà incalcolabile per questa concezione. Tuttavia il progressivo slittamento del pensiero matematico greco dall’aritmetica verso la geometria, rende comunque accettabili la coesistenza del quadrato e della sua diagonale, e più in generale di tutte le coppie di grandezze incommensurabili.

La questione della diagonale del quadrato viene così a intrecciarsi con quella squisitamente geometrica della costruzione di grandezze multiple o sottomultiple di una grandezza data. Si tratta dunque di una questione centrale all’interno del nostro discorso perché costituisce la condizione fondamentale per il confronto tra grandezze geometriche e quindi per la struttura stessa del concetto di spazio. Nel caso delle grandezze lineari, il problema del confronto e della misurazione, come si è visto, appare quasi banale e comunque privo di quelle difficoltà che si riscontrano nella quantificazione delle grandezze temporali. Nel caso delle figure piane o solide, invece, i problemi sono molti e complessi, fino al punto da apparire insormontabili. E’ il caso per esempio della *quadratura del cerchio* divenuta proverbiale come sinonimo di problema irrisolvibile. Uno dei passaggi essenziali per il confronto di figure è comunque il raddoppio di aree e volumi, come primo passo della moltiplicazione di una grandezza sottomultipla da usare come unità di misura.

La duplicazione del quadrato, dunque, non presenta eccessive difficoltà e come lo stesso Platone chiarisce in un passo del *Menone*, il quadrato doppio (di area doppia) di un quadrato dato è quello il cui lato è uguale alla diagonale del primo. Ora, sebbene la diagonale sia incommensurabile con il lato, e quindi problematica dal punto di vista aritmetico (pitagorico), non presenta difficoltà geometriche perché si ottiene semplicemente congiungendo due punti.

Ben diversa è la situazione per la duplicazione del cubo. Secondo una delle versioni che ci sono state tramandate⁸ il problema sarebbe nato dalla richiesta dell’oracolo che avrebbe imposto agli abitanti di Delo di raddoppiare l’ara di Apollo di forma cubica. Non riuscendo a dare soluzione al problema, gli esperti si sarebbero rivolti a Platone il quale li avrebbe redarguiti affermando che il dio cer-

⁶ L’autenticità delle prime sette definizioni degli *Elementi* di Euclide è stata contestata da L. RUSSO, in due pubblicazioni rispettivamente del 1992 e 1998 (citate in bibliografia). V. anche MIGLIORATO, GENTILE (2005) e MIGLIORATO: *La rivoluzione euclidea...* (in stampa). Tali definizioni, tuttavia, affondano la loro origine in una precedente tradizione pre-euclidea.

⁷ Per una più estesa trattazione V. R. MIGLIORATO; Corso di epistemologia della matematica, parte prima.

⁸ TEONE DI SMIRNE, *De Utilitate Mathematicae*, p.2.

tamente non poteva avere inteso dare loro il compito letterale della costruzione dell'ara, ma avrebbe voluto richiamare la loro attenzione sulla geometria, che essi invece trascuravano.

Un passo avanti, su questo problema è stato poi compiuto da Ippocrate di Chio, che ha ricondotto il problema a quello di inserire due medie proporzionali tra due grandezze date, di cui una doppia dell'altra. Il che si può comprendere facilmente, ponendo nel linguaggio moderno:

$$\frac{2}{x} = \frac{x}{y} = \frac{y}{1}.$$

Da qui segue subito che $x^2 = 2y$, $x = y^2$ e quindi $y^3 = 2$, da cui segue facilmente la soluzione che ovviamente dipende, sempre nel nostro linguaggio, da un'estrazione di radice cubica.

Il problema aveva così fatto un passo avanti ma non era risolto fino a che non si fosse riuscito a costruire le due grandezze x e y medie proporzionali tra 1 e 2. Ancora oggi sappiamo che questo problema non poteva essere risolto con riga e compasso proprio perché è un problema di terzo grado, mentre la riga e il compasso consentono di tracciare solo linee del primo e del secondo ordine. Soluzioni di questo problema sono state trovate con metodi che utilizzano il tracciamento di curve mediante strumenti meccanici, ma si tratta proprio per questo di soluzioni che nell'ottica di Platone non sarebbero da considerare accettabili.

A questo punto abbiamo tutti gli strumenti per comprendere il nesso tra i problemi di duplicazione, la cosmologia platonica e la dimensione dello spazio. Dobbiamo a tale scopo fare riferimento ancora al *Timeo*, l'opera in cui Platone espone, per bocca appunto di questo personaggio, la sua visione cosmologica attraverso la descrizione dell'atto creativo da parte di un demiurgo. Dopo aver detto che il demiurgo, nella creazione del cosmo, non poteva che prendere a modello se non le sole cose che sono in sé perfette e incorruttibili, cioè le idee, spiega perché gli elementi costitutivi del mondo sensibile dovessero essere necessariamente quattro: terra, acqua, aria fuoco. Premesso che è necessario avere la terra e il fuoco, il primo come elemento di stabilità, il secondo di movimento, perché questi due stiano insieme occorre che qualche elemento medio proporzionale funga da intermediario. Ora, dice Timeo, se il mondo potesse essere piano basterebbe un solo medio proporzionale, ma poiché conviene che le cose corporee abbiano spessore, i medi proporzionali dovranno essere due: acqua e aria. Qual'è il significato di questo passo? Il riferimento al problema del raddoppio ci sembra evidente⁹. Occorre aggiungere a questo punto che i quattro elementi sono concepiti da Platone come costituiti da quattro dei cinque solidi platonici: il cubo per la terra, il tetraedro per il fuoco, l'ottaedro per l'acqua, l'icosaedro per l'aria. Di ognuno di questi solidi si troverebbero in natura esemplari di diversa grandezza che stanno gli uni agli altri secondo rapporti che hanno inizio con il raddoppio e proseguono secondo le leggi pitagoriche dell'armonia musicale¹⁰. Ma come si fa a raddoppiare un solido? Ecco dunque il problema della duplicazione del cubo. Se si trattasse di duplica-

⁹ Possiamo porre la questione in questi termini. La duplicazione del quadrato equivale ad inserire tra due grandezze, una doppia dell'altra, una grandezza media proporzionale tra le due. Infatti dalla equazione $2/x = x/1$ segue subito che $x = \sqrt{2}$, e questa è appunto la misura del lato di un quadrato doppio. Passando da due a tre dimensioni, l'analogo problema (duplicazione del cubo) richiede invece l'inserimento di due grandezze medie proporzionali. E' possibile che questa scoperta sia stata suggerita a Ippocrate di Chio proprio dall'analogia con il caso del quadrato.

Qui vogliamo riferirci al problema della duplicazione del quadrato la cui soluzione era stata resa possibile con strumenti geometrici e riconducibile all'inserzione di un medio proporzionale fra una grandezza e il suo doppio o, considerando la prima come unitaria, fra 1 e 2; ciò del resto è equivalente, in termini moderni, all'estrazione della radice quadrata di 2. Potrebbe essere stata l'analogia con questo caso a suggerire ad Ippocrate l'inserzione delle due medie proporzionali per la risoluzione della duplicazione del cubo.

¹⁰ Il rapporto 2:1 è quello che, costituendo l'intervallo di ottava, è alla base della scala musicale pitagorica; questa viene a sua volta posta nella cosmologia platonica a fondamento dello stesso ordine cosmico e di quella "armonia delle sfere" di cui troviamo eco nel Paradiso di Dante. Si può solo così comprendere come i problemi di duplicazione (e quindi in particolare della duplicazione del cubo), assumano, anche simbolicamente, valori e significati che alludono ai più profondi misteri cosmologici. Per una trattazione panoramica dei rapporti tra aritmetica e armonia musicale V. ad es. A. SARRITZU: *Modelli matematici e armonia musicale. Una proposta per la didattica*. Atti del Convegno "Quali prospettive per la Matematica e la sua didattica", Piazza Armerina (EN) 16-19 settembre 2004. (Disponibili on line presso il sito del G.R.I.M. – Università di Palermo, all'indirizzo: math.unipa.it/~grim/convreg1_gruppiprogramma_04.htm).

re un quadrato, basterebbe inserire un medio proporzionale tra una grandezza e quella doppia, dovendo duplicare il cubo, occorre inserire, come si è visto, due medi proporzionali.

5. Dalla geometria dei corpi allo spazio assoluto.

Sembra dunque che l'antichità greca non riuscisse a concepire lo spazio come un qualcosa in sé, un qualcosa che sussiste indipendentemente dalle cose che possono starci o non starci dentro. Questa difficoltà invece non sembra sussistere più nell'epoca moderna e contemporanea. Ma quando e come si sarebbe verificato il cambiamento percettivo e cognitivo della nozione di spazio? La questione non è facile ed ha dato luogo a controversie interpretative. Ci limitiamo qui ad alcuni cenni che ci sembrano interessanti per le nostre finalità.

Un'interpretazione che presenta una sicura forza di attrazione è quella che viene data da Panofsky in un suo famoso saggio sul significato della prospettiva¹¹. Egli sostiene che a differenza della prospettiva usata nelle pitture ellenistiche, quella rinascimentale presupporrebbe una nozione di *spazio* come entità in sé significativa. In sintesi le sue argomentazioni vertono sui punti seguenti.

1. La prospettiva, quale viene a delinarsi nel trattato sull'*Ottica* di Euclide, fornirebbe certamente una rappresentazione rigorosa del fenomeno della visione, ma ciò è possibile solo perché il cono ottico che ha il suo vertice nell'occhio **non** si presume tagliato da un piano o quadro, come si fa invece nella prospettiva rinascimentale. Tra i presupposti dell'*Ottica* di Euclide, vi è che “la grandezza sotto cui le cose sono viste è data dall'angolo formato dai raggi che la comprendono”¹². Una rappresentazione corretta di ciò che l'occhio vede, si potrebbe dunque avere solo (è la conclusione di Panofsky) su una superficie sferica con centro nell'occhio. Se invece il cono dei raggi visuali viene proiettato su un piano, si ha inevitabilmente che ad angoli visivi uguali non corrispondano più grandezze lineari uguali, e queste diventeranno via via più grandi quando ci si allontana dall'asse ottico. Si ha cioè quell'aberrazione che si manifesta in modo più visibile quanto più grande è il quadro e che si riscontra in modo fin troppo evidente nelle fotografie riprese con il grandangolo.
2. Gli antichi, secondo Panofsky, correggevano quest'aberrazione ristabilendo nel dipinto le proporzioni di ciascuna figura¹³. In altri termini i pittori si sarebbero serviti della costruzione prospettica per determinare le reciproche posizioni e le reciproche dimensioni apparenti delle diverse figure, ma avrebbe poi disegnato ciascuna figura mantenendo le corrette proporzioni di ognuna di esse. Ciò era ammissibile proprio perché lo spazio per loro non aveva concettualmente altra consistenza che la mutua relazione posizionale tra gli oggetti.
3. Gli artisti rinascimentali invece accettano le aberrazioni prospettiche pur di non apportare modifiche rispetto alla costruzione geometrica. In altri termini sono disposti a pagare il prezzo di figure che soprattutto ai margini del dipinto presentano deformazioni e sproporzioni apprezzabili, pur di non alterare quella che appare loro come una “verità” geometrica, compresa dalla ragione anche se non del tutto conforme ai sensi. In nome di che, dunque, si paga il prezzo di una deformazione visibile? Di un'astratta coerenza geometrica dello spazio, è la risposta di Panofski. Ed è proprio in questa astratta coerenza geometrica che si riassumerebbe l'essenza di una nuova entità concettuale: lo *spazio geometrico*.

Quest'impostazione è stata variamente criticata e contestata soprattutto sulla base di considerazioni geometriche¹⁴. Il fatto che il quadro tagli il cono dei raggi visuali, si è detto, non modifica per nulla i raggi stessi. In una costruzione prospettica, un occhio che sia posto nel punto di vista, continuerà a

¹¹ E. PANOFSKY: *La prospettiva come forma simbolica e altri scritti*, Milano 1961.

¹² Euclide, *Ottica*, Post. 5, 6, 7.

¹³ Le osservazioni di Panofsky si riferiscono essenzialmente alle pitture murali di Pompei ed Ercolano anche perché non sono giunte a noi esemplari notevoli di pitture contemporanee di Euclide.

¹⁴ V. Ad es. D. GIOSEFFI: *Perspectiva Artificialis: Per la storia della prospettiva. Spigolature e appunti*, Univ. Di Trieste, 1957.

vedere le cose esattamente come se il quadro non ci fosse e non percepisce quindi le aberrazioni prospettiche. Le argomentazioni di Panofsky sarebbero quindi prive di fondamento geometrico.

Queste critiche tuttavia non appaiono determinanti se si considera che la costruzione prospettica è solo una finzione, un modo convenzionale di rappresentare su un piano oggetti spaziali¹⁵. In realtà le raffigurazioni pittoriche non vengono mai guardate con un solo occhio fisso nel punto di vista. Molto più interessante ci sembra invece il senso profondo del saggio di Panofsky, senso che si può cogliere più agevolmente ponendo attenzione alle citazioni di Cassirer contenute nel testo ma già annunciate nel titolo (La prospettiva come forma simbolica). Per *forme simboliche*, infatti, Cassirer intende quelle “*forme*” dell’intelletto che consentono di rendere significativi i dati sensoriali e che per Kant erano *a priori* e dunque immodificabili. Per il filosofo neokantiano, invece, tali forme sono strutture intellettive che si costruiscono e si evolvono per via culturale¹⁶.

Qual’è allora la tesi fondamentale di Panofsky? E’ che il concetto di spazio, come entità in sé, si sarebbe costituita solo a partire dal Rinascimento e sarebbe appunto una forma simbolica nel senso di Cassirer. Questo punto ci sembra fondamentale per comprendere il ruolo culturale e i limiti di quella concezione di uno spazio assoluto che è parte fondante della fisica classica da Newton fino a tutto l’Ottocento.

Vediamo allora di riassumere un po’ le cose, sulla base di quanto detto fin’ora. Nell’antichità greca non sembra esistesse un concetto di spazio, come entità a sé stante, anche se vi sono varie discussioni sulla finitezza o infinità del “*Cosmo*”, e cioè di tutto ciò che è. Per Platone (ma poi anche per Aristotele) il cosmo è un’entità finita e di *forma sferica* proprio perché solo la sfera è perfetta¹⁷, dove le varie parti costituiscono un’unità armonica e sono legate secondo rapporti che ripetono quelli della scala musicale pitagorica. Anche i moti degli astri devono essere necessariamente circolari perché solo i cerchi sono in sé linee perfette.

Nella cosmologia aristotelica (ripresa poi da quella tolemaica), sebbene molti significati sono capovolti e l’esistenza delle figure geometriche è solo potenziale, non muta la sostanziale assenza di un’idea di spazio in sé. Ad esistere sono le sostanze individuali, di cui lo spazio è in qualche modo una premessa, perché ogni corpo occupa spazio. Ma senza i corpi rimane solo il nulla e il nulla non è.

A partire dal Rinascimento sembrerebbe costituirsi l’idea di spazio geometrico come entità strutturata e in sé logicamente coerente, cioè come una razionalità assoluta a cui forse la stessa attività creatrice divina non può sottrarsi¹⁸. Ancora alle soglie del XVIII secolo, per Gerolamo Saccheri, il

¹⁵ Nella rappresentazione piana di uno spazio tridimensionale è inevitabile che una parte dell’informazione venga perduta. La visione binoculare ci consente, in condizioni normali di recuperare una parte dell’informazione perduta, almeno per quella porzione di spazio che si trova ad una distanza non troppo elevata. Nelle rappresentazioni pittoriche, non solo tali informazioni non sono (geometricamente) recuperabili, ma la visione binoculare fa sì che la disposizione su un unico piano venga chiaramente percepita, in modo da svelare il “falso”. Cos’è allora che ci dà, allo stesso tempo, il senso della tridimensionalità? Il fatto è che la spazialità prospettica è in realtà percepita non dall’occhio, ma dal cervello attraverso un condizionamento culturale che permette di riconoscere gli oggetti rappresentati. In virtù di questo riconoscimento, la mente può scegliere tra le innumerevoli possibili interpretazioni, in modo da ricostruire le informazioni mancanti. Non è a caso che in situazioni particolari o di oggetti non conosciuti o di forma ambigua, la percezione prospettica può apparire fortemente alterata. Si vedano ad es. le false prospettive e le prospettive ambigue di Escher.

¹⁶ E. CASSIRER, *Filosofia delle forme simboliche: 3. Fenomenologia della conoscenza*, Firenze, 1966.

¹⁷ V. PLATONE: *Timeo*.

¹⁸ Nel XXVI canto dell’Inferno Guido da Montefeltro è inesorabilmente condotto alla dannazione in virtù di un ferreo principio logico: “*ch’assolver non si può chi non si pente, / né pentere e volere insieme puossi / per la contradizion che nol consente*” (DANTE, Inf. XXVI, 118-120). Nel XIII canto del Paradiso, San Tommaso D’Aquino spiega come Salomone quando “...chiese senno / acciò che re sufficiente fosse”, non chiese tra l’altro “...se necesse / con contingente mai necesse fenno” o “o se del mezzo cerchio far si puote / triangol sì ch’un retto non avesse.” (DANTE, Par. XIII, 95-102). In entrambe i casi sembra porsi implicitamente la domanda sulla presunta natura (metafisica?) delle verità logiche e di quelle geometriche.

quinto postulato di Euclide appare provato non già perché la sua negazione porti ad un assurdo logico, ma perché “*ripugna*” alla natura della retta.

Finalmente lo “*spazio assoluto*” trova la sua sanzione in termini rigorosamente fisico matematici, con la fisica Newtoniana, e si perfeziona ulteriormente nella teoria *dell’etere*, presupposto della teoria elettromagnetica classica.

6. Verso il tempo e lo spazio assoluti.

Abbiamo visto come la possibilità di misurare intervalli di tempo non comporta né che vi sia un tempo assoluto, né uno spazio assoluto. Per ciò che riguarda il tempo addirittura i diversi sistemi di misura non avevano inizialmente neppure lo stesso significato non essendo univoco il concetto di durata. Un’ora intesa come un dodicesimo del giorno solare, non misurava la durata nello stesso senso della clessidra o dell’orologio. Ma anche la suddivisione dell’anno in mesi e giorni non aveva significati univoci. Il mese, come suddivisione civile, era uno strumento di misura convenzionale che segnava scansioni temporali collettive, come festività, celebrazioni, durata di cariche politiche, ecc... Fino alla riforma Gregoriana del calendario, vi erano sfasamenti tra l’anno civile e l’anno solare, che accumulandosi nel tempo comportavano vistosi slittamenti nelle stagioni e quindi nei cicli naturali. D’altronde le scansioni temporali nel corso dell’anno, erano nate nelle primitive civiltà agricole, non sul conteggio dei giorni, ma in funzione del lavoro dei campi e quindi dei cicli vegetativi, per i quali era per es. più importante stabilire quando il sole raggiungeva il suo minimo e ricominciava a crescere (solstizio d’inverno). A rendere possibile questa determinazione, fin dalle civiltà più arcaiche, era diretta proprio l’osservazione e lo studio del moto apparente degli astri.

A questa non univocità del tempo corrispondeva una non omogeneità dello spazio, o ancor meglio, del cosmo. Secondo la concezione aristotelica, poi fatta propria dalla teologia cristiana, mentre il mondo sublunare è costituito di materia corruttibile e soggetto a leggi naturali terrene, la parte esterna del cosmo, a partire dalla luna, avrebbe dovuto essere costituito di materia perfetta, incorruttibile, non soggetto alle leggi terrene, animato di moti circolari (quindi perfetti) eterni e immutabili. La conquista di un significato univoco nella misura del tempo si viene a realizzare molto lentamente nei secoli, e per tappe, da un lato con le riforme del calendario (ricordiamo quella di Giulio Cesare e quella Gregoriana), dall’altra con il progressivo perfezionamento degli orologi e con l’adozione del ciclo giornaliero di 24 ore. Dare un significato univoco alla misura del tempo, non significa però conquista di un tempo assoluto. Intanto perché l’adozione delle varie riforme non è uniforme e contemporanea in tutti i paesi, poi perché la diffusione degli orologi avviene con lentezza, e fino a qualche secolo fa, solo pochi ne possedevano uno. Nelle campagne del resto, l’ora o la data civile servivano ben poco: il tempo continuava ad essere scandito dai cicli naturali, secondo le necessità del lavoro dei campi. In ogni caso gli orologi andavano comunque regolati, e ciò poteva avvenire su base astronomica, luogo per luogo, determinando per esempio l’istante in cui il sole appariva all’orizzonte in un determinato giorno dell’anno. Ma come coordinare gli orologi che si trovavano in luoghi diversi? Ne parleremo più avanti.

Alla fine della sezione precedente si è accennato a quel processo che a partire dal Rinascimento e fino alla *rivoluzione scientifica moderna*, ha dato luogo al costituirsi di una nozione di spazio assoluto. Come abbiamo visto i passaggi sono diversi e comprendono innanzitutto la concezione dello spazio geometrico come un’entità unitaria e in sé coerente. Lo stesso spazio geometrico assume ancora una connotazione più decisa nel XVII secolo con l’introduzione del metodo analitico cartesiano: ora ogni punto dello spazio non solo è “*qualcosa*” piuttosto che un *nulla*, ma, una volta fissato il

sistema di riferimento, è addirittura dotato di un nome proprio costituito da una terna di numeri, le sue coordinate. Tuttavia si resta ancora nello spazio geometrico, uno spazio immobile che non contempla il movimento. La teoria gravitazionale di Newton, come si è detto, costituisce il passo decisivo per l'assolutizzazione dello spazio cosmico, e questo è a sua volta preparato dalla rivoluzione copernicana promossa da Galileo.

Ancora una volta occorre fare una breve riflessione per sgomberare il campo da alcuni luoghi comuni ampiamente diffusi anche negli ambienti scientifici e che tutt'ora permangono come residui di una concezione positivista della scienza. Intanto c'è un motivo, e su ciò esiste ampia concordanza, per cui Copernico, ideatore del sistema eliocentrico adottato da Galileo, non viene considerato l'autore della rivoluzione scientifica moderna che si attribuisce invece a Galileo. Il fatto è che dopo Copernico, anche se il suo sistema veniva apprezzato soprattutto dai disegnatori di carte nautiche, non ha prodotto, e fundamentalmente non intendeva produrre, un mutamento di concezione generale del cosmo e delle stesse scienze.

Per comprenderlo può essere ancora necessaria una piccola digressione. Cosa significa dire che una cosa si muove mentre un'altra sta ferma. Il classico esempio dei due treni nella stazione (se sto su un treno nella stazione, ad un certo momento ho difficoltà a capire se è il mio treno che ha cominciato a muoversi o quello del binario accanto), o quello più classico delle navi citato da Galileo, illustra bene il concetto di moto relativo. Ora, nel caso dei moti celesti, tutto ciò che si può osservare è il progressivo mutare delle posizioni reciproche, ma nessuna osservazione visiva, con o senza strumenti ottici, può consentire di assegnare ad uno dei corpi interessati dalle osservazioni la condizione privilegiata di *centro* del moto o di corpo immobile. Bisogna, come nel caso dei sistemi di misura, decidersi a fissare un riferimento. Se decidiamo di fissare il nostro sistema di riferimento sulla Terra avremo un sistema cosmologico geocentrico del tipo di quello tolemaico. Se lo fissiamo sul Sole abbiamo un sistema eliocentrico di tipo copernicano. Questo principio di relatività era, come possiamo ragionevolmente ritenere, già presente nella cosmologia ellenistica del terzo secolo a.C. ed era stata forse alla base della teoria eliocentrica di Aristarco di Samo, menzionata tra l'altro da Archimede che non sembra incline a respingerla¹⁹. Tuttavia questa concezione relativistica dei moti celesti verrà sicuramente abbandonata con la decadenza della scuola Alessandrina. Il sistema cosmologico messo a punto da Tolomeo nel II sec. d.C., non si limitava quindi a fare una scelta arbitraria, ma dichiarava la centralità della terra nel cosmo, come verità metafisica (e poi anche teologica), coerentemente con l'idea aristotelica del cosmo già menzionata. La teoria eliocentrica di Copernico, non tende a modificare questa visione cosmologica, in cui cielo e terra hanno ruoli differenti, né rinuncia all'assunzione del moto circolare dei corpi celesti e della perennità di tali moti. Ciò per cui il modello viene apprezzato è la maggiore semplicità descrittiva, in termini matematici, quando il sistema di riferimento viene posto nel Sole invece che nella Terra.

Bisogna ancora dire che anche nel lungo processo che vide Galileo contrapposto alla Chiesa e al Sant'Uffizio, Galileo avrebbe potuto sfuggire alla condanna se avesse accettato il suggerimento del Cardinale Ballarmino, incline a tollerare la tesi eliocentrica se questa fosse stata dichiarata come semplice *descrizione matematica*, senza la pretesa di togliere alla Terra la sua centralità nel cosmo. Ma era proprio la centralità cosmica della terra che Galileo avversava come ostacolo allo sviluppo di una nuova scienza, e non certo la fissazione arbitraria di un sistema di coordinate.

Lo stesso principio d'inerzia, che pone le basi della meccanica moderna, non nasce direttamente dall'osservazione dei dati fenomenici, come una visione semplicistica tende spesso ad avvalorare.

¹⁹ Notoriamente la tesi accreditata è che l'eliocentrismo di Aristarco sarebbe stato respinto dai contemporanei perché considerato “*Empio*”. Bisogna però dire che tale tesi deriva esclusivamente dalla correzione apportata da Harold Cherniss ad un passo dell'unico testo conosciuto del “*De facie quae in orbe lunae apparet*” di Plutarco. Cherniss infatti ritiene, sulla scorta forse di emendamenti filologici risalenti al XVII sec. (cioè nell'immediatezza della condanna inflitta a Galileo), che rispetto al testo originario si debba scambiare un soggetto con un predicato (Aristarco – Cleante). Senza questo emendamento il brano, nell'esatta versione in cui è stato tramandato, assumerebbe un ben diverso significato e la tesi di un'accusa di empietà nei confronti di Aristarco rimarrebbe priva di fondamento. (Cfr. L. RUSSO, S.M. MEDAGLIA).

Nessun esperimento effettuabile con mezzi normali può suggerire, né confermare rigorosamente, l'idea che un corpo, abbandonato a sé stesso si muova indefinitamente con velocità uniforme. L'esperienza suggerisce esattamente il contrario, ogni corpo in moto (ovviamente sulla Terra) prima o poi si ferma. D'altronde se pure non lo vedessimo fermare non potremmo comunque condurre un esperimento all'infinito. L'inerzia appare indispensabile se si vuole togliere il confine tra Cielo e Terra, se si vuole affermare che tutto l'universo è soggetto alle stesse leggi e che queste sono eterne immutabili e valide ovunque. Non si spiegherebbe altrimenti il perdurare dei moti celesti, ma soprattutto Galileo, senza il principio d'inerzia, si sarebbe trovato in difficoltà di fronte alla più forte critica che gli veniva rivolta: se la Terra si muove, con una velocità per noi vertiginosa, perché non ce ne rendiamo conto? E soprattutto perché un oggetto lasciato a mezz'aria cade in verticale e non resta indietro rispetto alla terra?

Vi è dunque in Galileo una posizione metafisica che soppianta un'altra posizione metafisica. L'affermazione che *“tutto è governato da una legge di natura, valida sempre e ovunque”* si è rivelato un presupposto indispensabile per fondare una scienza altamente feconda e produttiva di risultati. Possiamo considerarla oggi come un semplice presupposto convenzionale, utile per produrre soluzioni di problemi, ma tutto ciò non toglie che alla sua base ci sia una metafisica contrapposta ad un'altra precedente metafisica meno feconda e meno produttiva. Vogliamo ancora osservare come la *“legge di natura”* postulata implicitamente da Galileo, abbia tutti i caratteri dell'*Essere* secondo Parmenide: è unitaria, indivisibile, immutabile ed eterna. Da questo punto di vista possiamo affermare che in un certo senso la scienza moderna si presenta come riproposizione aggiornata della concezione parmenidea dell'essere.

7. Il coordinamento spazio-temporale.

Attraverso l'idea di un universo illimitato, governato da leggi ovunque valide, eterne e immutabili, si ricompone finalmente lo spazio e il tempo in una concezione unitaria. Ma se l'unità è così raggiunta sul piano concettuale, molti problemi rimangono aperti quando dalle enunciazioni generali e metafisiche, si deve passare al terreno più specifico delle elaborazioni scientifiche. Possiamo infatti avere un'idea assoluta di spazio e un'idea assoluta di tempo, ma se dobbiamo confrontarci con i fenomeni, allora queste idee devono potersi tradurre in termini osservativi e in protocolli di misurazione. Il primo passo è allora quello di riuscire ad eseguire misure spazio-temporali sulla superficie della terra. A prima vista tutto sembra semplice. Se voglio misurare il tempo, una volta suddiviso il giorno in ventiquattro ore, non ho che da regolare un orologio in modo che questo compia un ciclo completo tra due apparizioni successive di una stella determinata allo stesso punto dell'orizzonte. A parte le questioni più strettamente tecniche, il problema sembra così risolto, per quanto riguarda la misura della durata del giorno e delle sue suddivisioni. Il fatto è che se voglio una misura di tempo assoluto e oggettivo, non mi basta la durata; devo anche fissare un'origine, uno zero della scala dei tempi che sia valido per tutti. Ora l'istante in cui un astro qualsiasi (che sia il sole o una stella) appare all'orizzonte, dipende dal luogo e più precisamente dal meridiano in cui ci si trova, quindi misurando i tempi con questo metodo, l'istante zero sarà diverso per chi si trova a Roma, a New York o a Sidney. Tutto potrebbe ancora andar bene se si trovasse un sistema di corrispondenze per convertire in modo esatto l'ora rilevata qui, con l'ora rilevata lì. Oggi noi siamo abituati ad operazioni di questo tipo quando conosciamo la longitudine tra i due punti dei quali vogliamo calcolare la corrispondenza di orario. Il problema, dunque si riduce a quello di determinare la longitudine.

Ora sappiamo bene che il problema di determinare la latitudine è risolto fin dall'antichità attraverso la misurazione dell'altezza apparente di un astro sull'orizzonte. Quello della longitudine si potrebbe risolvere osservando ad esempio la posizione del sole esattamente a mezzogiorno. Ma quale mezzogiorno? Per poterlo stabilire dovremmo conoscere l'ora di un meridiano prefissato da adottare come meridiano zero. Allora la procedura potrebbe essere questa: partire da Parigi con un orologio sincronizzato sull'ora locale, effettuare il giro del pianeta e, punto per punto osservare in quale istante

(secondo l'ora di Parigi) il sole appare esattamente sulla linea dell'orizzonte. Ma qui sorgono le complicazioni: come si fa ad essere certi che l'orologio trasportato lungo il percorso continui a scandire il tempo in maniera costante? L'assunzione che i fenomeni si svolgano con le stesse leggi in ogni punto dello spazio è indubbiamente necessaria, ma non è sufficiente. Anche ammettendo che in due punti della superficie terrestre, due orologi uguali scandiscano il tempo con lo stesso ritmo, nessuno ci assicura che ciò valga anche quando un orologio sta fermo, o meglio si muove *solidariamente* con la superficie terrestre, mentre l'altro si muove *rispetto alla* superficie terrestre.

E' questo un problema che si cominciò a porre in modo pressante con l'inizio delle navigazioni transoceaniche a partire dal XVI secolo per trovare una risposta significativa solo nel corso dell'Ottocento con gli studi sull'elettricità e la conseguente invenzione del telegrafo. La possibilità infatti di inviare segnali elettrici via cavo con velocità paragonabili a quelle della luce consentiva una sincronizzazione “*quasi perfetta*” degli orologi e la conseguente determinazione della longitudine in ogni punto del pianeta.

I problemi che abbiamo ora esposto sembrano essere di natura puramente tecnica, riguardanti cioè i mezzi tecnologici per la misurazione di grandezze fisiche già definite, nonché il perfezionamento di tali strumenti per avere misure sempre più precise. Questa impressione è rafforzata dal fatto che gli sforzi messi in campo per dare risposta a questi problemi, non erano diretti alla pura e semplice conoscenza scientifica, ma erano in larga misura connessi ad esigenze pratiche con risvolti economici di grande portata. All'inizio vi era la navigazione. Poi con l'invenzione della macchina a vapore e l'estendersi delle reti ferroviarie, il problema di coordinamento degli orari tra le diverse stazioni, e i diversi treni che transitavano sugli stessi binari, nonché l'esigenza di stabilire coincidenze, diventavano urgenze inderogabili e prioritarie legate ad interessi cospicui. Senza questi interessi, d'altronde, sarebbe stato difficile disporre delle risorse finanziarie e delle volontà politiche necessarie. Non solo, infatti, occorreva investire sulla ricerca, ma bisognava superare ostacoli di natura politica, culturale e nazionalistica per potere arrivare a definire riferimenti e sistemi di misura standard validi ovunque.

L'impressione che da tutto ciò sembra potersi ricavare, è che si tratti proprio di questioni di natura pratica, tecnologica, o di pura convenzione (come le unità internazionali di misura o la fissazione del meridiano zero). Le grandezze da misurare (lo spazio e il tempo) resterebbero comunque entità a sé stanti e già precedentemente definite.

Ma non è così. Il rischio è infatti di prendere in considerazione delle entità puramente metafisiche, prive cioè di quei caratteri di oggettività necessari nella scienza. Ciò vuol dire che i concetti di spazio e di tempo possono assumere un carattere di grandezze assolute, in senso scientifico e non puramente metafisico, solo se si riesce a definire per esse un sistema univoco di misurazione. Questo è un punto di enorme rilevanza su cui riflettere anche al di là dell'oggetto stesso di questa discussione, proprio perché rivela come i processi reali di crescita della conoscenza non siano mai comprimibili entro i puri schemi nei quali si presentano da un lato la scienza, dall'altro la filosofia, da un altro ancora la tecnica e le attività pratiche. L'intreccio inestricabile di queste tre dimensioni, appare qui, noi crediamo, abbastanza evidente; anche se ciò non può e non deve significare confusione concettuale di tre livelli che, almeno sul piano teoretico, è opportuno distinguere con chiarezza.

Torniamo dunque allo spazio, al tempo ed al loro reciproco coordinamento. La possibilità di trasmettere segnali elettrici (ed oggi anche elettromagnetici) in grado di sincronizzare (almeno in linea di principio) tutti gli orologi del pianeta, ha permesso di tracciare una mappa spazio temporale univoca. Ciò vuol dire che è possibile, allo stesso tempo, fissare le coordinate di ogni punto (ovviamente sulla superficie terrestre) rispetto a un riferimento costituito dall'equatore (parallelo zero) e dal meridiano di Greenwich (meridiano zero), e stabilire per ogni punto una precisa corrispondenza tra ora locale e ora del meridiano zero.

Ricapitolando, è avvenuto dunque che, da principio, lo spazio era soltanto luogo occupato dai corpi e relazione posizionale tra i corpi stessi. Diventa, con la prospettiva geometrica e poi con il sistema delle coordinate, un sistema relazionale dotato di coerenza logica; entità geometrica astratta a cui però il mondo fisico non può non soggiacere; dominio quindi di una necessità logica ineludibile.

Diventa quindi *spazio cosmico* nel momento in cui, a partire da Galileo, se ne dichiara l'uniformità e l'omogeneità rispetto a leggi eterne e immutabili che riassumono e traducono in un sistema di equazioni quell'unità dell'*Essere* che ci riporta all'originaria concezione parmenidea. Ma questo concetto di spazio unitario, omogeneo e immutabile, assieme al tempo, a cui dev'essere necessariamente coordinato, rimane pura enunciazione metafisica fino a che non produce effetti controllabili nel mondo fenomenico in cui noi agiamo, con cui quotidianamente ci confrontiamo, ed a cui affidiamo i significati e il senso della nostra esistenza.

Da un lato c'è dunque il luogo dell'attività creatrice e della pura razionalità, della metafisica e del pensiero filosofico che produce immagini e rappresentazioni del mondo, significati e valori; dall'altra c'è l'attività pratica, nel mondo dei fenomeni e delle necessità quotidiane, dove le rappresentazioni e i valori si scontrano con quello che chiamiamo “*realtà*”. Tra questi possiamo pensare la scienza come il solo strumento capace di connettere il momento creativo del pensiero filosofico all'attività ed all'esperienza concreta del vivere. Lo strumento attraverso cui la produzione intellettuale di concetti e immagini del mondo, superando la pura enunciazione metafisica, diventa qualcosa che assume significati nell'operare concreto. Un concetto, dunque, perde il suo carattere metafisico e assume valore scientifico nel momento in cui sono stabiliti criteri e protocolli che consentono di metterlo a confronto con i dati dell'esperienza fenomenica, con la possibilità di prevedere nuovi fenomeni e di produrre tecnologie.

E' appunto ciò che abbiamo visto accadere con lo spazio-tempo. Ma fino a un certo punto.

8. Spazio e tempo: assoluti o relativi?

E siamo così all'ultimo capitolo della nostra conversazione. Perché abbiamo concluso la sezione precedente con l'affermazione “fino a un certo punto”? Riflettiamo su cosa è successo nel momento in cui si è stabilita una connessione unitaria spazio-temporale su scala planetaria. Da un punto di vista sostanziale, tutto questo equivale a fissare un criterio di “simultaneità” tra due eventi che accadono in luoghi diversi. Ma questo criterio è tuttavia limitato e attaccabile sotto vari punti di vista. Il principale è dovuto al fatto che la trasmissione di un impulso elettrico (ma la stessa cosa vale se si usano impulsi elettromagnetici) si può considerare simultaneo per tutti quei fenomeni che abitualmente coinvolgono la nostra vita quotidiana. Ma un impulso elettrico, così come la stessa luce, si propagano in realtà con una velocità che non è nulla, pertanto se vogliamo prendere in esame fenomeni di tipo elettromagnetico, coinvolgente quindi velocità dello stesso ordine del nostro segnale di sincronizzazione, il concetto di simultaneità viene ad essere compromesso in maniera irreparabile. Che senso ha dunque il tempo fino a che non riusciamo a stabilire un criterio di “*simultaneità*” valido anche per la nuova classe di fenomeni? Come facciamo a sottrarlo a quel carattere metafisico che ci impedirebbe un confronto effettivo con i dati del mondo fenomenico?

Gli anni a cavallo tra il XIX e il XX secolo, sono anni che vedono per motivi diversi da una parte la crisi dei fondamenti della matematica, dall'altra una crescente difficoltà a spiegare con i modelli della fisica classica una serie di fenomeni che riguardano la luce e più in generale la propagazione dei campi elettromagnetici²⁰.

Per quanto riguarda la crisi dei fondamenti della matematica, qui possiamo solo richiamare la nascita delle geometrie non euclidee ed i problemi posti dagli sviluppi dell'analisi infinitesimale e della teoria degli insiemi, rinviando a momenti specifici la trattazione di questi temi.

Vogliamo però ricordare come già in questa fase storica siano maturate delle posizioni che preludevano ad una profonda revisione dei fondamenti non solo della matematica, ma anche della fisica. In proposito ci sembra di particolare interesse la posizione assunta proprio in questi anni dal matematico, fisico (ma anche ingegnere minerario) Henri Poincaré. Questi formulò un'originale posizione

²⁰ Questo tema è stato trattato in un successivo seminario, sempre nell'ambito della Mathesis, dalla Prof.ssa Liliana Restuccia.

convenzionalista di cui ci limitiamo per ovvi motivi a un brevissimo cenno, rinviando ai suoi saggi del 1882 e de 1905²¹. Nel secondo di questi, in particolare, egli dà una spiegazione dei concetti di continuità e di spazio attraverso processi di astrazione che partono dall'esperienza sensoriale e dalle concrete operazioni di misurazione. Tra i convincimenti che egli esprime a conclusione del saggio, due ci sembrano particolarmente significative. La prima, relativa alla nozione di spazio, tende a sostituire l'idea kantiana delle “*forme a priori*” con quella di *strutture intellettive* la cui origine andrebbe cercata in parte nell'esperienza sensoriale²² e in parte nelle stratificazioni culturali²³. Da questo punto di vista possiamo dire che la concezione di Poincaré sulle nozioni spaziali precorre sia le posizioni neokantiane di Cassirer sia le teorie psicologiche di Jean Piaget.

Il secondo convincimento espresso da Poincaré, nello stesso saggio, è invece relativo ai criteri di validità di una teoria scientifica. Anche qui viene rifiutato ogni ricorso non solo a concetti metafisici di verità e realtà, ma anche, ancora una volta, ogni idea di “*a priori*”. La posizione “*conservatrice*” nei confronti della fisica classica viene quindi motivata con l'affermazione che una teoria scientifica dovrebbe essere difesa e conservata, attraverso tutti i possibili aggiustamenti, fino a quando non si aprono in essa crepe tali da rendere irrinunciabile il suo abbandono in favore di una nuova teoria. Anche qui troviamo quindi una forte componente di convenzionalismo che per alcuni aspetti può rinviare a quei concetti di scienza normale e di rivoluzione scientifica che molti anni dopo verranno teorizzati da Thomas Kuhn.

Ciò giustifica pienamente, a nostro avviso, l'affermazione iniziale secondo cui la teoria di Einstein era già inscritta in qualche modo nel panorama scientifico-culturale del momento. Ed è forse vero per tutte le rivoluzioni scientifiche. Quando i problemi, le idee, le possibili soluzioni si accumulano fino a costituire le basi di una visione radicalmente nuova, occorre solo che uno scienziato dalla mente “*fanciulla*” abbia il coraggio di dire per primo che «*il re è nudo*»²⁴.

I problemi che la fisica si trovava ad affrontare tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo erano sorti nel tentativo di ricondurre alle equazioni di Maxwell tutti i fenomeni relativi alla propagazione della luce ed a quelli di scala subatomica. Ci si trovava per la prima volta a doversi misurare quindi con grandezze non paragonabili a quelli che si verificano alla scala della nostra esperienza sensoriale. Ciò che ne veniva fuori è che le grandezze in gioco sfuggivano alle definizioni classiche e soprattutto l'ipotesi di uno spazio assoluto (quale è quello newtoniano) e di un tempo assoluto risultavano inadeguati. Le trasformazioni di Lorentz, pensate inizialmente come aggiustamento delle teo-

²¹ Rispettivamente “La science e l'Hypothese” e “La valeur de la science”, entrambe citate in bibliografia..

²² Esprime tra l'altro la convinzione che se l'organizzazione dell'apparato sensoriale umano fosse diverso, probabilmente avremmo una percezione dello spazio con un numero di dimensioni diverso da tre.

²³ La componente culturale nella concezione dello spazio si manifesta soprattutto nei termini che sono stati fissati nei modi e nelle forme della geometria euclidea. Il carattere di convenzionalità di questi aspetti si rivela soprattutto attraverso il riconoscimento di piena legittimità delle geometrie non euclidee, ma non solo. Per es. Poincaré, cercando di spiegare il concetto di continuo ad una dimensione, distingue innanzitutto il continuo fisico dal continuo matematico. Il primo, strettamente legato all'esperienza, nasce dall'operazione materiale di confrontare tra loro grandezze omogenee. Quest'operazione ha ovviamente dei limiti, dal momento che, per le stesse caratteristiche fisiche dell'apparato sensoriale e/o degli strumenti di misura, vi è una soglia minima (poniamo d) nella possibilità di valutare la differenza tra due grandezze, al di sotto della quale non è possibile distinguere tale differenza. Così, se ad es. se A è minore di B e la differenza $d = B - A$ è proprio la minima differenza valutabile, allora se vi è poi una terza grandezza C intermedia tra A e B , sarà impossibile distinguerla da entrambe. Un osservatore che confrontasse C con A , concluderebbe che sono uguali; se poi confrontasse C con B concluderebbe che anche queste sono uguali, ma confrontando direttamente A con B , osserverebbe tra loro una differenza. Il continuo fisico, la cui nozione deriva dalle operazioni di misura e confronto, non gode dunque della proprietà transitiva. Questo dato che costituirebbe di per sé un grave ostacolo al dominio razionale del mondo fenomenico, viene superata attraverso il passaggio dalla nozione empirica di continuo fisico a quella astratta di continuo matematico, in cui la transitività viene convenzionalmente postulata. Ciò chiarisce, almeno in parte, in che senso la concezione gnoseologica di Poincaré assume insieme aspetti di empirismo e di convenzionalismo.

²⁴ Esemplare a questo riguardo è il caso di Gauss che non pubblicò per primo le sue conclusioni sulla questione delle parallele (v. sez. 1) perché, com'ebbe a dire in una lettera, temeva le «strida dei beoti». Conclusioni analoghe furono invece pubblicate per la prima volta dal giovane matematico ucraino Lobachevskij. Questi, infatti batté sul tempo l'altro giovane matematico Bolyai che, pur avendo scritto per primo il suo lavoro, non lo aveva pubblicato in seguito al parere contrario di Gauss.

rie classiche, per conciliarle con i dati sperimentali²⁵, non risolvevano dunque il problema fondamentale che era più profondo e coinvolgeva la possibilità stessa di definire le grandezze fisiche in modo non metafisico, ma traducibile in precise strategie procedurali di rilevazione empirica.

Per quanto riguarda le difficoltà causate dai concetti di spazio e tempo, queste sono connesse con il significato stesso di “*simultaneità*” di due eventi, un concetto che rischia di diventare metafisico se non c’è la possibilità di verifica sperimentale. Il telegrafo, permettendo di sincronizzare due orologi a distanza qualsiasi, aveva consentito di unificare la scala dei tempi, ma ciò andava bene quando si trattava di controllare ad esempio la traiettoria di un proiettile, o altri fenomeni a scala macroscopica e con velocità non paragonabili a quella della luce. In questi casi, infatti, il tempo impiegato dal segnale elettrico per la sincronizzazione è talmente piccolo da risultare trascurabile: l’invio e il ricevimento del segnale possono dunque considerarsi simultanei, ed anzi la stessa procedura di sincronizzazione può essere assunta come una buona definizione di simultaneità. Tutto questo però non ha più alcun valore quando si vogliono studiare fenomeni come quelli elettromagnetici che si propagano con la stessa velocità (o con velocità paragonabili) del segnale di sincronizzazione.

Pensiamo allora di inviare un segnale luminoso di sincronizzazione da un punto A ad un punto B e supponiamo che questo venga riflesso da B ad A. Siano: t_A l’istante in cui il segnale parte da A, t_B l’istante in cui il segnale raggiunge B e viene riflesso, t_C l’istante in cui torna nel punto A. Se $t = t_C - t_A$ è il tempo che intercorre tra gli istanti t_A e t_C , possiamo considerare simultanei due eventi che avvengono rispettivamente in B nell’istante t_B e in A nell’istante $t_A + t/2$? La risposta è affermativa solo se supponiamo che la luce percorre il viaggio di andata e quello di ritorno nello stesso tempo. Per capire cosa comporta questa assunzione, torniamo per un momento alla decisione che abbiamo preso nel considerare come *assoluta* la lunghezza del regolo campione per la misura delle lunghezze e la periodicità di un evento campione per la misura dei tempi: solo a questo punto ha senso la definizione di velocità. Ci troviamo ora nella condizione di dover prendere come assoluta la velocità della luce rimettendo in discussione, e quindi rendendo relative le altre due grandezze coinvolte. In ogni caso non possiamo rinunciare all’assunzione convenzionale di un assoluto, ma nessuno ci vieta di assumere questo o quell’altro se la scelta appare più comoda e funzionale. Da questo momento tutto ciò che segue è consequenziale, anche quando sembra in contrasto con le opinioni comuni più consolidate.

9. Conclusione

Alla fine di questa nota, ci sembra di poter proporre qualche riflessione che, al di là delle questioni specifiche trattate, investe il significato stesso della scienza, le sue potenzialità ed i suoi limiti.

Notiamo innanzitutto l’errore che spesso si commette quando si contrappongono i concetti di assoluto e relativo mettendoli rispettivamente in relazione il primo con la fisica classica (meccanica Newtoniana), il secondo con le teorie relativistiche di Einstein. Speriamo invece che da quanto abbiamo cercato di esporre, emerga con sufficiente chiarezza come ogni teoria fisica, o ancor meglio ogni paradigma scientifico, abbia un suo “*assoluto*”, un suo universo di riferimento indefinito e indefinibile, un nucleo ammesso *dogmaticamente* e supposto privo di problematicità. Può essere la costanza della velocità della luce nel vuoto o la sua isotropia, la costanza delle oscillazioni del cesio, il concetto di spazio assoluto, o di tempo assoluto, o la stessa esistenza di una legge di natura a cui tutto soggiace e che è la stessa in ogni luogo ed in ogni istante.

E’ questo un nucleo metafisico ineliminabile che si ritrova a base di ogni discorso scientifico e senza il quale nessuna teoria, nella sua formale astrattezza, potrebbe assumere per noi significati e valenze. E’ ancora questo nucleo, che si nutre anche di esperienze quotidiane, di valori e di bisogni

²⁵ Con la sua memoria del 1892, (H. A. LORENTZ, *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants*) Lorentz tentava di salvare la teoria dell’etere dopo le esperienze di Michelson e Morley.

umani, di progetti e di speranze, di saperi pratici e di tecnologie (pur senza essere nulla di tutto ciò), è questo nucleo dunque a fornirci i mattoni intelligibili della nostra visione del mondo; a consentire i processi euristici dell'ipotesi e della scoperta.

Perché allora usiamo tanta cura per cancellare, poi, ogni traccia di enunciazione metafisica all'interno del discorso scientifico? Non è forse vero che anche in questa nota si è denunciato il rischio che, senza un'effettiva procedura di determinazione della simultaneità, il tempo restasse un concetto puramente metafisico?

Il fatto è che la scienza, così come si è sviluppata all'interno del pensiero occidentale, può procedere con successo solo se riesce a distinguere il momento formale, quello caratterizzato da linguaggi tecnici e procedure rigorose, dal momento preformale dell'ideazione e dell'euristica. Non c'è nulla di nuovo in tutto ciò: già Archimede, nel suo scritto sul “*metodo*”, confida ad Eratostene come i suoi risultati, prima di essere rigorosamente dimostrati con il metodo di esaurimento (generalmente accettato dagli scienziati), venissero da lui scoperti con un metodo meccanico, di maggiore efficacia euristica, ma ritenuto scientificamente discutibile.

Il positivismo, con la sua lotta irriducibile contro ogni forma di pensiero metafisico, non è riuscita, per fortuna, a cancellare il momento pre-formale della scienza, ma lo ha reso invisibile; o meglio ha condizionato gli occhi e le coscienze in modo da poter guardare senza vederlo. Noi crediamo che questo non vedere il fondo metafisico e pre-formale delle scienze, sia altrettanto negativo quanto il confondere i due livelli. In entrambi i casi ne risulta una visione distorta del fare scienza, dei suoi risultati, delle sue ricadute, dei valori che ne vengono veicolati. E tutto ciò in un momento in cui la scienza si presenta come chiave di volta del nostro futuro e di quello stesso del pianeta.

Bibliografia

- [1] E. CASSIRER, *The problem of knowledge*, Yale University Press, New Haven, Conn., 1950.
- [2] A. EINSTEIN, *On the electrodynamics of moving bodies*, *Annalen der Physik*, 17(1905), pp. 891-921.
- [3] A. EINSTEIN, *Does the inertia of a body depend on its energy content?*, *Annalen der Physik*, 18, (1905), pp. 639-41.
- [4] A. EINSTEIN, *On a heuristic viewpoint concerning the production and transformation of light*, *Annalen der Physik*, 17(1905), pp. 132-148.
- [5] B. ERNST, *Lo specchio magico di M. C. Escher*, Berlino, 1990.
- [6] T. KUHN, *The structure of Scientific Revolutions*, 2^a Ediz. Chicago, 1970, Trad. Ital. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino, 1999.
- [7] H. A. LORENTZ, *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants*, *Arch. néerl.*, 25 (1892), p. 363.
- [8] P. GALISON, *Einstein's Klocks, Poincaré's Maps. Empires of Time*, (2003). Trad.. italiana: *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré*, Milano, 2004.
- [9] A. KOYRÉ, *De l'influence des conceptions philosophiques sur l'évolution des theories scientifiques*, in *Etudes d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, Paris, 1971, pp. 256-269.
- [10] D. GIOSEFFI, *Perspectiva artificialis : Per la storia della prospettiva. Spigolature e appunti*, Trieste, 1957.
- [11] R. MIGLIORATO, *La Rivoluzione Euclidea e i Paradigmi Scientifici nei Regni Ellenistici*, *Incontri Mediterranei*, 11, (2005).
- [12] R. MIGLIORATO, *Corso di Epistemologia della Matematica Parte Prima*, Messina, 2005, Disponibile on line tra i materiali didattici all'indirizzo: ww2.unime.it.
- [13] R. MIGLIORATO, G. GENTILE, *Euclid and the scientific thought in the third century B.C.*, *Ratio Mathematica*, v. 15, 2005, pp. 37-64.
- [14] E. PANOFSKY, *La prospettiva come forma simbolica e altri scritti*, Milano, 1961.
- [15] H. POINCARÉ, *La science e l'Hypothese*, Paris, 1882. Trad. Ital. *La scienza e l'ipotesi*, Milano, 2003.
- [16] H. POINCARÉ, *La valeur de la science*, Paris, 1905. Trad. Ital. *Il valore della scienza*, Firenze, 1994.
- [17] L. RUSSO, *Sulla non autenticità delle definizioni degli enti geometrici fondamentali contenute negli Elementi di Euclide*, *Bollettino dei Classici*, Accademia dei Lincei, XIII, 1992, pp. 25-44.
- [18] L. RUSSO, *The definition of fundamental geometric entities contained in Book I of Euclid's Elements*, *Arch. Hist. Exact Sci.*, 52, No. 3, 1998, pp. 195-219.
- [19] L. RUSSO, S.M. MEDAGLIA, *Sulla presunta accusa di empietà ad Aristarco di Samo*, *Quaderni Urbinati di Cultura Classica*, N.S. 53, (82), 1996, pp. 113-121.
- [20] M. TIMPANARO CARDINI, *Pitagorici. Testimonianze e frammenti*, Firenze, 1962.
- [21] A. SARRITZU: *Modelli matematici e armonia musicale. Una proposta per la didattica*. Atti del Convegno “Quali prospettive per la Matematica e la sua didattica”, Piazza Armerina (EN) 16-19 settembre 2004.