ALBERTO MASANI
Università di Torino

CULTURA

Sul concetto di tempo: breve percorso storico alla luce delle attuali conoscenze di astronomia e di cosmologia

(Pervenuto il 1.10.98, approvato il 21.12.98)

ABSTRACT
We show how since the first human rational speculation the concept of infinite has dominated the time and how the peculiarities with which it has been considered have been modified in the same time that the astronomical researches have become deeper. In our century both the theoretic and experimental bases have been stated in order to reject the infinity; we observe how the concept itself of evolution, accepted as true in many cosmological and biological aspects, appears congruent with the concept of finite time and not with that of infinite. We notice how the concept of finite time rises strong difficulties in comprehension and we conclude that science with its results, sure and definitive in some fundamental aspects, outlines, by specifying them, the terms in which the mystery of being appears in the way it is.

Uno dei primi motivi di riflessione di tipo razionale in cui si è manifestata la cultura umana è caratterizzato dal fatto che il mondo fenomenico appare dominato dal tempo per cui tutto nasce, vive e perisce. Ogni evento particolare si manifesta allora in una forma di profonda problematicità sospeso come appare fra l'essere e il non essere.

Per superare questo stato di cose, oggettivo ma insoddisfacente, si cerca di individuare un elementi in grado di inquadrare l'oggettività del tempo finito in una realta perennemente identica a se stessa. Ciò vien fatto o ritenendo che al di là del mondo fenomenico esiste un Principio eterno, un "Arché" assoluto che sostiene e sovrasta la fenomenologia, oppure che il divenire costituisce l'essenza dell'essere per cui questo eternamente diviene.

In entrambi i casi l'esigenza di armonizzare finitezza e infinità del tempo si concretizza praticamente in una cosmologia in cui il tempo è visto ripetersi con eterna ciclicità.

Come è stato opportunamente rilevato da L. Conti[1] il periodo greco si caratterizza per lo sforzo di soddisfare le esigenze del modo di considerare il tempo sotto l'aspetto del finito e dell'infinito: il tempo, scandito dall'eterno ripetersi circolare (circolo) dei moti dei corpi celesti extralunari fatti di etere (quindi incorruttibili), ha il carattere dell'infinità ma soddisfa le esigenze del finito in quanto la fenomenologia del mondo sublunare è vista ritornare su se stessa (ciclo) attraverso processi di un continuo ripetersi ciclicamente col nascere, corrompersi e perire. Più specificamente l'infinità del tempo è garantita dall'eterno ripetersi circolare dei moti extralunari mentre i moti sublunari, soggetti al cominciamento e al termine, sono partecipi dell'eterno ripetersi dei moti celesti in quanto sono da questi pilotati e dominati e si perpetuano essenzialmente attraverso il continuo mantenimento delle specie.

Proprio questa stretta interdipendenza fra mondo extralunare e sublunare consentiva di collegare le rispettive fenomenologie per cui il regolare ciclico manifestarsi della fenomenologia extralunare consentiva di costituire "un calendario" che rifletteva la corrispondenza con quella sublunare: il calendario quindi non era tanto una "misura del tempo" quanto un mezzo il quale rifletteva tale corrispondenza e permetteva con ciò di sottoporre a controllo la fenomenologia terrestre e adattare a questa il ritmo della vita civile.

Il periodo medioevale mantenne fondamentalmente questa struttura trasfigurata nell'àmbito religioso per il quale la cosmografia dipende strettamente dal suo Autore, Dio, per definizione inteso nella categoria temporale dell'infinito. Il cominciamento del cosmo, garantito dai testi sacri, e l'eventuale fine di esso è visto in una prospettiva temporale che, per S. Agostino, coinvolge esclusivamente l'essere cosmologico (col mondo nasce pure il tempo), il concetto di Dio essendo inteso fuori del tempo, mentre per S. Tommaso l'infinito caratterizza la divinità e il problema del cominciamento del cosmo in un dato istante è trasferito all'atto di fede verso una Volontà Divina di instaurare un rapporto di amore con l'uomo.

L. Conti rileva che il medioevo è sempre dominato dal concetto greco che inquadra la fenomenologia nei moduli della dinamica "circolo-ciclo": "L'azione del governo divino del mondo appariva

[1] L. Conti, *Prismi di verità* - Città Nuova - Roma, 168, 1997.

sì chiaramente visibile nei cieli e in tutte le creature ma non spezzava affatto la cristallizzazione ciclica del corso della natura".

Un tale concetto di tempo si trasforma radicalmente nel Rinascimento, quando "Copernico (sono ancora parole di L. Conti) immobilizzò la sfera delle stelle fisse", causa prima dell'essere di ogni movimento circolare e mezzo col quale, secondo l'astronomia medioevale, "L'azione di Dio passava nel mondo". La trasformazione si impone poi in maniera definitivamente rivoluzionaria con l'affermarsi del "principio di inerzia". Lo studio del moto naturale non si concentra più sulla circolarità: tale legge viene infatti formulata affermando che il "moto naturale" è un moto rettilineo e uniforme. Galileo fa compiere i primi passi a questa nuova concezione ma la ritiene valida solo per i moti terrestri: quelli celesti sono esenti da tale caratteristica: sono circolari in modo "naturale", senza cioè alcun intervento fisico esterno, indici della perfezione voluta dalla precedente cosmologia greco-medioevale; per questo motivo non si può dire che Galileo collochi la terra completamente in cielo!

Lo fece invece Newton che trasferì in cielo quella legge (di inerzia) con la conseguenza che i moti circolari ivi esistenti risultarono moti non naturali, realizzati quindi mediante una azione che costringe quei corpi a seguire una traiettoria diversa da quella naturale, rettilinea e uniforme appunto: risultarono in definitiva moti accelerati e ubbidienti alle assunte leggi (cosmiche) della meccanica.

Il principio di inerzia è un principio di conservazione (della velocità) ed è proprio quest'ultimo che viene trasferito, in quanto proprietà del moto naturale, al concetto di tempo, il quale assume di conseguenza anche il carattere di uno scorrere identico a se stesso attraverso un uguale ripetersi di durate intese come oggettiva fenomenologia cosmica; una di esse, arbitrariamente scelta, può essere assunta come riferimento, come unità di misura. Questo principio garantisce quindi il concetto di tempo come misura in quanto confronto con durate che si susseguono uguali (conservate in se stesse) e assume da questo punto di vista l'aspetto di una definizione scientifica del tempo: il concetto della conservazione sostituisce quello dell'eterno ripetersi naturale dei moti extralunari quali garanzia dello scorrere uniformemente del tempo.

Questo concetto di tempo come durata trovò una matematica formulazione nel '700 quando il calcolo differenziale iniziato da Newton e da Leibnitz fu applicato allo studio della dinamica: fu bandita dalla concettualità fisica l'antica idea di "istante" e venne sostituita dal concetto di un processo al limite di durate considerate sempre più piccole. Meraviglia perciò come alcuni filosofi successivi (Bergson) abbiano criticato il tempo inteso, secondo loro, dalla scienza come successione di istanti: la scienza ha superato questa concezione fin dal suo primo costituirsi in forma moderna; certo essa considera il tempo in senso di oggettiva fenomenologia cosmica, al di là di quello che può essere un "senso della coscienza" o simili.

È da rilevare come il principio di inerzia, combinato con quello della relatività del moto, coinvolge anche il concetto di staticità per cui la quiete, sotto questo aspetto relativistico, viene investita dallo stesso principio di conservazione.

Con l'operazione che pone in tal modo la terra nel cosmo a pieno titolo, l'uomo perse definitivamente il suo posto nel centro dell'universo e acquistò quello di cittadino del mondo.

Ecco come la legge di inerzia, divenuta (con Newton) legge cosmica naturale, segna il tempo e come questo, linearizzato, perde il carattere della ciclicità; si trova però in tal modo di fronte al problema della sua finiteza o infinità questa volta ingigantito dal conseguente problema del "nulla" se dovesse rivelarsi valido il concetto della finitezza.

Nel medioevo il concetto della finitezza temporale era connesso al concetto della creazione divina del mondo ed era visto in tutta la sua problematicità da S. Agostino mentre S. Tommaso e altri erano rimasti legati al concetto di tempo infinito.

Le soluzioni elaborate prescindevano sostanzialmente dall'analisi della fenomenologia ed erano cercate sulla base della razionalità, per cui il concetto di tempo condizionava quello stesso della fenomenologia e della realtà ad essa soggiacente; con l'avvento della legge d'inerzia, la situazione era del tutto invertita perché era la fenomenologia a condizionare il concetto di tempo tramite l'autonomia e autosufficienza acquisite e condizionava in via autonoma la realtà che le soggiace.

Proprio questo concetto di piena autonomia della natura cosmologicamente intesa consente di liberarsi da ogni concetto di ciclicità e di sostituirlo con quello della linearità intesa quest'ultima come uno svolgersi unidirezionale del tempo il quale, se non ha ancora un significato evolutizionistico, vuole decisamente negare ogni possibilità di un "ritorno": la conservazione si attua infatti nel mantenimento, in velocità e direzione, del moto naturale.

La "forza" è pertanto l'elemento tipico che interviene a costringere la spontanea "naturalità" della natura in ogni suo aspetto e si inserisce quale ulteriore elemento con cui la natura manifesta il proprio essere.

Questa concezione estremamente rivoluzionaria matura come si è detto con Newton ed è quella che consente di scoprire la forza di gravità per cui questa può essere considerata riassumere in sé i nuovi concetti della piena autonomia e autosufficienza della natura e quello dell'unificazione del cielo e della terra ponendo compiutamente la "terra in cielo", sganciata dal centro dell'universo e posta in un vero e proprio "punto qualunque" del cosmo.

La linearizzazione del tempo tuttavia, se aveva portato con sé una tale visione dell'essere non per questo era riuscita a cogliere l'intima natura della realtà. Newton ne era ben consapevole: l'introduzione nella struttura del cosmo di una entità, la forza, (appunto quella di gravità), poneva il problema del chiarimento della natura di quella: il modo con cui era stata introdotta era stato indiretto: stabilito che i moti naturali sono rettilinei e uniformi, la forza era una parola a cui veniva riferita la causa dei moti accelerati. Il moto circolare essendo accelerato, anche se uniformemente percorso, richiedeva perciò una forza per essere realizzato; tale forza doveva essere richiesta anche per i moti circolari planetari e satellitari una volta che erano visti anch'essi non più proiettati in un loro mondo etereo dal quale pilotano la fenomenologia terrestre sublunare bensì partecipi della "stessa natura" terrestre, soggetti alle medesime leggi che regolano la fenomenologia sulla terra: i moti celesti in quanto circolari non sono inerziali e richiedono anch'essi una causa oggettiva cui attribuire il loro modo di essere copernicano.

Una tale causa oggettiva veniva quindi introdotta indirettamente, dall'analisi del moto planetario interpretato secondo il modo con cui era stata formulata la legge di inerzia (1ª e 2ª legge della meccanica) ma era una entità di cui si poteva parlare solo dal punto di vista formale senza poter dir nulla della sua natura. Anzi a ben rifletterci appariva oggettivamente incomprensibile: quale è il tipo di azione che la "forza di gravità" esercita fra due corpi "distanti" per cui questi si attraggono? Cosa è che si esercita fra essi per cui si attraggono? La formula di Newton descrive alla perfezione e esaurientemente la fenomenologia, ma la descrive introducendo nella natura una forza di cui non è in grado di dire "cosa è in se stessa" né quale è "il meccanismo" col quale si esercita. Distanti vuol dire "separati dal vuoto, dal nulla"; proprio Newton aveva insistito (contro Cartesio) sulla esistenza del vuoto fra i corpi celesti: la legge di inerzia era considerata manifestarsi in tutta la sua validità nel cielo proprio perché lo spazio è vuoto.

La fenomenologia e con essa la cosmologia mostravano aspetti fondamentali incomprensibili proprio quando sembrava essere riusciti, con la linearizzazione del tempo, a dominarli; questa linearizzazione aveva fatto pagare il prezzo dell'incomprensione all'essere riusciti a disfarsi del complesso meccanismo di sfere, cicli e epicicli, ormai non più oggettivamente credibili, sostituendolo con una capacità di calcolo estremamente soddisfacente per la sua semplicità, in grado di saper calcolare con notevole estensione temporale certe fondamentali fenomenologie naturali accadute nel passato e prevedibili nel futuro: Halley era riuscito a calcolare l'orbita di una cometa (che porta il suo nome) che consentiva di prevedere a distanza di tempo il suo apparire visto dalla terra. Tale capacità era un indice inequivocabile del fatto di aver bene operato a linearizzare il tempo anche se contemporaneamente aveva introdotto un nuovo interrogativo sulla comprensione della natura.

Col 1600 il concetto di tempo aveva due diverse connotazioni: quella di coloro che si attenevano all'aspetto religioso e che sostanzialmente non si scostava dalle caratteristiche tradizionali e quella di coloro che seguivano la nuova concettualità scientifica che considera il tempo come una proprietà oggettiva della natura e adopera questa oggettività quale mezzo di indagine di essa attraverso un processo di misura.

Coloro che coltivavano la direzione filosofica cercavano di comprendere la struttura cosmica attraverso una serrata indagine critica del processo della conoscenza (razionalismo); questi tuttavia sottoposero il tempo a una critica molto profonda da vari punti di vista, e ne evidenziarono la problematicità. Posero le basi però affinché nel 1700 un tale problema fosse pienamente individuato. Kant lo affrontò e lo impostò in questo ambito filosofico riconoscendolo in tutta la sua importanza nel generale processo conoscitivo che coinvolge la scienza stessa.

È ben noto come Kant vide il concetto di tempo sotto l'aspetto dell'interiorizzazione (condizione a priori della sensibilità, insieme allo spazio) ed è noto come, per la riconosciuta impossibilità di conseguire una esauriente conoscenza metafisica, dopo aver rilevato il carattere antinomico insito nel concetto di tempo (finito-infinito), negò la possibilità di conseguire un'esauriente conoscenza di carattere cosmologico, del cosmo cioè inteso nella sua generalità e compiutezza.

Così nell'800 il concetto di tempo assunse, nell'ambito della cultura umana, 3 distinti aspetti che segnavano aspetti fondamentali del frazionamento del sapere, della rottura della sua tradizionale unità e dell'assunzione di autonomia dei diversi indirizzi in cui si articola:

1) quello religioso praticamente tradizionale,

2) quello scientifico che, seguendo l'indirizzo newtoniano, venne visto nel suo aspetto oggettivo, unitario (terrestre e cosmico), fino a sfociare (Laplace, vedi appresso) nell'inquadramento di tutta la natura in un ferreo intrinseco determinismo legato all'ineluttabile scorrere del tempo. Un tale concetto celebrò la sua piena validità in quella grandiosa e meravigliosa formulazione della meccanica analitica e meccanica celeste che trova nel riscontro osservativo e sperimentale spinto fin nei particolari la riprova inequivocabile della sua validità. Da notare che il passaggio dalla ciclicità alla linearizzazione del tempo avrebbe dovuto richiedere, per la valutazione quantitativa del tempo, una unità di misura coerente con la nuova concettua-

lità, avere la garanzia del carattere della costanza e essere in grado di sostenere l'impetuoso sviluppo teorico e sperimentale al quale la teoria newtoniana aveva aperto le porte. Al tempo di Newton questa unità non fu individuata e ci si riferì ancora alla rotazione terrestre, presto precisata nel "giorno solare medio". Intorno al 1960 si constatò che tale unità non ha il carattere di costanza richiesto e nel 1961 si assunse come unità l'anno (tropico, tempo effemeride) la cui costanza si pensò fondata sulla presupposta invariabilità dei parametri astronomici che lo definiscono.

Non tardò a farsi strada la convinzione che, nonostante il passo avanti compiuto, anche una tale unità non ha il carattere di costanza richiesto e occorreva fare riferimento a una unità sganciata dal concetto di ciclicità astronomica non solo più aderente al concetto della linearizzazione temporale ma tale da controllare le stesse unità astronomiche, d'altronde utili per la vita pratica. Nel 1965 fu deciso di far riferimento alla fenomenologia atomica la cui garanzia della invariabilità poggiava questa volta sulla ritenuta costanza delle costanti fondamentali di natura. Ricerche su tale costanza furono condotte esaminando le caratteristiche atomiche (spettroscopiche) delle galassie lontane nello spazio, le quali lo sono corrispondentemente anche nel tempo, e la conferma è stata assai soddisfacente anche se le ricerche sono ancora in piena attività per cui oggi possiamo dire di possedere una unità di misura del tempo che riposa sulla struttura cosmica generale e soddisfa pienamente il concetto della linearizzazione del tempo.

3) quello filosofico che fu praticamente dominato dalla critica dell'empirismo inglese e sfociato presto nel pensiero kantiano; in quanto accomunava il tempo e lo spazio sotto un concetto comune (dell'"a priori della sensibilità") poteva avere il merito di introdurre il concetto della loro stretta interconnessione ma aveva il demerito di indirizzare il pensiero filosofico verso una concezione del mondo ridotta a fenomenologia con un flebile aggancio a una sua oggettività rappresentata dalla "cosa in se", d'altronde tanto flebile da essere destinata a venire rapidamente spezzato. La dichiarata incapacità kantiana di poter coltivare una affidabile metafisica, si frazionò in varie direzioni: idealista (Fichte, Hegel, Schopenhauer, che proseguirà fino a Croce e Gentile), esistenzialista (Bergson, fino a Heidegger), materialista (Marx, Engel, il movimento socialista-comunista), positivista (Comte, gli scienziati in gran parte), realista, ecc. Queste diverse correnti si distinguono, per quanto riguarda il concetto di tempo, in due categorie: quelle che lo considerano nella sua oggettività (e quindi un modo di essere della realtà oggettivamente e autonomamente intesa), da esaminare con metodo scientifico e quelle, di carattere strettamente filosofico, che lo considerano condizionato a un presupposto aprioristico kantiano e che non rinunciano a evidenziare l'attività della mente umana nel processo della conoscenza.

Noi, da scienziati come siamo, aderiamo evidentemente alla prima posizione e riteniamo pertanto che il concetto di tempo, non scisso da altri fondamentali aspetti dell'essere, si elabora negli istituti scientifici sperimentali e teorici (Osservatori Astronomici, Istituti di Fisica, Istituti di Biologia) senza per questo sottovalutare tutta la mole di pensiero compiuta negli istituti di Filosofia, consapevoli che vari elementi di riflessione possano trovare una loro collocazione nel quadro generale elaborato dalla scienza.

Nelle nostre scuole superiori il concetto di tempo è esaminato quasi esclusivamente nel suo aspetto filosofico nell'insegnamento della storia della filosofia ma può costituire un buon motivo didattico illustrare quello scientifico e eventualmente gli elementi filosoficamente validi per una loro possibile collocazione in esso.

La metodologia seguita da Newton partì da presupposti maturati da precedenti indagini, generalizzandoli e estendendoli e segnò le basi del tipo di ricerca che va sotto la sigla di "fisica teorica". Newton, insieme ad Halley, Stuckley e altri, elaborò una teoria in cui l'universo è infinito nello spazio e nel tempo ed è omogeneamente occupato di stelle. Ma questa teoria pose immediatamente due tipi di problemi.

Il primo è che di notte il cielo dovrebbe essere illuminato come di giorno. Ce ne rendiamo conto se si riflette al fatto che l'intensità della luce diminuisce con il quadrato della distanza mentre il numero delle stelle in quel modello aumenta con il cubo della distanza: l'effetto del numero di stelle prevale quindi su quello dell'affievolimento della luce per cui la somma della luce di tutte le stelle dovrebbe comportare un illuminamento "a giorno" della notte.

L'altro problema riguarda la stabilità dell'universo. Se si ipotizza un universo infinito ed omogeneo, in cui tutte le masse sono ugualmente distribuite (isotropo), ogni massa è ugualmente attratta da tutte le altre simmetricamente disposte, per cui deve stare ferma, in equilibrio. Ma si tratta di un equilibrio particolarmente instabile perché qualunque spostamento piccolo a piacere di una massa dovrebbe automaticamente accelerarsi provocando dissimmetrie gravitazionali che ingigantiscono a loro volta amplificando a dismisura l'instabilità gravitazionale (la forza di attrazione è inversamente proporzionale al quadrato della distanza).

La teoria cosmologica iniziale di Newton non può quindi funzionare e lo stesso Newton ne fu consapevole.

Questo fallimento ha tuttavia un lato positivo che consiste nel dirci "come l'universo non è fatto".

I grandi matematici del '700 ignorarono questi problemi ed elaborarono la teoria newtoniana generalizzandola in maniera formidabile. Interpretarono le leggi di conservazione come "l'espressione della piena autosufficienza dinamica dell'universo" e formalizzarono in modo matematicamente preciso concetti di massimo e di minimo dai quali dedurre le stesse leggi della meccanica newtoniana. È questo il procedimento matematico che caratterizza la formulazione della meccanica analitica e della meccanica celeste detta in generale "meccanica classica". Tale meccanica evidenziò la cosmologia meccanica che le è insita e trovò in Laplace il suo più coerente interprete: una volta assegnata la posizione, la velocità e le forze a cui è soggetto un corpo, risulta automaticamente definito senza limitazione di tempo quali saranno le ulteriori posizioni e velocità dello stesso. Se si generalizza questo concetto a ogni componente dell'universo, questo risulta strettamente deterministico, ogni suo oggetto risultando condizionato sia nel passato che nel futuro. Se non potremo sapere come era fatto l'universo nel passato e come lo sarà nel futuro è perché non siamo in grado di determinare in un certo istante qualsiasi, posizione e velocità di tutti gli oggetti cosmici (le forze sono quelle gravitazionali). Solo una mente sovrumana potrebbe farlo! Si tratta quindi solo della nostra pratica limitazione conoscitiva: in se stesso l'universo della meccanica settecentesca è rigorosamente determinato nel passato e nel futuro. Da notare che una tale concezione può trovare consenzienti sia coloro che tengono fermo una infinità del tempo, sia coloro che credono alla sua finiteza; gli scienziati dell'epoca furono prevalentemente fra i primi.

Fin dagli inizi dell'800 la scienza elaborò, oltre alla meccanica, nuovi indirizzi di indagine sulla natura, quali la termodinamica e la chimica cui si aggiunse rapidamente l'elettromagnetismo e lo studio delle geometrie non euclidee.

La termodinamica, con le sue due prime leggi fondamentali formulate nei primissimi decenni del secolo, introdusse un concetto del tempo di fronte al quale la meccanica si trovava disarmata data la sua incapacità di individuare una nomologica dissimmetria del tempo: per la meccanica il tempo è simmetrico nel senso che, se nelle sue equazioni si inverte il segno del tempo, il sistema è descritto percorrere in senso inverso il percorso seguito con l'originario segno del tempo col pieno rispetto delle leggi della meccanica. Tutto ciò senza alcun intervento esterno!

Per la termodinamica, la seconda legge in particolare, tutto ciò non accade: due corpi uno caldo e uno freddo tendono ineluttabilmente al livellamento della temperatura e una volta conseguito non è possibile alcuna ricostituzione spontanea (senza intervento esterno) della iniziale situazione. Il tempo per la termodinamica ha pertanto una "freccia", che è rivolta verso il futuro: l'universo, considerato come un sistema "chiuso", è destinato al livellamento di ogni sua differenza di temperature e, una volta raggiunto, non può ricostituirsi alcuno stato termodinamico differente! Il destino cosmico è quello della morte termica (H.L.F. Helmholtz 1821-1894)!. A parte la problematica che tutto ciò solleva, è importante sottolineare che in tal modo l'universo viene visto sotto un profilo "evolutivo" e ciò implica un tempo "finito" almeno nel passato in cui, in qualche modo, si sono costituite "particolari condizioni iniziali"; un tempo infinito nel passato avrebbe già raggiunto lo stato del livellamento termico generale! La termodinamica si presentava con ciò in grado di soccorrere l'indeterminazione del processo deterministico che Laplace non poteva eliminare; per il meccanico Laplace l'universo è deterministicamente condizionato ma la nostra limitazione conoscitiva non permette afferrare gli innumerevoli particolari con i quali sarebbe possibile stabilire come l'universo si muove nel suo complesso. Adesso però non c'era più bisogno della mente sovrumana capace di conoscere in un dato momento posizione e velocità di ogni componente il cosmo per conoscere il futuro: la seconda legge della termodinamica è in grado di prevederlo anche se, per stabilire la data del conseguimento del livellamento delle temperature, sarebbe stato ancora necessario ricorrere alla precedente mente laplaciana e ad essa sarebbe stato ancora necessario ricorrere per conoscere la data del tempo finito in cui si era stabilita la situazione primitiva nella quale si erano costituite le iniziali differenze di temperatura.

Verso la metà dell'800 ci si rese conto che la natura del calore è riconducibile a concetti meccanici e balzò presto evidente che ciò implicava una profonda incongruenza fra il tempo della meccanica e quello della termodinamica che poteva perfino assumere l'aspetto di una vera e propria contraddizione: se la meccanica è una disciplina che descrive la fenomenologia in termini di simmetria del tempo, come può la termodinamica, che risolve la natura del calore in termini di meccanica, non rispettarne la simmetria temporale? In altre parole, il movimento di un corpo dipende dalle leggi fondamentali che lo pilotano, ma quello che si constata è specificato anche dalle "condizioni iniziali" (posizione e velocità) il cui carattere è di piena arbitrarietà: supponete di invertire a un dato istante solo il senso della velocità delle singole particelle che costituiscono un sistema e questo si svolgerà ripercorrendo "a ritroso", "indietro nel tempo", le stesse fasi percorse in precedenza nel pieno rispetto delle leggi fondamentali meccaniche e ricostituendo spontaneamente iniziali differenze locali di temperatura senza alcun intervento esterno. Come conciliare allora la fondamentale simmetria del

tempo meccanico con l'altrettanto fondamentale dissimmetria del tempo termodinamico che stabilisce addirittura in maniera inequivocabile l'impossibilità del verificarsi della ipotesi precedente?. La termodinamica sostituisce alla simmetria del tempo meccanico la sua "freccia" rivolta verso l'uniformità termica, addirittura dell'intero cosmo proiettata nelle profondità del tempo futuro, il cosmo essendo considerato come un sistema tipicamente "isolato", non soggetto a interferenze "esterne".

Nel 1890 Poincarè rincarò la dose mostrando che in un sistema finito di particelle soggette a leggi meccaniche l'evoluzione avviene in maniera tale che dopo un tempo sufficientemente lungo, funzione del numero di particelle e del loro stato di partenza, esse ricostituiscono uno stato quanto si vuole simile a quello di partenza, per quanto disuniforme sia quest'ultimo, proprio il contrario di ciò che sostiene la termodinamica: donde nasce la dissimmetria temporale che la termodinamica teorizza? Più tardi si rispose in termini di statistica, cioè la termodinamica è valida in senso statistico: entro intervalli di tempo inimmaginabilmente elevati è estremamente improbabile la spontanea ricostituzione termica iniziale, tanto da dare un valore estremamente affidabile alla termodinamica, anche se non proprio nomologico come la meccanica.

Il concetto cosmologico dell'800 è dominato da quello scientifico deterministicamente meccanico ma vanno sottolineate anche le notevoli prese di distanza e opposizioni che vivacizzarono la discussione; fra queste naturalmente le diverse correnti filosofiche che sono derivate dalla filosofia kantiana ma anche quelle che polarizzarono l'attenzione sulla nascente scienza biologica. Un significativo rappresentante di questa è Emile du Bois Reymond (1818-1896) il quale rilevò che il mondo biologico non può essere risolto in termini di meccanicismo e mostra come la biologia indica non solo quanto "ignoramus" (i movimenti che hanno origine nella volontà sono irriducibili a ogni meccanicismo) ma anche quanto "ignorabimus".

Verso la fine del secolo le ricerche biologiche portarono avanti un concetto evolutivo che si affiancò così, scientificamente e in maniera ugualmente importante, a quello termodinamico e cosmico di H. L.F. Helmholtz. L'evoluzionismo di Darwin mostra una qualche similitudine al determinismo lagrangiano in quanto l'albero biologico si svolge in termini di autoconcatenamento e come necessario susseguirsi di eventi che trovano, nei precedenti, la causa del loro manifestarsi in quel modo.

In campo filosofico ricordiamo Nietzsche (1844-1900) il quale esaltò il principio della volontà nel processo evolutivo biologico interpretandolo come "volontà di potenza" per la quale l'uomo evolve oltre l'uomo attuale, verso il superuomo. Si oppose al concetto della linearità del tempo intesa come finalismo che nega la libertà che caratterizza la volontà di potenza e sostenne la ciclicità del tempo, dell'"eterno ritorno dell'ugualen, intendendo con ciò non tanto riaffermare una deterministica ciclicità degli eventi quanto sostenere la negazione della linearità del tempo.

A cavallo dei due secoli '800-'900 H. Bergson (1859-1941) si oppose all'operazione che la scienza fisico-matematica compie sul tempo frazionandolo in istanti statici (abbiamo visto che però ciò non è corretto) che si susseguono secondo una errata astrazione della vera natura del tempo. Questa è da individuare più propriamente nella biologia e, meglio, nell'interiorità della coscienza dove è riconosciuta come "durata", cioè come dinamica che evidenzia la libertà dell'"evoluzione creatrice" e si concretizza nell'"élan vital" che domina tutta la natura.

Verso la fine dell'800 Mach rivolse una critica approfondita al concetto di forza e a quello, strettamente connesso, di massa: cosa è una massa? Generalmente viene intesa nel modo immediato con cui è stata formulata la meccanica newtoniana: ciò ha finito per far sì che la si intende oggettivamente come una proprietà appartenente a un dato corpo, anzi come costituente la sua natura intima.

Abbiamo già posto alcune domande relative alla natura della massa e della conseguente forza necessaria per conseguire una accelerazione. Mach sottolineò che questa forza è il mezzo che aggancia ogni corpo a un sistema di riferimento il quale è individuato dalla materia generale dell'universo: non disse in che cosa consiste l'influenza della materia distribuita dell'universo su un oggetto particolare e che fa sì che per accelerarlo occorre una forza; altrimenti detto, che dà ad esso una massa. Avanzò tuttavia una critica al modo con cui fenomenologicamente si parla di massa di un corpo e rilevò come, in un ipotetico universo privo di tutti i corpi eccetto quello in esame, non avrebbe senso parlare della possibilità di accelerarlo per la mancanza di un sistema di riferimento. Da ciò il sostegno alla proposta che la proprietà della massa di un corpo non deve essere pensata come un "qualche cosa" in sé del corpo bensì un rapporto fra quel corpo e tutti gli altri corpi distribuiti nel cosmo (vedi anche appresso).

Un ulteriore argomento si presentò alla fine dell'800 e divenne di fondamentale importanza nel nostro secolo. Si pensava che la luce, riconosciuta dall'analisi dell'elettromagnetismo maxwelliano avere natura ondulatoria, potesse propagarsi dalle stelle fino a noi attraverso un mezzo, l'etere, che oltre a costituire il supporto necessario alla propagazione ondosa avrebbe potuto costituire il sistema fondamentale di riferimento cosmico. Si cercò allora di mettere in evidenza il moto della Terra ri-

spetto all'etere e, come è noto, l'esperienza di Michelson negò questa possibilità. Da ciò derivò l'impossibilità di mettere in evidenza l'esistenza di un sistema di riferimento assoluto e ciò aprì la strada al concetto che la velocità della luce è costante qualunque sia il sistema di riferimento; la velocità della luce c venne intesa come limite non sommabile rispetto a qualsiasi altra velocità v (cioè v + c = c, analogamente a v + infinito = infinito): non è possibile realizzare una velocità superiore a quella della luce. Questo concetto secondo il quale la velocità "finita" della luce costituisce un limite insuperabile non solo costituiva una prima vigorosa barriera al concetto di infinito ma addirittura vi si sostituiva in quanto ne svolgeva certe funzioni. Naturalmente poiché la velocità è una sintesi di spazio e di tempo anche questi stessi concetti venivano direttamente coinvolti dalla realtà di un tale specifico modo di essere.

Questo limite era già implicitamente compreso nelle equazioni dell'elettromagnetismo e nella fenomenologia ad esso relativa, ma non fu immediato rendersene conto: se ne rese conto Einstein il quale, senza far riferimento all'esperienza di Michelson, sviluppò una rigorosa analisi critica dello spazio e del tempo autonomamente intesi per riconoscere un loro imprescindibile collegamento sintetizzato nel principio della velocità limite della luce. L'analisi del rapporto fra moti rettilinei uniformi condizionati dalla loro fondamentale simmetria (per cui se non è possibile riferirsi a un sistema di riferimento esterno ciascuno ha diritto di considerare se stesso fermo e l'altro in moto) visto alla luce del principio della velocità limite della luce portò alla formulazione della teoria particolare della relatività (1905). Tale simmetria e condizionamento fu codificata da Minkowski in una sintetica e espressiva descrizione matematica rappresentata da quattro dimensioni spaziali una delle quali però ha il significato di un tempo (essendo data dal prodotto ct (c essendo adesso una costante universale) e rappresentando quindi lo spazio percorso dalla luce in quel tempo); tale espressione matematica è detta "metrica" in quanto rappresenta le proprietà metriche di una geometria particolare, cinematica, in maniera analoga a come il teorema di Pitagora rappresenta le proprietà metriche della tradizionale geometria tridimensionale spaziale. In quest'ultima geometria la linea che congiunge per la più breve due punti distanti è la linea retta e in linguaggio generalizzato può dirsi "geodetica" di quella geometria (pitagorico-euclidea).

Per quanto precede, la nuova metrica si riferisce a una particolare geometria spazio-temporale e la sua geodetica esprime allora una sua proprietà intrinseca che questa volta rappresenta un moto naturale (cioè non soggetto a forze), che ha luogo per se stesso, relativo a quella struttura fatta solo di spazio e tempo; potremmo dire relativo a un universo fatto solo di spazio e tempo; questo moto risulta essere rettilineo uniforme e in quanto naturale esclude l'intervento di qualsiasi azione (forza) esterna e coincide pertanto con la legge di inerzia. Tale geometria fu detta "pseudoeuclidea" in quanto aveva una struttura particolare che la differenziava da quella formale di natura pitagorico-euclidea, ma veniva inserita nell'ambito più vasto che, fin dalla metà dell'800, i matematici avevano studiato come geometrie non euclidee.

Le formule di trasformazione dalle misure di spazio e di tempo, condotte in un sistema di riferimento a quelle di un altro sistema in moto relativo rettilineo uniforme rispetto al primo, coincidevano con quelle già trovate da Einstein (anzi da Lorentz, dedotte alcuni anni prima per spiegare il risultato nullo dell'esperienza di Michelsom-Morley ma interpretate diversamente da come veniva fatto adesso) e sancivano il fatto che lo spazio e il tempo sono così connessi da comportare non solo che nessun osservatore può misurare velocità maggiori di quella della luce ma altri effetti fra cui il fatto che il tempo scorre più lentamente per l'osservatore che viene riconosciuto in moto rispetto a quello che si considera fermo.

L'elaborazione minkowsckiana divenne la forma definitiva della relatività particolare e si impose rapidamente nelle conseguenze relative alla notevole modifica dei concetti classici di spazio e tempo assoluti oltre al concetto di massa in quanto impossibilità di poter accelerare indefinitamente un corpo e fargli superare la velocità della luce.

Se è possibile riferirsi a un sistema di riferimento diverso dai due, l'alternativa di quale è fermo e quale in moto è risolubile nel senso di rapportare al primo riferimento lo stato cinematico di ciascuno; altrimenti non è risolubile, anzi non ha senso neppure porre la questione, poiché ciascuno ha diritto di ritenere se stesso fermo e l'altro in moto.

Tutto ciò non tardò tuttavia a far rilevare una fondamentale incongruenza e a riconoscerla addirittura paradossale (e a turbare i sogni dello stesso Einstein quando gli fu fatta notare). Teniamo dunque fermo che per un osservatore che si muove rispetto a un altro il tempo scorre per lui più lentamente che per l'altro; il moto essendo relativo ciascuno dei due ha ragione di ritenere che è l'orologio dell'altro a andare più lentamente. Se i due non hanno occasione di incontrarsi ciò non provoca guai ma se l'incontro avviene ci si trova di fronte a una contraddizione. Fu proposto un famoso esempio: siano due gemelli uno dei quali rimane a terra e l'altro viaggia con velocità molto elevata nello spazio e poi torna indietro. Quando ritrova il gemello rimasto a terra, chi ha diritto a ritenersi più giovane potendo ciascuno, per la relatività del moto, considerare se stesso essere stato fermo e l'altro in moto? La questione non fu risolta immediatamente ma non si tardò a approfondire la fisi-

ca dell'esempio e trovare una soluzione chiarificatrice: il gemello che viaggia subisce delle accelerazioni per raggiungere quella velocità (quindi subisce una forza) e per compiere la data traiettoria. Ciò consente di distinguere chi è in moto e chi non lo è: chi resta fermo non avverte forze di accelerazione e in definitiva costituisce un sistema di riferimento (la materia cosmica appunto) a cui entrambi i gemelli possono far capo; chi parte sente queste accelerazioni finché non ha raggiunto la velocità costante voluta. Con ciò non esiste più l'ambiguità che si generava quando il moto era uniforme: il gemello che ha viaggiato è più giovane di quello che è rimasto fermo! Il problema è risolto col chiarificare la validità dei risultati della teoria particolare della relatività, rilevando che l'apparente contraddizione sta nel considerare simmetriche due situazioni fisiche che "in realtà" non lo sono, essendo stato introdotto un sistema fondamentale di riferimento, proprio quel sistema che, secondo Mach, dà concretezza alla massa e alla conseguente forza necessaria all'accelerazione.

La massa e la forza che la accelera hanno un po' la stessa misteriosità della forza di gravità pur nella loro differenza: nel moto rettilineo la massa del corpo nasce dall'interazione (machiana) con tutto l'universo come pure quella dei due corpi, centrale e periferico, del moto circolare ma mentre nel primo caso la forza accelerante proviene dall'esterno, nel secondo si stabilisce fra i due corpi in base ai valori delle masse e della distanza (legge di Newton).

La relatività particolare aveva bandito l'etere dall'universo spazio-temporale e con ciò anche ogni possibilità di disporre di un sistema di riferimento rispetto al quale poter stabilire quale dei due gemelli può essere considerato fermo e quale in moto. Essa aveva fatto così l'astrazione sulla realtà di considerare la struttura spazio-temporale in se stessa, condizionata dall'essere tale da non poter dar luogo a velocità superiori alla velocità della luce aveva trascurato la presenza della materia che costituisce pure un elemento fondamentale della struttura dell'essere tanto che senza di essa neppure di spazio tempo si può parlare; basta pensare al fatto, sopra rilevato, che proprio la presenza della materia può dare un significato al sistema di riferimento fondamentale.

Questa limitatezza fu presa in esame nel volgere di 10 anni e nel 1915 Einstein estese la teoria precedente generalizzando la metrica di Minkowski per renderla capace di rappresentare una struttura spazio-tempo-massa cioè un "universo" ancora molto semplificato (metrica generalizzata di Einstein, teoria della relatività generale) costituito da un solo punto massa. In tal caso la massa è considerata esistere per sé, come data a priori.

Come è noto, una caratteristica del moto rettilineo uniforme consiste nel fatto che nel suo svolgersi (e finché rimane tale) la massa del corpo che lo percorre è cieca: dal solo esame del moto rettilineo uniforme non è possibile risalire alla massa del corpo. È noto pure che la stessa caratteristica si riscontra nel moto gravitazionale: il moto di un corpo soggetto a un campo gravitazionale si svolge indipendentemente dalla sua massa per cui anche adesso, dal solo esame del moto gravitazionale, non è possibile risalire alla massa del corpo in moto (si suppone che la massa di questo corpo sia sufficientemente piccola da non alterare il campo gravitazionale nel quale si muove).

Una tale indipendenza dalla massa è tipica anche del concetto di geodetica della metrica minkowskiana, dei moti rettilinei uniformi; è pertanto pensabile di poter ideare una metrica più generale le cui geodetiche possano rappresentare i moti gravitazionali. Se ciò è possibile il moto gravitazionale viene visto come un moto "naturale", "inerziale" e, in quanto non soggetto a forze, estraneo alla massa.

Einstein si cimentò in questa impresa e si riferì a un universo molto semplificato costituito da un solo punto massa (stella) la cui metrica pertanto dipende solo da questo punto e riuscì, generalizzando la metrica di Minkowski a stabilirne una che esprimeva la naturalità dei moti gravitazionali intorno a questo punto. Le geodetiche relative alla nuova metrica, risultano coincidere con i moti delle leggi kepleriane, anzi sono in grado di comprendere anche certe particolarità (il moto di precessione planetaria) che la stessa meccanica newtoniana generalizzata del '700 si era dimostrata incapace di comprendere. Naturalmente se la massa del punto massa è nulla, si riottiene la metrica di Minkowski e quindi si ricade nell'ambito della relatività particolare. Questo formalismo che descrive i moti planetari come geodetiche di una metrica opportuna non fa ricorso all'intervento di alcuna forza di gravità di newtoniana memoria e si presenta quindi come una teoria generale del fenomeno del moto gravitazionale. Con tali procedure il moto rettilineo uniforme e accelerato vengono entrambi conglobati sotto il concetto di "geodetiche" di strutture geometriche particolari.

Da quanto precede deriva una importante conseguenza: il concetto di tempo viene visto nel suo aspetto lineare non solo per quanto abbiamo detto a proposito del formalismo newtoniano del principio di inerzia ma anche per il formalismo attuale, einsteiniano, relativo al moto ciclico (ellittico kepleriano) gravitazionale: la durata di uno di essi è adesso garantita nella sua conservazione, nel suo uguale ripetersi temporale, e può costituire una valida unità di misura del tempo. Tutto ciò in quanto l'universo ideale presupposto è privo di qualsiasi possibile perturbazione esterna (il resto è vuoto).

Data la maggiore capacità di comprendere il moto planetario nei particolari osservativi, si è ri-

tenuto che la trattazione della relatività generale costituisce una teoria della gravitazione che chiarisce addirittura "la natura" di ciò che Newton ha chiamato forza di gravità: si tratta di strutture spazio-tempo-massa le cui geodetiche vengono percorse con "moto inerziale" quindi "naturale", senza alcun intervento estraneo: la forza di gravità non esiste come tale, in se stessa, oggettivamente intesa.

Ciò implicava la necessità di rivedere la formulazione newtoniana delle leggi della meccanica poiché questa volta alla accelerazione dei moti dei corpi celesti, tanto suggestivamente unificati alla fenomenologia del peso terrestre, non corrisponde alcuna forza: quei moti sono adesso "naturali" e in questo senso "inerziali", rappresentati dalla nuova formulazione della geodeticità di una metrica che si presenta come caratterizzante le proprietà strutturali e quindi metriche di un particolare universo. In tal modo si adatta a comprendere la formulazione newtoniana quale casi particolare di universo la cui metrica è di tipo euclideo.

Ma ormai tutto era stato impostato in maniera da affrontare una ulteriore generalizzazione, quella di considerare una struttura spazio temporale con masse immerse in maniera mediamente uniforme (universo a densità costante); intorno agli anni '20 si cercarono metriche che si riferiscono a questo modello cosmico (naturalmente ancora schematico e semplificato) e si esaminarono dopo varie ricerche quelle le cui geodetiche hanno un punto in comune (singolarità: densità infinita, tempo zero, origine dell'universo). In tal caso il tempo acquista il significato di tempo (cosmico) ancorato strettamente a tutta la struttura cosmica la quale risulta essere non statica: in espansione o in contrazione.

L'introduzione di un tale tempo cosmico è quindi quella di un tempo "finito", almeno nel passato e sostiene il concetto dell'evoluzione alla cui specificazione è devoluto lo studio dell'astrofisica e cioè lo studio del comportamento fisico che deve aver luogo nelle condizioni spazio-temporali che con l'evoluzione si realizzano, dalle primissime fasi iniziali a quelle successive. In tal modo si risolve anche la contraddizione già rilevata fra il tempo simmetrico e quello dissimmetrico della termodinamica: lo stato termico iniziale di un sistema meccanico isolato dall'esterno non è spontaneamente ricostituibile a partire da uno stato posteriore (in particolare da quello in cui la temperatura si è uniformata) per varie ragioni fra le quali quella che, in termini newtoniani, non ha senso parlare di sistema "isolato": tutto l'universo è presente in ogni essere singolo (Mach) e tale universo si modifica (si espande) continuamente per cui l'effetto "esterno" a ogni ente parziale non è eliminabile neppure concettualmente ed è esso stesso in evoluzione; ciò significa che, se anche in un dato istante si inverte il segno delle velocità delle singole particelle che compongono un sistema, nel percorso "a ritroso" l'influenza dell'esterno non è più quella di prima; le condizioni "ambientali" cambiano continuamente. Poincarè non conosceva l'espansione cosmica e non poteva tener conto del fatto che essa implica appunto un inevitabile continuo cambiamento delle condizioni ambientali che impediscono che tutto possa comportarsi secondo le ipotesi necessarie alle conclusioni che egli traeva: il tempo non è simmetrico neppure cosmologicamente parlando; esiste una "freccia cosmologica del tempo" che presiede tutta la fenomenologia e per la quale l'universo "evolve": il tempo è veramente finito almeno nel passato e perciò non può essere considerata assurda un'eventuale possibilità di finitudine anche nel futuro!

Quanto precede è un meraviglioso esempio di come la scienza, pur nel suo carattere descrittivo formale della fenomenologia con l'introduzione di certe immagini soggettivistiche (forza di gravità, curvatura spazio-tempo-massa, campo elettromagnetico, ecc.) che debbono poi essere riconosciute non oggettivamente reali, non isolate in se stesse, finisce tuttavia per superare la propria formalizzazione e per presentarsi capace di affondare le radici nella profonda realtà dell'essere, svelarla alla conoscenza sì che ciascuno possa inquadrarla nella propria visione spirituale generale nella quale riposa il "senso" dell'essere e procedere eventualmente a un maggiore approfondimento di quest'ultimo col riconoscimento del modo in cui è. Nei primi decenni del '900 la meccanica quantistica modificò ulteriormente il concetto di materia e di energia elettromagnetica quando mise in evidenza che entrambe possono essere considerate costituite da enti elementari che, a seconda dello strumento con cui li rileviamo isolatamente, danno luogo a fenomeni i quali consentono di considerare quegli "enti" come fossero veri e propri corpuscoli oppure vere e proprie onde per cui di essi non è possibile farsi un' idea intuitiva.

Mentre si perveniva a una tale concettualità (fine degli anni '20) in campo astronomico si concretizzava la scoperta dell'espansione cosmica delle galassie (Legge di Hubble, 1925: la velocità di allontanamento di una galassia dall'altra è direttamente proporzionale alla loro distanza relativa), elementi che concordano con le indicazioni fornite dalla cosmologia della Relatività Generale.

Agli inizi degli anni '20 era stato messo in evidenza (Friedman) teoricamente che le equazioni di Einstein implicano che l'universo o si espande o si contrae (risultato in un primo momento ritenuto da Einstein matematicamente valido ma privo di qualsiasi significato realistico). I dati osservativi di Hubble ottenuti alla fine di quegli anni indicarono che l'espansione è reale per cui nelle prime decadi del nostro secolo il concetto cosmologico poteva

così sintetizzarsi: la massa, cioè la materialità di un corpo, è una proprietà che rapporta un oggetto a tutta la materia dell'universo; quindi gli oggetti cosmici tutti insieme costituiscono il sistema di riferimento fondamentale che è quello che "sostanzia" l'essere materiale di ciascuno di essi. Lo spazio, il tempo e la massa si connettono reciprocamente secondo una geometria le cui geodetiche rappresentano moti naturali per cui gli oggetti che le percorrono non sentono forza né possono manifestare la propria massa. L'universo materiale come un tutto segue le geodetiche della metrica che gli è propria e dà luogo all'espansione la quale pertanto è un fenomeno naturale essa stessa, non dovuta cioè ad alcuna forza che la provoca; l'espressione Big-Bang, apprezzabile in senso pittorico, è da rifiutare come sinonimo di bomba i cui componenti sono espulsi da una forza. Il tempo, con lo spazio e la materia, hanno un'origine che può essere datata rispetto a oggi percorrendo a ritroso il processo espansivo.

In questo modo non solo si contravviene alla concezione kantiana di non poter fare cosmologia scientifica, ma si riesce a individuare nell'esperienza elementi che impongono un concetto di tempo oggettivo e finito.

Naturalmente si può obiettare che i risultati osservativi ci permettono di interpretare solo una parte dell'universo e non la sua totalità ma si può rispondere che la totalità è rappresentata dalla teoria e dal conforto che i risultati osservativi possono portarle adeguandovisi, almeno fin dove siamo riusciti ad osservare. Tutto sta a valutare quanto è significativa la parte osservata nei confronti della totalità. Ad esempio, l'espansione osservata è generale e valida al di là delle distanze raggiunte dalle nostre osservazioni?. L'impegno che si pone è dunque quello di dominare un raggio di osservazione il più esteso possibile e per far ciò occorre costruire "telescopi" (tradizionali e non) sempre più potenti che consentano di "vedere" a distanze sempre maggiori o comunque più profondamente e ulteriori elaborazioni teoriche; è naturalmente ciò che è stato fatto specialmente dopo il 1950, gli anni '40 essendo stati dominati dagli eventi bellici.

Teniamo conto che, essendo la velocità della luce finita, la luce proveniente da una galassia è partita molto tempo fa, quindi noi vediamo l'universo in proiezione temporale, vediamo il suo passato. Allora, se si potesse guardare tanto lontano nello spazio e nel tempo, sarà possibile vedere addirittura l'atto di nascita dell'universo stesso?. Praticamente no: dal punto di vista ottico il nostro raggio di osservazione termina alla distanza di circa 300.000 anni dal tempo zero, impediti come siamo a osservare tempi minori da quelli corrispondenti alla presenza della radiazione di 3 K (vedi appresso) che rappresenta un velo ottico che impedisce di poterci spingere oltre se stessa. Con la tecnica "neutrino" (quindi non più ottica) attualmente molto avanzata ma non ancora al punto di realizzare le possibilità teoriche, il limite potrebbe essere spostato a qualche frazione di secondo, sempre dal tempo zero! Ma anche limitatamente al limite dei 300.000 anni si può ritenere che se proprio tutto l'universo non può dirsi raggiunto dalle nostre tecniche sperimentali, tuttavia queste ci hanno consentito di abbracciare una parte dell'universo che non è trascurabilmente piccola bensì assai grande da poterla considerare significativa per parlare a nome della sua totalità.

D'altronde la fisica teorica con la ricerca sulla più intima struttura dalla materia (quark e simili) affonda il suo sguardo a frazioni di secondo dal tempo zero veramente minimi. Nei suoi più recenti sviluppi si parla perfino di frazioni dell'ordine di 10^{-35}; anzi perfino di 10^{-45}s!, il cosidetto tempo di Plank.

Ammettiamo allora che la parte di universo fino a oggi sperimentata valga a confortarci nella possibilità di poterci riferire a tutta la struttura cosmica, anche quella che non riusciamo a vedere. Si può asserire che il tempo ha avuto un effettivo inizio e che, come indica la cosmologia Big-Bang, è accaduto, circa 15 miliardi di anni fa. Se quindi c'è stato un momento in cui l'universo era tutto condensato in un punto, per le leggi della termodinamica che conosciamo, la sua temperatura doveva essere estremamente elevata. Inoltre dobbiamo tener conto che nei primissimi istanti di vita dell'universo, oltre alla materia calda vi era anche la radiazione elettromagnetica. Riesaminando tutto il processo di espansione si trova che la componente elettromagnetica non può essere scomparsa. Essa deve essere ancora presente ma deve aver subìto l'effetto dell'espansione. Effettivamente è stata scoperta da Penzias e Wilson nel 1965 con una temperatura di 3 K (radiazione fossile) apportando così una fortissima testimonianza alla validità della cosmologia Big-Bang.

Contemporaneamente si può calcolare quale doveva essere lo stato della materia nelle condizioni fisiche delle primissime fasi cosmiche (particelle allo stato elementare e radiazione) e come doveva seguire gli effetti dell'espansione generale. Si calcolano così i processi nucleosintetici che a un certo momento (dopo pochi minuti dall'inizio) dovevano innescarsi e i prodotti conseguenti, deuterio e elio specialmente. Poiché il deuterio non viene prodotto dalla susseguente evoluzione stellare, l'abbondanza originale rimane praticamente invariata e il riscontro sperimentale oggi condotto, (15 miliardi di anni dopo), si aggiunge alle ricerche sulla espansione, a quelle della radiazione di 3 K, alla composizione chimica media, e dovremmo aggiungere al valore della densità media cosmica attuale: 3.10^{-31} g cm^{-3}) a costituire una riprova della validità del modello cosmologico del B.B..

Ecco che senza bisogno di spingersi troppo in là con le osservazioni, elaborando opportunamente aspetti teorici ed osservativi, è possibile affrontare la questione del binomio finito-infinito relativo al tempo e risolverla su base osservativa: tutto concorre a confermare la validità della teoria cosmologica evolutiva nella forma cosiddetta del Big-Bang per la quale il tempo è finito almeno nel passato. Da rilevare che i dati osservativi escludono al momento la possibilità (teorica) che l'espansione possa in futuro arrestarsi e seguire una fase di collasso. Se ciò non fosse risultato altamente improbabile si sarebbe potuto pensare a un ripetersi ciclico di successive fasi espansive e di collasso che avrebbe potuto soddisfare i nostalgici del tempo infinito in una visione che, per quanto essenzialmente diversa, poteva riecheggiare il ripetersi ciclico dei greci e non solo dei greci.

D'altronde l'esigenza del tempo infinito non è facile vederla scomparire e d'altra parte, scientificamente parlando, è bene non escluderla a priori e vedere se è possibile che i dati di osservazione che confermano la teoria B.B. possano essere compresi anche in una cosmologia del tempo infinito. La teoria dello Stato Stazionario (S.S.) tenta proprio un'impresa del genere.

Questa teoria è stata presentata dagli autori sotto diverse versioni; in quelle più recenti l'universo si manifesta attraverso vari cicli che si susseguono secondo una particolare successione: evidente destino che dal tempo greco e medioevale persegue coloro che vogliono difendere il concetto dell'infinità del tempo! Sembra proprio che se si vuole allontanare ogni prospettiva di una finitudine del tempo, il ricorso ai cicli interni all'eternità appare inevitabile.

Bisogna tuttavia convincersi che, come Kant ha rilevato, il binomio finito-infinito è antinomico, per cui dal punto di vista di una logica formale ciascuno dei due termini presenta difficoltà di comprensione insuperabili. Ciò significa che nessuno dei due termini è in grado di offrire una visione esente da grosse difficoltà di intuizione. L'unico modo di superare l'impasse consiste, a nostro avviso, nell'affidarsi all'esperienza, all'analisi scientifica e accettare quello dei due termini del binomio che risulta rispondere alla natura e affidarsi ad esso quale dono che la scienza offre alla riflessione filosofica e religiosa.

La differenza sostanziale tra le due teorie, quella del Big Bang (che ammette la finitezza del tempo e dell'universo) e quella dello Stato Stazionario (che ammette l'infinità del tempo e quindi un universo eternamente simile a sé stesso sia pure mediamente e ciclicamente inteso), consiste in questo: nella prima, la gran parte dei dati osservativi le sono congruenti, discendono cioè come conseguenze della teoria stessa; vi sono alcune questioni importanti che aspettano ancora di essere coerentemente comprese in questa cosmologia quale ad esempio come si sono formate le galassie dopo il disaccoppiamento della materia dalla radiazione. il valore della densità barionica attuale (3.10^{-31} g cm^{-3}) pienamente concorde con il calcolo delle abbondanze del deuterio e dell'elio è però inferiore a quella (10^{-29} g cm^{-3}) che richiede lo studio fisico delle primissime fasi evolutive cosmiche inflattive (le quali però risolvono bene alcune caratteristiche fisiche osservate altrimenti di difficile comprensione); la differenza può essere coerentemente compresa dalla teoria B.B. se l'universo attuale contiene, oltre alla precedente quantità di materia barionica, una quantità di materia "non barionica", in quantità più di un ordine superiore alla prima e di natura sconosciuta alla ricerca sperimentale ma che la fisica teorica delle primissime fasi cosmiche sta studiando ultimamente con risultati positivi. Nella seconda è necessario introdurre delle ipotesi ad hoc per giustificare varie fenomenologie.

La maggior parte dei cosmologi di oggi ha validi motivi di ritenere che le varie problematiche ancora aperte troveranno una soddisfacente risoluzione nell'ambito della teoria cosmologica del B.B. e pertanto la ritiene la teoria che si adatta effettivamente alla natura e quindi che il tempo, lo spazio e la materia hanno avuto veramente un inizio.

Infine una parola di chiarimento relativo alla valutazione dell'entità di un intervallo temporale numericamente espressa: l'unità di misura a cui normalmente ci si riferisce in astronomia è l'anno, l'intervallo temporale che la terra impiega a orbitare intorno al Sole. Esso è fondamentale per quanto riguarda la regolamentazione dell'attività umana ma non ha di per se alcun significato cosmologicamente importante. Astronomicamente parlando assai più significativo sarebbe un intervallo temporale di 10^9 anni nel quale si manifesta la normale fenomenologia cosmica. Ciò significa che l'universo, la cui età secondo la teoria B.B. (ma anche quella del ciclo attuale secondo la teoria S.S. nella sua più recente formulazione) si esprime in queste unità col semplice numero 15, è da considerare fondamentalmente "giovane". Una tale valutazione non è un giuoco numerologico ma trova riscontro in un concetto che fa riferimento a una misura del tempo che prescinde dalla normale unità basata sull' anno: in un universo evolutivo che ammette un'"origine" ogni fenomenologia che tale evoluzione definisce può costituire un "orologio cosmico" le cui lancette sono rappresentate dal livello via via raggiunto; possono svolgere allora il compito di misurare il "tempo cosmico" ad esempio il valore del raggio dell'universo, oppure quello della della temperatura della radiazione di fondo (oggi 3 K), oppure ancora quello della composizione chimica media della materia cosmica. Naturalmente le tecniche per valutare questi valori non hanno una precisione che può soddisfare le esigenze pratiche di

misura del tempo ma hanno una grandissima importanza concettuale; ad esempio l'orologio cosmico definito dal valore della composizione chimica media dell'universo ha le lancette costituite dal contenuto di elementi pesanti (oltre l'elio e il litio) il quale cresce col tempo in seguito all'attività dell'evoluzione stellare e, da un iniziale valore nullo, ha raggiunto, oggi, il ben piccolo valore di 0,04 (in peso). Questo valore è da considerare del tutto equivalente al valore 15.10^9 anni che si ottiene se si usa l'anno astronomico come unità di misura del tempo ma, rispetto a questo, ha la grande importanza concettuale di sostenere, con un valore così piccolo ma preciso e oggettivo, il concetto di "universo attuale effettivamente giovane". Ne segue che tempi minori di 10^9 anni sono da considerare cosmologicamente brevi, tanto più brevi quanto più inferiori a un tale valore; in particolare estremamente breve deve considerarsi l'anno cui noi normalmente ci riferiamo e di conseguenza anche i fenomeni che, riferiti ad esso, si esprimono con piccoli numeri: vita media degli uomini (decine di anni), loro manifestazione come civili (qualche migliaio di anni) e, ancora, loro presenza sulla terra (qualche milione di anni), ecc.

Varie sono le osservazioni che possiamo trarre da questo precede e noi ci soffermeremo in particolare sulla seguente: se l'universo fosse temporalmente infinito il concetto di evoluzione non avrebbe significato perché gli eventuali cambiamenti si concluderebbero in sé stessi, localizzati come risulterebbero sia nel tempo che nello spazio (Teoria degli Infiniti Ritorni). Nell'infinità non può trovar posto il concetto di evoluzione; semmai quello di un cambiamento che annegherebbe però nel mare infinito dello svolgersi del tempo.

Se il tempo ha avuto un inizio, il concetto di evoluzione ha un senso, quello cioè di una struttura cosmica che oggi ha caratteristiche diverse da quelle di ieri e di domani in scala evolutiva. Il concetto di evoluzione è strettamente legato a quello della finitezza del tempo. Ciò solleva tuttavia vari problemi proprio sul concetto di tempo: 1°, quello del significato, non solo formale, del tempo "zero"; non ci si può sentire dispensati, come invece suggerisce la corrente di pensiero positivistica, dal riflettervi, dal sentirci tentati di pensare al "prima" (al nulla?) e riconoscerci contemporaneamente disarmati di fronte all'eventualità dell'assenza di tempo; 2°, quello del tempo "t_1" in cui l'evoluzione consegue il suo compimento, ripete la stessa situazione. L'introduzione di un tempo t_1, a prima vista scientificamente inaccettabile, non ha nulla di diverso dal tempo zero, del quale può essere visto come la necessaria controparte. In tal senso può assumere un uguale carattere di scientificità e di misteriosità che completa il concetto di tempo insieme a quello col quale è strettamente coinvolto dell'"evoluzione" cosmica e biologica. Qualche pensatore in effetti vi ha posto attenzione: ricordiamo il punto Ω di Teilhard de Chardin e qui sottolineiamo l'opportunità di valorizzarlo nel suo aspetto scientifico e approfondirlo in quello umanistico; 3°, tutto ciò si pone come impossibilità di poter tenere sotto il controllo della concettualità quello della natura del tempo e con esso quello connaturato all'essere e alla sua concretezza fra i due estremi t_0 e t_1: il concetto di tempo è talmente vasto e complesso che è impossibile abbracciarlo insieme a quello dell'evoluzione che gli è così strettamente connesso.

L'osservazione di Sant'Agostino, secondo la quale se si parla di un "prima" si parla già del tempo, per cui non ha senso parlare di "prima che il tempo esista", è logicamente corretta ma non può considerarsi automaticamente esauriente.

Leibnitz si chiedeva: perché c'è "Qualcosa" invece del "Nulla"? Sembra che il Nulla sia quanto di più logico si possa pensare, privo di qualsiasi contraddizione, per cui l'essere in quanto non può che essere in un dato modo, pone conseguentemente ulteriori problemi relativi a quel modo di essere.

La scienza risolve molti problemi e mostra "come le cose stanno", ma proprio per questo offre alla cultura umana motivi fondamentali per una solida base di ulteriore riflessione e meditazione.

Un suggestivo esempio elaborato a partire dal 1980 è quello che va sotto la denominazione di "principio antropico" che afferma che la struttura dell'universo è estremamente critica nei confronti della possibilità che una biologia trovi condizioni cosmologiche minime necessarie alla sua esistenza.

Due sono gli aspetti fondamentali per cui si è parlato scientificamente di principio antropico.

Uno riguarda, appunto, il fatto che la struttura cosmica è molto critica e vincolante nei confronti della possibilità che la sua evoluzione possa dare origine alla biologia; se i parametri fondamentali della struttura della materia e del suo manifestarsi fisicamente (cioè le costanti fondamentali di natura quali la costante g di gravità, la costante c della velocità della luce, la costante h di Planck, ecc.) fossero anche solo leggermente diversi da quelli che sono (e teoricamente parlando non c'è motivo alcuno perché non possano esserlo), avremmo atomi, pianeti, stelle, universi totalmente diversi da quello che conosciamo da risultare incapaci di generare la vita, comunque la vogliamo concepire (naturalmente purché dotata delle caratteristiche indispensabili a renderla tale).

L'altro aspetto consiste nel riflettere sul concetto di tempo sulla base di quanto abbiamo esposto: se non ammettessimo alcun finalismo nell'evoluzione cosmologica da cui ha avuto luogo quella biologica si che questa dovesse considerarsi un evento che si è costituito a caso, potremmo chiederci: quanto tempo è necessario, sia pure in condizioni ecologiche favorevoli, per realizzare le for-

me più elementari e da queste lo svilupparsi (sempre a caso) fino a realizzare l'essere umano?

Sulla base di tutto ciò che conosciamo delle leggi fisiche della natura e della matematica il calcolo sarebbe quasi impossibile a farsi, tuttavia anche il solo tentativo di affrontarlo è sufficiente a far concludere che quel tempo è incomparabilmente maggiore di quello che si è verificato sulla terra, anzi di quello dell'età delle stelle e dello stesso universo. Anche le cosmologie che sostengono l'infinità del tempo ed escludono pertanto una sostanziale evoluzione cosmica non potrebbero esimersi dal riferirsi a una qualche sorta di finalismo per comprendere almeno il costituirsi biologico planetario poiché le stelle hanno una vita media finita, dell'ordine di (pochi) miliardi di anni.

Se poi queste cosmologie trascurassero questa fondamentale osservazione e volessero vedere un universo in cui la biologia è presente eternamente, dovremmo osservare che in un tale universo una evoluzione eternamente ripetentesi su alterni pianeti andrebbe incontro alla perdita di "senso" del concetto evolutivo annegato, come sarebbe, nel mare dell'eternità temporale.

Il tempo finito accoglie come naturale il concetto dell'evoluzione e quello di scorgervi un fine ma naturalmente pone la grande problematicità di concepeire una tale temporalità.

Perché l'uomo esista e esista per un tempo finito è problema che la scienza pone ma che nello stesso tempo non è in grado di risolvere; d'altra parte le caratteristiche umane sono diverse (oltre quella della razionalità scientifica) e poiché anch'esse sono state realizzate, con l'uomo, dall'evoluzione cosmologica, proprio per questo possono reclamare una validità oggettiva almeno confrontabile con quella della razionalità: per alcuni sono quelle della religiosità, per altri della filosofia, per altri ancora dell'indifferenza. A chi si domanda: com'è possibile sostenere una finalità precostituita all'essere dell'universo in funzione dell'uomo, creatura minuscola in un pianeta "insignificante" come la Terra, si può rispondere in vario modo a seconda dell'atteggiamento speculativo (non strettamente scientifico) di colui che dà la risposta. Questi deve tuttavia rispettare il fatto scientifico che ricostruisce per sommi capi le fasi temporali in cui l'evoluzione si è svolta e non deve dimenticare l'estrema peculiarità che l'uomo presenta col pensiero che si esprime come razionalità, affettività, intuizione, scienza, filosofia, religione che lo distinguono in maniera irriducibile da quella realtà fisica cosmica della quale è pure un prodotto evolutivo.

C'è chi sostiene che la scienza è soggetta a continue "rivoluzioni" e pertanto non si può escludere che in futuro si possa scientificamente comprendere ciò che oggi appare incomprensibile.

Ciò è vero ma solo per certi aspetti, molti dei quali d'altronde già precisati. Non si deve tuttavia ritenere che quanto oggi conosciamo a proposito di alcune importanti questioni possa domani venir completamente capovolto: la scienza procede per gradi alcuni dei quali sono ormai definitivi. Questa parola definitivi non è in genere gradita dai filosofi ma gli scienziati la condividono: per questi infatti è sicuro che se potessimo andare nel centro del Sole con un termometro troveremmo quella determinata temperatura. In futuro certi dati attuali possono venire ulteriormente precisati, ma non stravolti; così l'intervallo di indeterminazione oggi esistente per la precedente temperatura può venir molto ridotto, ma l'ordine di grandezza resterà invariato e invariato rimarrà l'ordine di grandezza dell'età del Sole oggi valutata in circa 5 miliardi di anni; qualunque astronomo futuro potrà correggere i 5 miliardi in qualcosa di più o qualcosa di meno ma non dirà né 10, né 1. Alcuni punti fermi che la scienza ha raggiunto non verranno messi in discussione nella sostanza.

Precisiamo che fra questi punti fermi non possiamo ancora annoverare la teoria cosmologica del Big Bang; attualmente possiamo dire solo che la sua validità ha un alto grado di fiducia mentre l'altra teoria Q.S.S.C. appare assai poco attendibile.

Per quanto riguarda l'evoluzione biologica possiamo essere certi che sulla terra si è sviluppata nel volgere di 3-4 miliardi di anni dalle forme più elementari fino all'uomo, e che, indipendentemente da ogni cosmologia particolare, ciò è avvenuto nel seno dei 4-5 miliardi di anni di vita solare.

Qualcuno insiste osservando che l'analisi spettroscopica delle comete mostra la presenza di molecole di tipo organico anche assai complesse ma ciò non consente di andare oltre i limiti nei quali si attua la chimica organica e inorganica. D'altra parte se anche volessimo addirittura concedere che alcune cellule si sono formate in un modo casuale, sia pure in un ambiente ecologicamente favorevole, non si vede come da ciò si potrebbe sostenere la successiva formazione "a caso" di organi specializzati come l'occhio, il cervello, e tutto quell'incredibile meccanismo (con i delicatissimi relativi processi di controllo) che fa funzionare un essere vivente, senza pensare alla comparsa dell'intelligenza con la quale l'essere arriva a conoscere se stesso! Tutto questo nel volgere di pochi miliardi di anni!

Sembra quindi impossibile fare a meno di dover ammettere, proprio su base scientifica, l'esistenza di qualcosa, non meglio specificata ma di natura non fisica né chimica, che ha guidato l'evoluzione.

Si è già detto che la specificazione di quel "qualcosa" riguarda un fatto personale. Ciò che può essere sostenuto senza uscire dall'ambito scientifico consiste nel fatto che la scienza ha assolto il suo compito con l'evidenziare e definire i termini specifici nei quali la "misteriosità" avvolge l'essere in questo modo in cui effettivamente è.