

Finito.....

Infinito



Il cielo è uno dei misteri più affascinanti della Terra, è un “universo” che riesce ad ammaliarmi. Ogni qual volta alzo lo sguardo di sera verso il cielo, mi perdo e mi ipnotizzo allo stesso tempo. È come se tutto il cielo entrasse nel mio cuore, ma, poiché “apparentemente” infinito, non riesco nemmeno a contenere tutta l’emozione che esplode dentro di me.

Tesina realizzata da:

Laura Aliotta

VB Liceo Scientifico “E. Vittorini” Gela

Anno scolastico 2007/2008

finito.....Infinito

🌐 La Terra ruota su se stessa come una trottola e contemporaneamente è attratta dal Sole. Ecco allora realizzato un gigantesco giroscopio naturale. Ci si domanda: Cosa è un giroscopio? E a che cosa serve? E questo moto è finito o infinito?

Il **giroscopio** è un dispositivo fisico rotante che tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa, per cui qualsiasi oggetto che ruota attorno ad un asse è un giroscopio. Essenzialmente esso è costituito da una ruota in rotazione intorno al suo asse e tende a mantenersi parallelo a se stesso e ad opporsi ad ogni tentativo di cambiare il suo orientamento.



I giroscopi hanno due importanti caratteristiche:

- *Inerzia giroscopica*: l'asse di un giroscopio in rotazione tende a mantenersi orientato nella stessa direzione. Ad esempio se lanciamo un giroscopio a una persona che si trova a qualche metro di distanza, lungo l'intera traiettoria l'asse si manterrà nella stessa direzione.

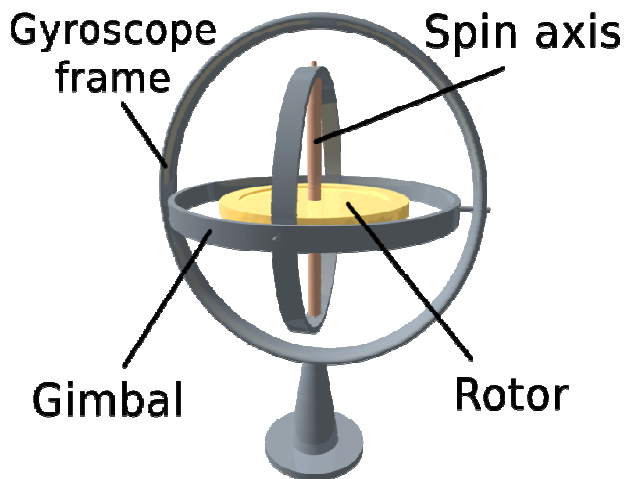
- *Precessione giroscopica*: se si sollecita un giroscopio in rotazione con una forza, il suo asse non si muoverà nella direzione della forza, ma in una direzione ad essa perpendicolare. Ecco alcuni esempi che spiegano la precessione giroscopica:

Esempio1. se teniamo con le mani il giroscopio in rotazione e cerchiamo di muovere il suo asse in una certa direzione, esso tenderà a muoversi in una direzione diversa (perpendicolare) e sembrerà che ci sgusci di mano.

Esempio2. la forza di attrazione terrestre tende a fare cadere il giroscopio, ma

questo precessionerà.

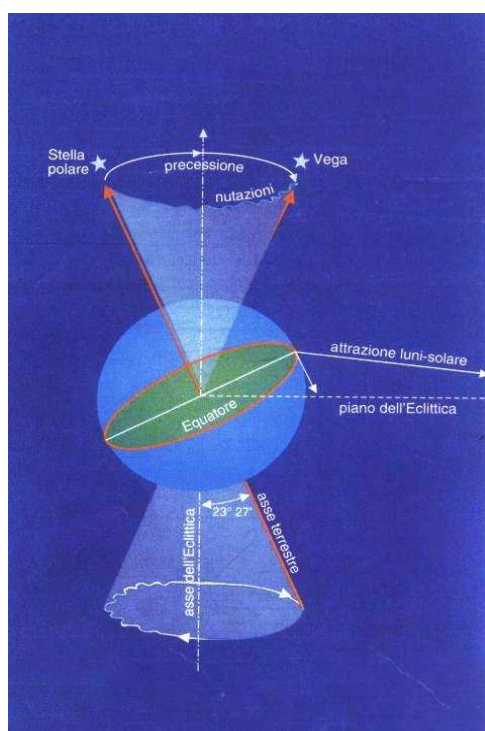
Esempio3. se spostiamo verso destra il manubrio di una bicicletta in corsa, la ruota e la bicicletta si inclineranno a sinistra , grazie alla precessione giroscopica, permettendo così di svoltare a sinistra ma a bassa velocità, l'effetto giroscopico è molto ridotto, girando il manubrio verso destra si svilterà invece a destra. Le due caratteristiche del giroscopio, che abbiamo



citato (l'inerzia e la precessione), sono tanto più evidenti quanto maggiore è la velocità di rotazione e quanto maggiore è la massa rotante e quanto maggiore è la distanza della massa rotante dall'asse di rotazione. Il giroscopio, grazie alla sua principale proprietà (l'inerzia

giroscopica), rimane in posizione assiale, ben presto tuttavia la forza di attrazione terrestre farà precessionare il giroscopio. In pratica l'asse incomincerà a variare il suo orientamento e a ruotare. Man mano che la velocità di rotazione diminuisce l'effetto giroscopico diventa meno evidente, finché il giroscopio ridiventa un oggetto "normale" e cade. Questo meccanismo fu inventato nel 1852 dal fisico Jean Bernard Léon Foucault nell'ambito dei suoi studi sulla rotazione terrestre. La Terra compie un movimento di rotazione attorno al proprio asse che tende a mantenersi parallelo a se stesso nel corso della rivoluzione. Se potessimo eseguire osservazioni prolungate per alcune migliaia di anni, ci renderemmo conto che la sua direzione va lentamente mutando. Difatti, l'attrazione combinata che il Sole e la Luna esercitano sul rigonfiamento equatoriale, in modo più sensibile che sulle altre parti della Terra, tende a far coincidere il piano dell'Equatore

con il piano dell'orbita, cioè a raddrizzare l'asse terrestre; a ciò si oppone però



la rapida rotazione della Terra che, come nel giroscopio, tende invece a mantenere immutata la posizione dell'asse: le due forze si compongono e ne deriva un movimento che fa descrivere all'asse terrestre due coni con il vertice al centro della Terra. Questo moto *doppio-conico*, detto di *precessione luni-solare*, avviene in senso contrario a quello di rotazione terrestre. Occorrono 26000 anni perché l'asse descriva un doppio cono e ritorni nella posizione di partenza.

L'azione attrattiva luni-solare sul

rigonfiamento equatoriale dipende dalle distanze fra il Sole, la Terra e la Luna; queste però cambiano di continuo nel tempo perché le orbite terrestri e lunare sono ellittiche ed inoltre mutano la loro posizione reciproca, ossia la loro intersezione nello spazio. Tutto ciò provoca delle perturbazioni periodiche nel moto di precessione; esse consistono in oscillazioni ampie pochi secondi di arco e di periodo molto più breve (18,6 anni circa), che vengono dette *nutazioni*. Per effetto di queste oscillazioni l'asse terrestre, invece di descrivere due coni circolari, si muove secondo coni leggermente ondulati. Il mutamento di direzione dell'asse terrestre comporta un continuo spostamento nello spazio dell'Equatore celeste, il cui piano è perpendicolare a tale asse; quindi, varia anche l'intersezione del piano equatoriale col piano dell'Eclittica, cioè si sposta anche la linea degli equinozi. Siccome il moto conico dell'asse si compie in senso orario, anche la linea equinoziale si muove in questo senso, che è contrario (retrogrado) al movimento della Terra sull'orbita; lo stesso avviene anche alla linea dei solstizi, che è perpendicolare alla linea degli equinozi. In sostanza, gli equinozi e i solstizi anticipano ogni anno la loro posizione sull'Eclittica. Per questo suo effetto il moto di

precessione luni-solare è denominato anche, *precessione degli equinozi*. Partendo dal giroscopio siamo arrivati a parlare della rotazione terrestre. Allarghiamo ora il nostro punto di vista, cioè facciamo finta che la Terra occupi la posizione centrale di un bersaglio per freccette ed estendiamo la nostra visuale al sistema solare, alla nostra galassia e ci allontaniamo sempre di più fino ad arrivare all'infinito (ovvero a ciò che ancora non conosciamo).

La Terra, Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno e Plutone fanno parte del **Sistema solare** e sono molto diversi tra loro come natura, grandezza, distanza dal Sole ed evoluzione. Si usa distinguere la famiglia dei “pianeti piccoli” o di tipo terrestre (Mercurio, Venere, Terra, Marte) dalla famiglia dei “pianeti giganti” o di tipo gioviano o solare (Giove, Saturno, Urano, Nettuno). Plutone,



di cui si conosce ben poco, non rientra in nessuna delle due distinzioni. La differenza più evidente tra i due gruppi di pianeti è nelle dimensioni: il diametro del pianeta terrestre più grande (la Terra) è circa $\frac{1}{4}$ di quello del pianeta gioviano più piccolo (Nettuno). Altra caratteristica che accentua nettamente la differenza tra i due gruppi è la densità: nei pianeti terrestri è in media 5 volte superiore a quella dell'acqua, mentre in quelli gioviani arriva solo a 1,5 volte o meno. La densità dipende in gran parte dalla natura dei materiali, che costituiscono i pianeti, e si possono distinguere in tre categorie: gas (soprattutto idrogeno ed elio, che fondono a temperature bassissime, prossime allo zero assoluto), sostanze rocciose (minerali silicatici e ferro metallici, che fondono invece oltre i 700 °C) e ghiacci (in prevalenza ammoniac, metano, anidride carbonica ed acqua, che fondono a temperature intermedie rispetto ai materiali precedenti). I pianeti terrestri hanno atmosfere tenui o ne sono privi, mentre quelli gioviani hanno atmosfere dense (formate

in prevalenza di idrogeno ed elio). Questa differenza è una conseguenza della massa dei singoli pianeti e della loro distanza dal Sole: la grande massa dei pianeti gioviani trattiene più facilmente le molecole dei gas, le quali per le basse temperature dovute alle grandi distanze dal Sole non raggiungono la velocità di fuga a cui arrivano invece le molecole dei gas sui pianeti interni. Venere, Terra, e Marte riescono a trattenere solo le molecole dei gas più pesanti e le loro atmosfere sono una frazione infinitesima della massa totale. Ricordiamo, infine, che i pianeti terrestri hanno pochi o nessun satellite, mentre quelli gioviani ne hanno numerosi, oltre ad altre strutture particolari come gli “anelli”.

Pianeti e satelliti non sono gli unici componenti del Sistema solare, intorno al Sole ruotano anche innumerevoli altri corpi che si possono suddividere, per l'aspetto con cui si rivelano, in tre gruppi, strettamente collegati tra loro per l'origine e l'evoluzione:

- **Asteroidi** (o pianetini): corpi formati dallo stesso materiale da cui si è formato il Sistema solare, che hanno conservato la composizione originale;
- **Meteoroidi**: corpi la cui orbita interseca quella terrestre, ne vengono attratti e cadono sul nostro pianeta o consumandosi nell'atmosfera (*meteore* o stelle cadenti) o arrivando fino al suolo (*meteoriti*);
- **Comete**: corpi di polveri e ghiacci che stazionano a grandissime distanze dal Sole ma che possono immergersi su orbite lunghissime, fino a giungere in vicinanza del Sole, perdendo nello spazio lunghe scie di materiali finissimi.

Tutte le stelle e le nebulose visibili del nostro Sistema solare entrano a far parte, a loro volta, della nostra **Galassia** (ovvero l'insieme di corpi celesti, circondato da un vastissimo spazio vuoto, che comprende il Sole con il suo sistema planetario.)

La Via Lattea (il nome della galassia in cui ci troviamo) ha la forma di un disco centrale (*nucleo galattico*) da cui si dipartono lunghi *bracci a spirale*, comprende oltre 100 miliardi di stelle e il suo centro è in direzione della

Costellazione del Sagittario. Il Sole occupa perciò una posizione periferica e si trova sul bordo esterno del “braccio di Orione”, così detto perché a questa spirale appartiene la costellazione omonima.



Aspetto della nostra Galassia e relativa posizione del Sole.

Tutte le stelle dei bracci ruotano intorno al centro della Galassia, con velocità decrescenti dal centro alla periferia. Per completare il quadro della nostra Galassia rimangono ancora da ricordare gli *ammassi stellari*, gruppi di stelle relativamente vicine tra di loro, che si muovono tutte insieme. Alcuni sono *aperti* con le stelle distribuite in modo irregolare, mentre altri sono *globulari* con le

stelle distribuite regolarmente a disegnare una sfera. Gran parte degli ammassi si trova al di fuori del disco della galassia e forma una specie di nuvola sferica, molto rarefatta, chiamata *alone galattico* in esso mancano le polveri per cui non si possono formare altre stelle. La nostra Galassia, pur con la sua enorme massa e con le sue dimensioni, è solo un piccolo angolo dell'Universo. Esistono, infatti, altre galassie e ognuna di esse è formata, come la nostra, da centinaia di miliardi di stelle.

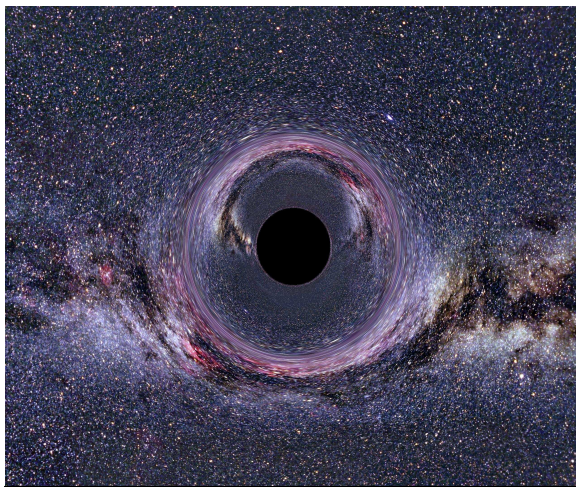
Nell'universo, inoltre, sono presenti numerose radiosorgenti, cioè “oggetti” che emettono onde

radio: alcune corrispondono a supernovae, altre a galassie molto lontane ma con emissione così intensa da venire indicate come **radiogalassie**. In alcune di



queste si osservano emissioni di giganteschi “getti” di materia, lunghi migliaia di anni-luce con esplosioni violentissime, che in certi casi sembrano coinvolgere l'intero nucleo della galassia.

Galassie e radiogalassie in piena attività popolano dunque l'Universo intorno a noi, ma dallo spazio ci arrivano anche altri segnali che ci hanno rivelato la presenza di oggetti straordinari, alcuni dei quali si trovano addirittura negli abissi dello spazio al di là delle galassie “normali” più lontane finora scoperte. Questi segnali sono emissioni radio di grandissima intensità,



Probabile aspetto di un buco nero, se posto davanti ad uno sfondo ricco di stelle.

fortemente concentrate e provenienti da corpi d'apparenza stellare, denominati **quasar** (*quasi stellar radiosource*). Nonostante le distanze, l'intensità dei segnali che arrivano a noi indica che un quasar è mille miliardi di volte più luminoso del Sole, molte volte più splendente di un'intera galassia formata da centinaia di stelle. Circa l'intensità

luminosa dei quasar e la loro natura non si è ancora riusciti a dare una spiegazione plausibile.

Numerose osservazioni astrofisiche hanno portato alla scoperta dei **buchi neri** (black holes), la cui origine è abbinata al processo di formazione delle stelle. Verso il termine del proprio ciclo vitale, il nucleo di una stella si spegne quando ha trasformato, tramite fusione nucleare, tutto l'idrogeno in elio. La forza gravitazionale, che prima era in equilibrio con la pressione generata dalle reazioni di fusione nucleare, prevale e comprime la massa della stella verso il suo centro.

-Se la stella ha una massa di poco inferiore a quella del sole, questa collassa gradualmente fino a divenire un corpo dalle dimensioni terrestri. Sarebbe questa l'origine delle *nane bianche* che riscaldate dal processo di contrazione,

ma prive di una fonte di energia nucleare, sono destinate a raffreddarsi lentamente e a divenire un corpo freddo.

-Se la stella ha una massa iniziale come quella del Sole o alcune volte maggiore, finisce ugualmente come nana bianca, ma prima attraversa un fase particolare. Arrivata allo stadio di *gigante rossa* (cioè quando tutto l'idrogeno si è trasformato in elio, la stella collassa e raggiunge nuovamente un equilibrio "momentaneo" trasformando l'elio in carbonio) finisce per espellere i suoi strati più esterni che, trascinati via da un imponente *vento stellare*, danno origine a nubi sferiche di gas in espansione. Tali involucri gassosi, che contengono parte degli elementi che si sono formati nel nucleo della stella centrale, vengono chiamati *nebulose planetarie*. Con la perdita dell'involucro esterno, la gigante rossa si trasforma in un nucleo rovente, che si contrae e si riscalda ulteriormente, a spese dell'idrogeno residuo. Dopo alcune migliaia di anni, la fusione nucleare si esaurisce e la stella inizia a raffreddarsi; alla fine la nebulosa scompare e la stella centrale, compatta e nuda, diventa una nana bianca. In alcuni casi si osservano invece vere e proprie esplosioni stellari, che si manifestano con un improvviso aumento della luminosità: in poche ore lo splendore della stella aumenta e rimane tale per qualche settimana, per poi declinare e tornare ai livelli originari nel giro di un anno. Tali stelle sono dette *novae*.

-Se la massa della stella supera di almeno una decina di volte quella del Sole, le temperature interne arrivano gradualmente a miliardi di gradi, facendo innescare via via nuove reazioni termonucleari, fino alla formazione di un nucleo di ferro circondato da gusci concentrici, in cui prosegue la combustione nucleare di fosforo, silicio, neon ecc... A questo punto il collasso si fa così rapido e violento da liberare un'enorme quantità di energia, che provoca un'immane esplosione: gran parte della stella, definita *supernovae*, si disintegra e viene lanciata nello spazio. Il materiale che rimane deve collassare per gravità, ma la massa della stella è ancora così grande che la contrazione fa assumere alla materia una densità inconcepibile, fino a un

milione di volte maggiore della densità del nucleo di una nana bianca. In tali condizioni la materia subisce un'ulteriore trasformazione: elettroni e protoni si fondono per formare neutroni e l'intera massa della stella si concentra in un corpo di soli 20 o 30 km di diametro, la *stella di neutroni*.

- Se la massa originaria della stella è qualche decina di volte superiore a quella del Sole, dopo la fase di supernovae il collasso gravitazionale non trova più forze sufficienti per essere contrastato: la contrazione prosegue, la densità continua ad aumentare e si forma un corpo sempre più piccolo, circondato da un campo gravitazionale immenso. È come se una porzione di spazio, non più grande di una decina di chilometri, si trasformasse in un vortice oscuro in grado di attirare entro di sé e di far scomparire qualunque corpo o particella entri nel suo raggio di azione: neanche le radiazioni luminose, compresa la luce, potrebbero uscirne, per cui il nome di buco nero (che in linea di principio dovrebbe essere invisibile).

Un buco nero è un pauroso oggetto freddo a senso unico: qualunque cosa può entrarvi ma non uscirne. Si dice che un *black hole* è “fuori dell'Universo” perché in esso non valgono le leggi che conosciamo: è come essere in un altro



Buco nero secondo una rappresentazione artistica della NASA

Universo del tutto sconosciuto. Un buco nero, inoltre, non può esplodere, ma solo “implodere”. Teoricamente il nostro Universo ora in espansione, potrebbe un giorno comprimersi, collassare e precipitare in un unico grande buco nero infinito “senza futuro”.

L'esistenza dei buchi neri è prevista dalla teoria della relatività generale.

Tuttavia, se questi oggetti sono per principio invisibili, come si può essere certi della loro effettiva esistenza? In realtà, i buchi neri non sono osservabili direttamente, ma producono effetti che si possono rilevare: per esempio, la materia che cade in un buco nero viene accelerata in modo talmente violento da emettere raggi X di tipo caratteristico. Ma questa è una elegante teoria che per quanto plausibile non ci dà certezza assoluta.

🌐 L'universo nella sua accezione più ampia è effettivamente tutto ciò che esiste e può essere infinito in estensione o finito, di certo sappiamo che *l'universo visibile* è quella parte finita dell'universo la cui luce ha avuto il tempo di arrivare fino a noi a partire dal momento in cui il cosmo cominciò ad espandersi. Possiamo immaginare l'universo visibile come una sfera di raggio di circa quindici miliardi di anni luce che ci circonda; col passare del tempo le dimensioni dell'universo visibile aumentano. Edwin Hubble scoprì che il cosmo è composto da galassie che si lanciano verso l'esterno e diede a scienziati e a filosofi il motivo di sperare che gli enigmi dell'Universo potessero alla fine essere risolti e che l'intero creato potesse venire descritto finalmente in una singola formulazione matematica. Sotto molti aspetti l'Universo rivelato da Hubble è l'essenza della semplicità. Esso si sta espandendo come una bolla piena di gas caldo, liberato improvvisamente nel vuoto. Ciascuna galassia è come una molecola nel gas. Appena la nube si espande, ogni molecola che vi si trova raddoppierà la sua distanza da ogni altra molecola nello stesso periodo di tempo, dopo un secondo periodo di durata doppia del primo, il raddoppio si ripeterà e così continuerà all'infinito. Gli astronomi moderni, poiché hanno scoperto galassie che si allontanano alla velocità approssimativa di nove decimi dell'enorme velocità di **300 000** km al secondo che è propria della luce, e poiché non hanno ancora trovato alcun limite esterno all'Universo, sono convinti che il cosmo non sia così semplice come un soffio di gas che si espande uniformemente ed è parzialmente condensato in galassie. Per esempio, se l'Universo fosse finito ed avesse un centro, e se la Via Lattea non fosse vicina ad esso, allora la luminosità totale

di tutta la restante materia dell'Universo dovrebbe essere leggermente maggiore in una direzione rispetto alla sua opposta. Ma il cielo notturno al di là della Via Lattea non è apprezzabilmente più luminoso in una direzione piuttosto che nell'altra; perciò gli astronomi sono costretti a concludere che l'Universo si estende indefinitamente lontano in tutte le direzioni. L'Universo deve necessariamente essere lo stesso, in media, ovunque e in tutte le direzioni e che si comporti allo stesso modo in ogni luogo; che la Terra non occupi alcuna posizione di particolare privilegio, e che l'Universo non abbia confini. Le prove finora raccolte sembrano confermarlo. Poiché il cosmo è senza confini e poiché le galassie si allontanano sempre più velocemente man mano che gli astronomi vedono sempre più lontano, sembrerebbe che debbano esistere galassie tanto lontane da fuggire all'esterno con la velocità della luce. In effetti sarebbero al di là dell'orizzonte cosmico. Astronomi non terrestri in qualche punto a metà strada sarebbero in grado di vederle, naturalmente di vedere esse e la Via Lattea insieme, ma questi astronomi in cambio avrebbero, a loro volta, altri orizzonti insuperabili. E così pure gli astronomi in ogni altra galassia. Spostando il centro a una diversa zona di espansione, ogni galassia avrebbe un orizzonte diverso. Il solo fattore comune sarebbe che ogni orizzonte racchiuderebbe un campione di Universo sempre delle stesse dimensioni. Perché l'Universo sia comprensibile, la parte di esso racchiusa entro l'orizzonte cosmico dev'essere abbastanza grande da rivelare le principali strutture cosmiche. I cosmologi chiamano gli universi possibili «modelli». Con ciò essi non intendono modelli di legno e colla, ma modelli matematici che procedono da ipotesi fondamentali a sistemi di equazioni che collegano varie proprietà, come la massa, l'energia, la forma, l'età e così via. Quasi tutti i modelli attuali si basano, in un modo o nell'altro, sulle due teorie

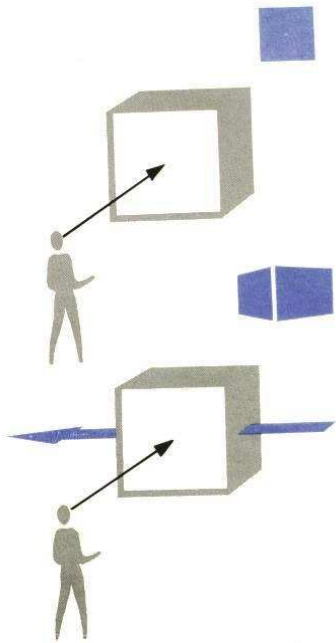
relativistiche di Einstein. La prima, la cosiddetta Teoria della Relatività Speciale, fu pubblicata nel 1905. Si sviluppò da una fondamentale rielaborazione dei concetti di spazio e tempo, sostenuti da una straordinaria scoperta fatta dal fisico americano Albert Michelson durante un suo esperimento compiuto con la luce. Michelson pensò che se un raggio luminoso fosse emesso nella direzione del moto della Terra, la spinta addizionale datagli dal moto della Terra gli farebbe alquanto aumentare la velocità rispetto a un raggio emesso in direzione perpendicolare. Come tutti



sanno, se un uomo fermo sulla parte anteriore di un treno in movimento lancia in avanti una palla, questa non solo possiede l'impulso del lancio dato dall'uomo, ma possiede inoltre il moto in avanti del treno. Similmente, se una palla viene lanciata dalla parte posteriore di un treno, la sua velocità reale, relativa alla Terra, è molto ridotta. Con grande sorpresa di Michelson, la velocità della luce si dimostrò assolutamente indipendente dal moto della Terra. A prescindere dalla accuratezza con cui egli misurava i suoi raggi di luce, e anche dalla direzione in cui erano diretti, essi avevano tutti la stessa identica velocità: quella della luce,

300 000 km al secondo. Il fatto che la luce non perda né guadagni velocità dal moto della sua sorgente porta in modo logico ed inevitabile ad alcune stupefacenti conseguenze. Per esempio, supponiamo che due osservatori si corrano incontro ad enorme velocità e che al loro incontro avvenga un lampo tra di essi. Poiché la velocità della luce non è influenzata dalla velocità della sorgente né da quella di chi la riceve, la luce del lampo deve apparire ad

entrambi gli osservatori come allontanantesi verso l'esterno ad uguale velocità

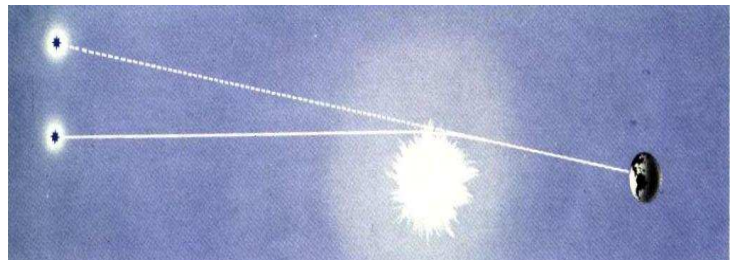


in tutte le direzioni. Dopo un intervallo di tempo ciascun osservatore, con specchi opportunamente orientati, può dimostrare di essere al centro della sfera di luce in espansione. Eppure, a partire da quell'istante, gli osservatori si sono allontanati separatamente. Come possono essere entrambi al centro della stessa sfera di luce che si dilata? Einstein scoperse che il solo modo di conciliare i diversi punti di vista degli osservatori che si incontrano o si

allontanano con velocità pari a frazioni apprezzabili di quella della luce, è di ammettere che i loro strumenti di misura registrino in modo diverso la distanza, la massa, il tempo. La massa di un oggetto che si muova rapidamente dovrebbe aumentare, il che è esattamente ciò che accade ad una particella in un acceleratore di particelle. Nello stesso tempo, la lunghezza di un oggetto si dovrebbe contrarre nella direzione del suo moto e la sua orientazione dovrebbe divenire più obliqua. Per esempio, supponiamo che una scatola cubica venga lanciata al di là di un osservatore circa alla velocità della luce e in modo tale che, quando gli è esattamente di fronte, appaia di lato, con solo una delle sue sei facce visibili. Secondo la Relatività Speciale, questa faccia sembrerà accorciata nella direzione del moto della scatola; inoltre una parte della faccia posteriore della scatola diventerà visibile prima del dovuto. Il risultato è che la scatola sembra volarsene in posizione obliqua, presentando all'osservatore due facce insieme, ciascuna accorciata come se fosse in prospettiva. Per un oggetto che si sposti velocemente, anche il flusso del tempo deve essere alterato, facendo rallentare il suo orologio ed i suoi processi atomici. Ciò che accade in realtà è anche questa volta dimostrato dagli acceleratori atomici. Particelle instabili con vita breve se si spostano

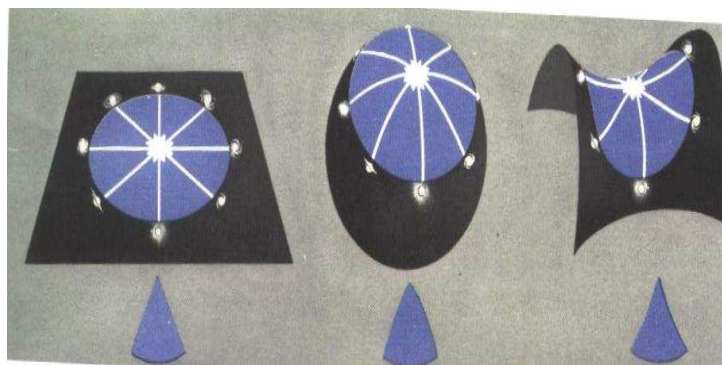
velocemente vivono più a lungo di quanto vivrebbero se stessero immobili o quasi. Nella Relatività Speciale, Einstein stabilì regole per mettere in relazione le misure di osservatori che viaggiassero a velocità costante lungo linee rette. Nella Relatività Generale egli mise in relazione le misure di osservatori viaggianti non solo con moto rettilineo uniforme l'uno rispetto all'altro, ma anche a velocità mutevoli su traiettorie curve. Per fare ciò, egli doveva riprendere in considerazione le due proprietà fondamentali di una particella materiale; la sua inerzia, che la fa resistere ai cambiamenti di direzione del moto, e le sue proprietà gravitazionali, che la costringono a mutare la velocità e a curvare di continuo il suo percorso in funzione della presenza di altra materia nell'Universo. Dopo aver ponderato queste proprietà, Einstein decise che dovevano essere la stessa cosa: che l'inerzia è gravità e che entrambe nascono dall'effetto che la materia provoca sullo spazio in cui esiste. Nella Relatività Speciale, Einstein aveva dovuto abbandonare il concetto di spazio assoluto per fissare la vera natura della luce, in quella Generale fece un passo avanti. La presenza di materia nello spazio crea sempre un campo inerziale-gravitazionale curvo che dà ai corpi la forma di sfere e rende le orbite dei satelliti circolari o ellittiche. Date le circostanze, Einstein non vide alcun merito nel sostenere l'idea astratta che lo spazio è disposto su linee rette ed è regolato dai teoremi della geometria euclidea. Non vide un motivo per cui lo spazio dovesse avere altre proprietà geometriche, eccetto quelle imposte ad esso dalla presenza della materia. Avendo raggiunto queste conclusioni, Einstein non avrebbe potuto andare oltre se non fosse stato per l'esistenza della geometria pluridimensionale non euclidea, un astruso ramo della matematica che era stato elaborato molto elegantemente da un genio tedesco del **XIX** secolo, morto precocemente, Georg Friedrich Riemann (1826-1866). La geometria di Riemann era una generalizzazione della geometria ordinaria, estendendo la matematica delle curve in due dimensioni e delle superfici curve in tre dimensioni a equazioni in grado di descrivere anche «spazi curvi a n dimensioni » e quindi in ogni altro numero di

dimensioni. Servendosi della geometria di Riemann, Einstein poté descrivere i campi gravitazionali attorno alla materia in modo tale che



le distorsioni di tempo, lunghezza e massa create dal moto, e scoperte nella Relatività Speciale, diventassero pure proprietà geometriche dello spazio locale. Le dimensioni di altezza, estensione, profondità, tempo e massa potrebbero variare gradualmente da punto a punto nell'Universo, ma le variazioni sarebbero semplicemente riflessioni della curvatura in questa geometria cosmica pluridimensionale. Ciò che Einstein scoprì nel corso del suo pensiero sulla Relatività Generale è che lo spazio è un volume curvo che risponde alla presenza della materia con locali deformazioni tridimensionali nella propria sostanza. Visivamente lo spazio può essere paragonato ad un foglio di gomma e ogni corpo celeste in esso contenuto è come una palla da cannone che provoca una grossa deformazione attorno alla quale ruotano i frammenti di corpi più piccoli. Questo tipo di deformazione rappresenta la curvatura locale nello spazio. E la sua esistenza è provata dal fatto che la luce di una stella, la linea più retta che si possa immaginare in tutto l'Universo, viene piegata leggermente quando attraversa il campo gravitazionale del Sole. In altre parole, il Sole, con la sua presenza, curva lo spazio intorno a sé. Oltre alla curvatura locale, causata dagli addensamenti isolati di materia, Einstein vide che l'Universo poteva avere una curvatura generale. La luce stellare, prendendo la via più breve da una regione lontana a un'altra e attraversando il campo gravitazionale locale di stelle e galassie, potrebbe arrivare in direzione un po' diversa da quella di partenza. Il suo percorso generale potrebbe essere una curva: o una curva « chiusa », che torna indietro su se stessa come un cerchio, oppure una curva « aperta » che non torna mai in se stessa. Allora, di nuovo, le piccole deviazioni nella traiettoria di un raggio di luce stellare potrebbero compensarsi, cosicché il raggio non curverebbe affatto e lo spazio

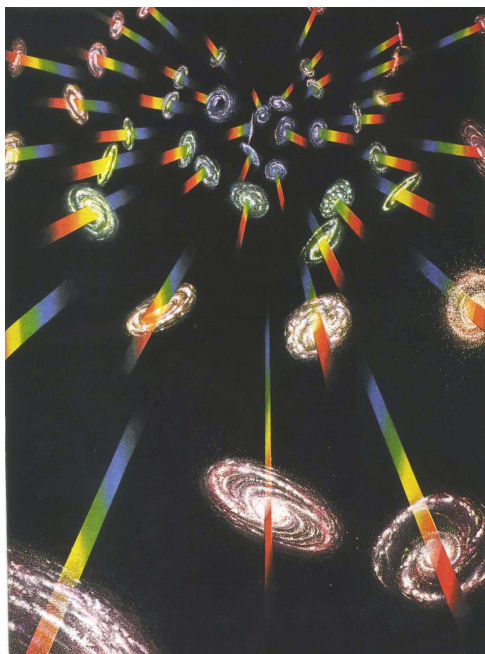
in genere sarebbe diritto. Tenendo conto di tutte queste possibilità, Einstein decise che lo spazio universale deve seguire uno dei tre schemi matematici: deve avere curvatura positiva, negativa o nulla. La curvatura positiva dello spazio è come la curvatura della superficie di una sfera, ma con l'aggiunta di



una dimensione. Lo spazio non curvo è l'ordinario spazio euclideo, il tipo di spazio fatto di stanze cubiche dalle pareti piatte. Lo spazio a

curvatura negativa è probabilmente il più difficile da immaginare. La superficie bidimensionale ad esso equivalente è la superficie di una sella da cavallo, ma una sella così larga che il pomo e il dorso curvano verso l'alto indefinitamente e i lati si prolungano indefinitamente verso il basso. In qualsiasi genere di spazio curvo, la luce prende sempre il cammino più breve fra due punti. In termini matematici, segue una geodetica. Sulla superficie terrestre una geodetica è un cerchio massimo, come le rotte delle linee aeree transoceaniche. Nello spazio a curvatura positiva, le geodetiche sono curve chiuse, come cerchi o ellissi. Nello spazio a curvatura negativa sono curve aperte, come iperboli o parabole. Nello spazio euclideo sono linee rette. Poiché la luce segue geodetiche, chi guardasse abbastanza lontano nell'Universo dovrebbe poter determinare la sua curvatura o non curvatura per mezzo della distribuzione delle galassie. L'angolo visivo di chi guardasse nello spazio a curvatura positiva è come l'angolo tra due linee di longitudine che si incontrino al sud, partendo dal polo nord. In principio le linee si allontanerebbero, proprio come farebbero le solite linee rette, ma, a poco a poco, le distanze comprese tra di esse non aumentano così velocemente come dovrebbero. E se qualcuno potesse vedere oltre l'equatore si accorgerebbe che quelle distanze cominciano in realtà a diminuire, finché raggiungono lo zero al polo sud. Allo stesso modo, ogni area successiva compresa dal campo visivo di chi

guardasse sempre più lontano, nello spazio a curvatura positiva, diverrebbe più piccola dell'area abbracciata da chi guardasse ugualmente lontano in uno spazio non curvo. Inoltre, il numero di galassie in più rivelate in ogni nuovo strato di penetrazione telescopica, a lungo andare finirebbe col decrescere. In effetti, l'osservatore arriverebbe a vedere oltre il polo opposto dell'Universo e comincerebbe a contare galassie che potrebbe vedere molto più facilmente guardando in direzione opposta. In un Universo curvo positivamente un astronomo con un telescopio abbastanza potente dovrebbe poter guardare lungo tutto un circuito cosmico e vedere la parte posteriore della sua testa. Poiché la luce impiega del tempo per viaggiare, comunque, egli vedrebbe realmente solo il luogo che la sua testa avrebbe potuto occupare miliardi di anni prima. Nello stesso modo l'osservazione di sfere successive in un Universo positivamente curvo dovrebbe rivelare aumenti anormalmente piccoli nelle aree e nel numero di galassie, mentre nell'Universo a curvatura negativa, del tipo a sella, ogni sfera successiva dovrebbe mostrare un superaumento di area e una sovrabbondanza di galassie. L'applicazione del principio geometrico può essere facilmente realizzata schiacciando una sella a curvatura negativa e una calotta a curvatura positiva su di una superficie piana. Durante il processo, la sella forma delle protuberanze poiché la sua superficie è maggiore di quella di un piano, mentre la calotta si seziona perché la sua superficie è più piccola di quella di un piano. Prendendo come base le equazioni di Einstein, possiamo asserire che l'Universo ha dovuto rallentare non appena la gravità tra le galassie ha fatto diminuire la velocità di allontanamento reciproco. In un Universo curvo positivamente, in cui lo spazio si curva su se stesso, il rallentamento sarebbe più efficace di quanto non sarebbe in un Universo euclideo piatto, o in uno a curvatura negativa. La misura dell'effetto frenante è la velocità di espansione nel passato. Se la velocità di espansione era molto maggiore nel passato di quanto non sia ora, allora l'Universo è stato molto rallentato e la sua curvatura è positiva. Se è stato rallentato solo un poco, la sua curvatura può essere zero. Se non è stato rallentato del tutto, la sua curvatura è negativa. In modo alquanto sorprendente, l'entità del rallentamento che ha avuto luogo nel passato è



qualcosa che può essere osservato nel presente. Osservando con un telescopio del diametro di cinque metri (come quello situato nel monte Palomar) si vedono le galassie nella luce emanata oltre cinque miliardi di anni fa, quando erano lontane più di cinque miliardi di anni-luce. L'entità dell'effetto Doppler della loro luce indica a quale velocità si stessero allontanando "allora", e la loro luminosità indica a quale distanza si trovavano. In un Universo che si espande

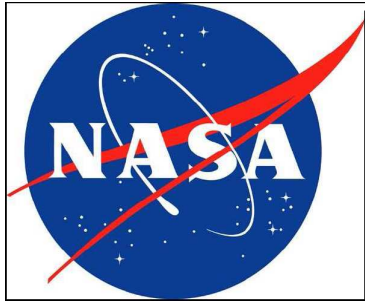
uniformemente, le galassie a quella distanza si dovrebbero affrettare verso l'esterno ad una velocità definita, ma la luce che proviene dal passato indica che queste galassie si sono allontanate più velocemente di essa. Il loro eccesso di velocità "allora", rivela di quanto la gravitazione da allora in poi abbia rallentato l'espansione dell'Universo. Inserendo questa quantità di rallentamento nelle equazioni di Einstein, un astronomo può determinare quale tipo di curvatura abbia l'Universo in espansione. Fino ad ora i pochi laboriosi sondaggi, pieni di errori, fatti sulla luce di galassie deboli e allontanantisi velocemente, indicano che l'Universo probabilmente ha curvatura positiva. Ciò significa che può essere illimitato ma finito, può estendersi infinitamente lontano in tutte le direzioni senza avere una massa infinita. A causa della curvatura, ogni galassia è circondata dall'Universo in modo uguale e indefinito da tutti i lati, senza che sia infinito. Nello stesso modo, ogni punto sulla Terra è circondato in modo uguale e indefinito in tutte le direzioni dalla superficie terrestre, senza che la Terra sia infinitamente estesa. Cosa più strana ancora, un Universo curvo positivamente può oscillare, influenzato solo dalla gravità. Supponendo che la sua massa totale superi un valore critico, l'espansione dell'Universo sarà probabilmente rallentata completamente e si fermerà. Dopo un periodo di tempo impensabilmente lungo, forse dopo che le ultime stelle nelle galassie si saranno estinte, l'Universo comincerebbe a contrarsi

di nuovo. Dopo altri miliardi di anni, l'Universo in contrazione raggiungerebbe uno stato di densità e di temperatura estremi, tutta la materia verrebbe dissolta di nuovo in gas e tornerebbe poi a ripetere il suo ciclo. Se le misure che implicano un Universo a curvatura positiva dovessero essere sbagliate potremmo averne uno a curvatura negativa e pertanto dovrebbe continuare ad espandersi per sempre e le galassie si allontanerebbero consumandosi, finché non resterebbe nient'altro che una polvere infinitamente diffusa, di scura cenere di galassie, sparsa in modo uniforme dappertutto e per sempre.

🌐 L'uomo è sempre stato attratto dall'Universo e fin dalla antichità ha cercato di carpirne i più piccoli misteri. E' soprattutto nella seconda metà del Novecento che la ricerca scientifica e tecnologica è andata sempre più intrecciandosi con le dinamiche politiche internazionali. In questo senso uno dei casi più significativi è rappresentato, alla fine degli anni 50 e almeno per tutti gli anni 60, dalla corsa allo spazio.

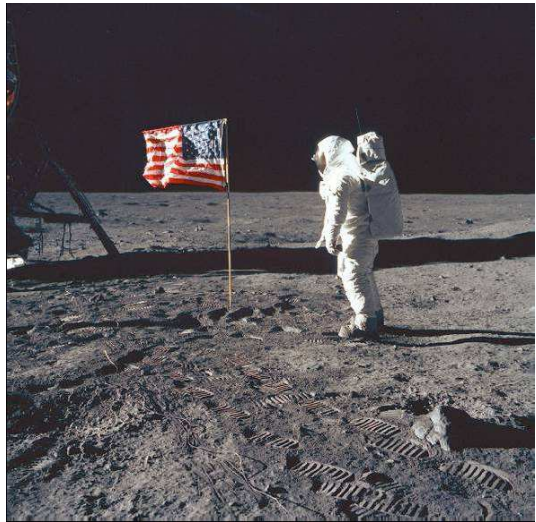
Il 12 aprile 1961 sui giornali di tutto il mondo apparve la strabiliante notizia che i sovietici avevano lanciato nello spazio una navicella con a bordo un essere umano, il pilota ventisettenne Yuri Gagarin, il primo astronauta della storia. Il volo era durato poco meno di due ore. Gagarin, dopo aver compiuto a bordo del Vostok 1 un'intera orbita attorno alla terra, era atterrato in un campo della sterminata pianura russa, accolto festosamente da un gruppo di contadini, che lo avevano notato scendere con il paracadute accanto alla sua capsula vuota. Poiché a quel tempo gli scienziati sovietici non avevano ancora risolto il problema del violento impatto della navicella sul terreno, l'astronauta, poco dopo il suo rientro nell'atmosfera, era stato proiettato fuori dal veicolo con il suo seggiolino ed era poi atterrato come un normale paracadutista. La notizia





dell'impresa parve a molti una conferma degli straordinari successi riportati dall'Urss in campo scientifico ed economico e secondo quanto aveva polemicamente affermato il leader sovietico Nikita Chruscev in un incontro con il presidente degli USA, avrebbero dimostrato nel giro di pochi anni la superiorità del sistema comunista rispetto a quello capitalista. Le basi tecnico-scientifiche per intraprendere il volo nello spazio furono fornite ai sovietici dagli scienziati tedeschi che, durante il secondo conflitto mondiale, erano giunti alla realizzazione delle V1 e V2, i famosi missili lanciati dai nazisti su Londra. In realtà alla fine della guerra, la tecnologia e gli scienziati tedeschi furono spartiti tra russi e americani. Ma fu in Urss che maturò più in fretta l'idea di utilizzare questo capitale umano e tecnologico per realizzare il sogno dell'uomo di viaggiare nello spazio. Furono i sovietici a lanciare il primo satellite artificiale, lo Sputnik 1, nell'ottobre 1957 e furono ancora i sovietici il mese seguente a mettere in orbita il primo essere vivente, la cagnetta Laika, la quale dopo sette giorni di volo nello spazio fu addormentata attraverso un sistema automatico e finì disintegrata nell'atmosfera assieme alla sua navicella, lo Sputnik. Nel clima di guerra fredda degli anni 50 il lancio degli Sputnik aveva suscitato allarme nell'opinione pubblica e nel governo statunitensi. Sebbene nel frattempo fosse stata creata la Nasa, l'ente americano preposto alla ricerca spaziale, all'annuncio dell'impresa compiuta da Gagarin questa inquietudine si trasformò nel timore che le conquiste tecnologiche sovietiche potessero minacciare il primato degli USA. La conquista dello spazio divenne quindi un nuovo terreno di sfida fra le due

superpotenze. Il 25 maggio 1961, a poche settimane dallo storico volo sovietico, il presidente Kennedy così si esprime in un famoso discorso davanti alle sessioni riunite del congresso : “ *Questa nazione deve porsi e raggiungere l’obiettivo prima della conclusione di questa decade di far atterrare un uomo sulla luna e di farlo*



tornare salvo sulla terra . E’ ora che questa nazione assuma una posizione di leader nelle attività spaziali le quali possono giocare un ruolo chiave per il nostro futuro sulla terra.” Otto anni dopo, il 21 luglio 1969, nell’ambito di un programma spaziale costato agli USA 25 miliardi di dollari, con il progetto Apollo, gli astronauti statunitensi Neil Armstrong e Edwin Ardwyn misero piede sul suolo lunare. La promessa formulata da Kennedy era stata mantenuta e l’America aveva vinto la sfida. In ambito storico possiamo intendere la corsa allo spazio, effettuata durante la guerra fredda, come un tentativo di una potenza di emergere sull’altra per quanto riguarda la scoperta dell’universo. I due blocchi si sfidarono nella rincorsa a sempre maggiori successi nel lancio di missili, satelliti e nella conquista della luna nel periodo che all’incirca va dal 1957 al 1975, cercando di prevalere l’uno sull’altro. Anche se le radici affondano nelle prime tecnologie missilistiche e nelle tensioni internazionali che seguirono la seconda guerra mondiale, la corsa allo spazio iniziò dopo il lancio dello Sputnik 1 sovietico analoga fu la corsa agli armamenti. Essa divenne una parte importante della rivalità culturale, tecnologica e ideologica tra gli Stati Uniti e l’Unione Sovietica. La tecnologia spaziale divenne un’importante arena per questo conflitto a distanza, sia per le potenziali applicazioni militari che per i benefici psicologici derivanti dalla propaganda.

Dopo il secondo conflitto mondiale, gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica si serrarono in una guerra fredda costituita principalmente da operazioni di spionaggio e propaganda. L'esplorazione spaziale e la tecnologia dei satelliti artificiali confluirono in questa competizione su entrambi i fronti: l'equipaggiamento satellitare poteva infatti spiare una nazione nemica, mentre i successi spaziali potevano invece propagandare le capacità scientifiche acquisite e il potenziale militare. Gli stessi missili che erano in grado di inviare un uomo in orbita o colpire un particolare punto della Luna potevano anche inviare un'arma nucleare su una città nemica. Gran parte dello sviluppo tecnologico richiesto per i viaggi spaziali fu applicato anche ai missili militari come i missili balistici intercontinentali. Analogamente alla corsa agli armamenti, i progressi spaziali vennero interpretati come un indicatore delle capacità economiche e tecnologiche, dimostrando la superiorità dell'ideologia appartenente ad una data nazione. A causa delle implicazioni militari ed economiche, lo Sputnik provocò timori e dibattiti politici agitati negli Stati Uniti, che incitarono l'amministrazione Eisenhower ad approvare diverse iniziative, tra cui la costituzione della NASA. Diversamente in quel periodo, il lancio dello Sputnik venne visto nell'Unione Sovietica come un importante segno delle capacità scientifiche e ingegneristiche della nazione. Nell'Unione Sovietica il pubblico seguì con grande interesse il lancio e il seguente programma di esplorazione spaziale. Per una nazione che si stava riprendendo dalla devastazione della guerra fu molto importante e di grande incoraggiamento vedere la prova dei progressi tecnici della nuova epoca. Prima dello Sputnik, l'americano medio pensava che soltanto gli Stati Uniti fossero leader in tutti i campi tecnologici, così in risposta allo Sputnik, essi affrontarono degli sforzi enormi per recuperare questa superiorità tecnologica

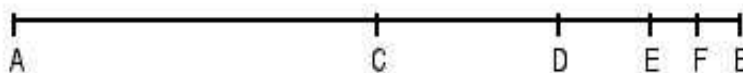


rinnovando anche i programmi scolastici. Questa reazione è oggi nota come *Crisi Sputnik*.

🌀 L'uomo fin dall'antichità, osservando il cielo stellato, ha identificato l'Universo con l'infinito. Ma possiamo parlare del concetto di infinito, non solo nel campo fisico – astronomico, ma anche in quello matematico – filosofico.

Ancora oggi i matematici non hanno smesso di discutere sulle conseguenze implicate da alcuni dei paradossi che aveva evidenziato, nel quinto secolo a.C. il filosofo greco Zenone di Elea. Alcuni di questi hanno a che fare con le contraddizioni degli insiemi infiniti.

Prenderemo ora in considerazione uno di questi paradossi, conosciuto come “paradosso della dicotomia”. Immaginiamo un percorso di una certa lunghezza, ad esempio un chilometro, da un punto A ad un punto B, ed un corridore, ad esempio Achille, il quale partendo dal punto A voglia raggiungere il punto B.



Nello spostarsi da A verso B, Achille deve passare per il punto C, punto medio tra A e B. Nello spostarsi da C a B, deve poi passare per il punto D, punto medio tra C e B. Nello spostarsi da D a B, deve quindi passare per il punto E, punto medio tra D e B. Questo processo di dimezzamento continua all'infinito: infatti, indipendentemente da quanto sia piccola la distanza che rimane da coprire, essa può essere sempre divisa a metà. Insomma, per compiere un percorso finito, Achille deve attraversare un numero infinito di intervalli finiti. Dobbiamo quindi concludere che Achille non raggiungerà mai il punto B. Ma è evidente che stiamo commettendo un errore, in quanto l'esperienza ci suggerisce che Achille non ha problemi a raggiungere il suo traguardo. Ci sono voluti quasi duemila anni perché i matematici e i filosofi

risolvessero in modo soddisfacente la questione, il cui nodo sta nel modo di concepire le somme di serie infinite. Vi sono alcune serie infinite che non ammettono somma: sono le serie divergenti, la cui sequenza di somme parziali diverge. Ad esempio, la serie infinita dei numeri interi pari è divergente: si può sempre accrescere all'infinito la somma finale aggiungendo un altro numero.

Ma vi sono altre serie infinite, dette convergenti, nelle quali la sequenza delle somme parziali converge. Consideriamo ad esempio, la serie generata dal paradosso della corsa:

$$1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + 1/32 + \dots + 1/2^n$$

La serie è infinita, perché si può sempre aggiungere una frazione dimezzando la precedente, ma è convergente, perché man mano che si aggiungono i termini la somma si avvicina sempre più al numero 1, senza mai oltrepassarlo. L'errore commesso da Zenone stava nell'idea che la somma di un numero infinito di intervalli finiti dovesse essere infinita. Mentre, in realtà, è assolutamente finita perché ammette un limite.

Ma che cosa è un limite?

Per spiegarne il concetto ricorriamo ad un esempio: supponiamo che un automobile si muova di moto rettilineo uniforme, essendo la velocità costante in qualsiasi punto del circuito, in qualunque istante noi decidiamo di misurare la velocità, questa sarà sempre la stessa. Supponiamo, ora, di avere un automobile che si muove con moto non uniforme: l'automobile alla partenza avrà una velocità v_0 pari a zero, successivamente acquisterà sempre una velocità maggiore. È noto che la velocità media in un dato intervallo di tempo è il rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo.

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Vogliamo conoscere la velocità istantanea dell'automobile nell'istante $t = 1s$, assumiamo ad esempio $\Delta t = 0,1s$, ed esaminiamo le posizioni del corpo negli

istanti $t = 1s$; $t+\Delta t = 0,1s$; $t+\Delta t = 0,01s$; $t+\Delta t = 0,001s$;

Possiamo osservare l'andamento della progressione attraverso una tabella:

Δt	V_m
0,1	10,49
0,01	10,049
0,001	10,0049
0,0001	10,00049
.....
.....

da cui si evince che la velocità del corpo è prossima a 10 m /s al diminuire del valore di Δt .

Questa situazione è “paradossale”: sappiamo che, quanto più Δt si avvicina allo zero, tanto più V_m si avvicina a 10, senza però poter mai assumere tale valore. Siamo perciò tentati di dire che la velocità istantanea è di 10 m/s, ma non siamo in grado di dare un significato rigoroso a tale affermazione. Si rende perciò necessaria l'introduzione di un nuovo concetto, quello di limite. Quando avremo definito rigorosamente tale concetto, potremo affermare che, al tendere di Δt a zero, la misura della velocità media tende al valore limite 10; scriveremo :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} V_m = 10m/s$$

Si potrà allora definire rigorosamente il concetto di velocità istantanea all'istante t , dicendo che essa è il limite a cui tende il valore della velocità media in un intervallo di tempo $[t; t + \Delta t]$, al tendere di Δt a zero.

Vi sono diversi tipi di limite:

- limite finito di una funzione $f(x)$ che tende ad un valore finito ad esempio:

$$\lim_{x \rightarrow 2} (1+x) = 3$$

- limite finito di una funzione $f(x)$ che tende ad un valore infinito ad esempio:

$$\lim_{x \rightarrow -3} x / (x+3) = \pm \infty$$

- limite infinito di una funzione $f(x)$ che tende ad un valore finito ad esempio:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} (3-2x) / x = -2$$

- limite infinito di una funzione $f(x)$ che tende ad un valore infinito ad esempio:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x^4 / (x^2+2) = \infty$$

Fino a qui abbiamo risolto il paradosso di Zenone in due modi: uno empirico (l'esperienza dimostra che Achille il traguardo lo taglia eccome!) ed uno matematico (il limite di una serie infinita convergente esiste ed è finito).

Ma la soluzione proposta dai matematici per risolvere il paradosso di Zenone, sulle cui regole è basata gran parte della scienza matematica attuale (le serie infinite, il calcolo dei limiti), è comunque basata su convenzioni, le quali sono accettate quasi da tutti perché grazie ad esse si riescono a spiegare molte cose. Più celebre del paradosso della dicotomia è forse un altro dei paradossi di Zenone: quello di Achille e della tartaruga. Achille e la tartaruga si trovano alla distanza di 100 metri. Achille viaggia alla velocità di 1 metro al secondo, mentre la lenta tartaruga percorre in quell'intervallo di tempo solo 10 centimetri. Essi partono nel medesimo istante, e Achille deve raggiungere la tartaruga. Passati cento secondi, Achille raggiunge il punto in cui si trovava la tartaruga al momento della partenza. Ma nel frattempo, quest'ultima si è spostata di dieci metri. E quando Achille avrà percorso quella distanza, la tartaruga avrà percorso un altro metro. Nell'intervallo di tempo che Achille impiega per percorrere quella breve distanza, la tartaruga avrà avuto tutto il

tempo di spostarsi di dieci centimetri in avanti. E così via all'infinito: per quanto piccola possa essere la distanza percorsa dalla tartaruga, essa sarà sempre più avanti rispetto al punto raggiunto da Achille, il quale non la potrà mai raggiungere.

Come si intuisce facilmente, il problema di fondo è lo stesso del paradosso della dicotomia, così come analoghi sono i possibili metodi risolutivi. Anche in questo caso la matematica risponde con il limite di una serie convergente, e dopo 111,1 metri la tartaruga sarà stata raggiunta. Ma anche in questo caso resta, tuttavia, aperto il problema di una spiegazione logica di come sia possibile, per Achille, portare a termine una serie infinita di atti in un tempo finito. Quando si disegna un ramo di iperbole, per quanto grande possa essere il grafico, questo non toccherà mai il suo asintoto, anche se quello è il suo limite. Insomma, il paradosso di Achille e della tartaruga non è ancora stato definitivamente risolto. Anche se, a dire la verità, del fatto che la tartaruga sia stata raggiunta da Achille una prova la abbiamo. In uno spassoso saggio pubblicato sulla rivista "Mind" nel 1985, infatti, troviamo i due che, al termine della corsa, chiacchierano amichevolmente. Si tratta del testo di Lewis Carroll "*What the Tortoise said to Achilles*", del quale riportiamo le prime righe.

Achilles had overtaken the Tortoise, and had seated himself comfortably on its back.

"So you've got to the end of our race-course?" said the Tortoise. "Even though it does consist of an infinite series of distances? I thought some wiseacre or other had proved that the thing couldn't be done?"

"It can be done," said Achilles. "It has been done! Solvitur ambulando. You see the distances were constantly diminishing: and so -"

"But if they had been constantly increasing?" the Tortoise interrupted. "How then?"

"Then I shouldn't be here," Achilles modestly replied; "and you would have got several times round the world, by this time!"

*"You **flatter me - flatten**, I mean," said the Tortoise; "for you are a **heavy weight**, and no mistake! [...] And would you mind - a personal favour - considering what a lot of instruction this colloquy of ours will provide for the Logicians of the Nineteenth Century - would you mind adopting a pun and allowing yourself to be re-named **Taught-Us**?"*

*"As you please!" replied the weary warrior "Provided that you, for your part, will allow yourself to be re-named A **Kill-Ease**!"*

Achille aveva superato la Tartaruga e si era seduto comodamente sul suo carapace.

"Così tu sei arrivato alla fine della nostra gara?" disse la Tartaruga. "Anche se la gara consiste di una serie infinita di distanze? Io pensavo che qualche sapientone o altro avesse provato che la cosa non poteva realizzarsi?" "Si può fare", disse Achille. "È stata fatta! Si risolve camminando. Tu vedi che le distanze diminuiscono costantemente e così via."

"Ma se fossero state costantemente in crescita?" interruppe la Tartaruga, "Allora?".

"Allora io non dovrei essere qui," Achille modestamente rispose; "e tu a quest'ora avresti fatto parecchie volte il giro del mondo!"

"Tu mi lusinghi – schiacci voglio dire," disse la Tartaruga; "perché tu sei un pezzo grosso, e non c'è alcun dubbio! [...] E ti dispiacerebbe – un favore personale – considerare quale insegnamento questo nostro colloquio fornirà ai Logici del diciannovesimo secolo – ti dispiacerebbe adottare un gioco di parole e permettere a te stesso di essere ribattezzato tartassaci? (Il gioco di parole consiste nella pronuncia di *Tortoise* ['tɔ:təs] e *Taught-us* [tɔ:t əs])"

"Come ti piace!" rispose l'affaticato guerriero "a patto che, da parte tua, concederai a te stessa di essere ribattezzata calma che uccide! (Anche qui vi è un gioco di parole basato sulla pronuncia di *Achilles* [ə'kili:z] e *A Kill-ease* [ə kil-i:z])"



Come abbiamo potuto notare con il paradosso di Achille e la tartaruga, la tematica dell'infinito è stata molto spesso oggetto di dibattito tra i filosofi.

Kant, uno dei massimi rappresentanti della cultura occidentale, nella sua concezione filosofica tratta dell'infinito, ed in particolare dei limiti dell'uomo circa la sua possibilità a conoscerlo. Kant ritiene inutili le dispute dei filosofi sui grandi problemi metafisici (l'immortalità dell'anima, l'esistenza di Dio, l'ordine del mondo ecc....). La conclusione è nell'"Analitica trascendentale", ossia nella parte della *Critica della ragion pura* (una delle opere più importanti del filosofo) dedicata all'analisi della facoltà intellettuale dell'uomo. Il filosofo afferma la possibilità di una conoscenza rigorosamente universale e necessaria ottenibile però sempre e soltanto nell'ambito dell'"*esperienza possibile*". Per quanto l'intelletto sia attivo ed eserciti una funzione legislatrice nei confronti dei fenomeni, la sua azione è però sempre ristretta all'interno dei confini finiti segnati dall'esperienza. Qualora si volesse attingere all'incondizionato si farebbe come quella sfortunata colomba, di cui parla Kant in una bella metafora (*metafora dell'esperienza*), la quale per essere più leggera e volare più liberamente vuole fare a meno dell'aria. Come la colomba, desiderosa di liberarsi dell'aria che oppone resistenza alle sue ali, cade e perisce, così accadrebbe alla ragione se volesse fare a meno dell'esperienza. Tuttavia la ragione umana non si accontenta di tale orizzonte finito, e, come la colomba sopra citata, essa è portata a spaziare oltre i suoi confini e a costruire grandi castelli senza domandarsi se essi siano edificati su solide fondamenta. La ragione non può dimostrare né l'esistenza di Dio, né l'immortalità dell'anima, né l'ordine generale del mondo nella sua totalità ed infinità, perché in tal caso



dovrebbe abbandonare il terreno dell'esperienza. Rispetto a tali idee, l'uomo resta muto, non può dire né che sono vere né che sono false: semplicemente non le può conoscere. Naturalmente, sarà sempre tentato di "pensare" che esista un Dio o che l'anima sia immortale, ma pensare, obietta Kant, non equivale a "conoscere". Infatti, sostiene il filosofo, dobbiamo distinguere tra conoscere e pensare. La "conoscenza" richiede due elementi: 1) innanzitutto l'intuizione sensibile, per cui un oggetto è dato; 2) in secondo luogo il concetto, in virtù del quale un oggetto è concepito. Se manca uno di questi due elementi non si può avere la conoscenza. L'attività del "pensare", al contrario, si può dare anche in mancanza dell'intuizione sensibile: è il caso delle idee della metafisica. Sarebbe un non senso, aggiunge Kant, sperare di conoscere un qualsivoglia oggetto che non appartenga all'esperienza possibile, ma si deve prendere consapevolezza dei limiti finiti della nostra ragione. Kant chiama "*ragione*" la facoltà dell'uomo che insegue il sogno dell'infinito, dell'incondizionato e dell'assoluto, mentre aveva chiamato "*intelletto*" la facoltà conoscitiva tipica della scienza (la scienza infatti si basa sull'esperienza).

Chiariti i limiti della ragione Kant si pone ora il problema gnoseologico fondamentale: trovare il principio che fondi e giustifichi il processo conoscitivo. Tale principio è identificato nell'*Io penso* suprema attività sintetizzatrice. Kant individua nella coscienza umana o autocoscienza tale suprema funzione unificatrice delle conoscenze. L'*Io penso* kantiano non crea la realtà, che trova fuori di sé, ma si limita a sintetizzarla e organizzarla. L'*Io penso* è, dunque, creatore delle forme del conoscere, non della realtà. È un soggetto "finito", cioè "limitato". Ne consegue un insanabile *dualismo*, che contrappone l'*Io penso* alla "cosa in sé" (o *noumeno*), intesa quest'ultima come "pensabile" ma non "conoscibile", una sorta di misteriosa incognita sempre sfuggente e inafferrabile.

Dopo Kant, la filosofia si assume il compito di eliminare tali fratture. Sullo sfondo vi è un'insoddisfazione per la rivoluzione kantiana incompiuta, che aveva sì mostrato il ruolo del soggetto ai fini della conoscenza, ma poi non aveva osato trarne le estreme conseguenze, ammettendo le cose in sé come indipendenti dall'*Io*.

La revisione del kantismo, dunque, mette capo all'**idealismo**, corrente di pensiero nata in Germania tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento a opera di un composito gruppo di intellettuali, tra cui spiccano le figure di *Fichte* e *Schelling*. Per cogliere il significato dell'idealismo è necessario collegarlo al contesto storico culturale da cui trae origine e linfa vitale, ossia il Romanticismo, che nacque in Germania come l'idealismo. I due movimenti devono ritenersi connessi in quanto entrambi rappresentano il superamento della ragione illuministica e l'affermazione di una nuova visione del mondo che rivaluta il sentimento, la fantasia, l'*Io*, la storia e la tradizione. L'aspirazione all'infinito è il primo e più importante tratto della cultura romantica, che accomuna il movimento sia nei suoi aspetti più genuinamente filosofici sia in quelli etici ed estetici. Tale aspirazione nasce da un senso di inquietudine universalmente avvertito verso tutto quanto possa costituire un "limite" per l'uomo assetato di assoluto. L'idealismo, non ammettendo alcun limite assoluto al pensiero, giunge a proclamare l'infinitezza dell'autocoscienza umana, inserendosi perfettamente nel clima culturale del Romanticismo europeo, di cui rappresenta l'espressione più significativa sul piano filosofico.

Fichte sostiene che l'*Io*, non essendo limitato dalle cose, è assoluto e infinito. Questo "Grande *Io*" costituisce il punto di partenza del sistema fichtiano che, proprio muovendo dall'*Io* puro (ossia dalla



originaria posizione dell'*Io* scevro dal condizionamento delle cose), deve dimostrare con una rigorosa deduzione tutti gli oggetti: la natura, le cose e il nostro stesso corpo.

Kant pur avendo fatta tanta strada sul cammino della filosofia idealistica, non ha saputo liberarsi del tutto da una visione limitata della conoscenza, avendo “delimitato” l'*Io* penso, o Autocoscienza, con l'ammissione di qualcosa di esterno e irriducibile a esso: la più volte menzionata “cosa in sé”. In tal modo non è riuscito a liberare l'*Io* da tutto ciò che è differente da lui, ossia del non-io, misconoscendone l'infinita originalità creatrice. Al contrario l'idealismo, affermando l'infinità dell'*Io*, è la filosofia che meglio esprime la libertà assoluta dell'oggetto. L'*Io* può essere considerato libero, “originario”, ossia come colui da cui solo trae significato il mondo. L'*Io* infinito comprende in sé sia il reale sia l'ideale e, dunque, è quanto di più completo e definitivo si possa concepire in filosofia. L'*Io* di Fichte non è immobile né statico, è Spirito e attività, un tendere infinito e senza sosta a una ideale meta di perfezione. Capiamo ora perché l'*Io* fichtiano è definito assoluto e infinito: esso non si identifica con l'*Io* personale di ciascun individuo ma è universale. Come tale, l'*Io* è inesauribile attività creatrice del mondo. Esso è creatore poiché conferisce senso al mondo, dato che quest'ultimo, senza l'*Io*, non potrebbe esistere. All'inizio c'è, quindi, l'*Io* puro o Spirito che, essendo inesauribile attività creatrice, produce qualcosa che è diverso da se stesso, il *non-io*, ossia la natura e tutto ciò che è sensibile e corporeo. Tale non-io appare a prima vista come qualcosa di esterno e contrapposto all'*Io*, come una “cosa” che sta di fronte al “sapere”, ma siffatta contrapposizione è tale soltanto se guardata dal punto di vista individuale (ossia dal mio, dal tuo, dal suo...), soltanto dal punto di vista individuale la natura e il mondo sensibile appaiono come oggetti contrapposti ed esterni; mentre in realtà essi sono interni all'*Io* puro. La vita dello Spirito è, dunque, un *processo creativo e infinito che si articola in tre essenziali momenti logici* (non cronologici). Nel

primo momento, quello originario e basilare, che non può essere oggetto di dimostrazione né di deduzione, l'*Io* pone se stesso, affermandosi come *Io* attraverso il processo di identità: $Io = Io$. Questo è il principio assoluto, incondizionato e originario della filosofia idealistica. L'*Io* puro non è né sostanza né persona, ma la pura e incondizionata attività creatrice, che si coglie immediatamente per via di intuizione, in quanto non può essere ricostruito *a posteriori* (ossia partendo dai fatti del mondo): l'*Io* puro è Autocoscienza. Ma nell'atto in cui si afferma, l'*Io* si determina e determinandosi, si distingue e si contrappone al diverso da sé, o non-io. Siamo così al *secondo momento*, in cui l'*Io* puro, essendo attività creatrice, pone il non-io, ossia la natura e il mondo o, in termini filosofici l'oggetto. Tale contrapposizione è necessaria perché l'*Io* puro, essendo suprema attività, ha bisogno di un altro da sé per realizzarsi, ma ciò comporta una reciproca limitazione dell'*Io* in rapporto al non-io e viceversa: questa limitazione dà origine al *terzo momento* della vita dello Spirito, quello che si riferisce alla concreta situazione del nostro essere nel mondo, in cui si fronteggiano una molteplicità di cose (non-io) e una pluralità di persone, che Fichte definisce "*io finiti*". Nel mondo, dunque, si ha la presenza degli "io finiti" e dei "non-io" che si fronteggiano e contrappongono. Ma guardata dal punto di vista filosofico, che esprime la vera realtà, la vita dello Spirito (o *Io* puro) si presenta come una unità contenente al suo interno sia i singoli "io finiti" (gli individui) che i "non-io" (la natura, il mondo, le cose). Ecco, dunque, delineato il romanzo dello Spirito, che mostra come dall'unità infinita dell'*Io* si origini la divisione e la molteplicità e come, dalla divisione e dalla molteplicità, che costituiscono un ostacolo per l'*Io*, si ritorni all'unità, in un processo infinito fatto di un continuo superamento del limite. L'*Io* puro di Fichte, quindi, ha bisogno di porre un oggetto di fronte a sé come proprio limite (o ostacolo), lo sviluppo dell'*Io*, infatti, consiste nel superare l'urto sempre rinascente tra l'*Io* e il non-io, un urto infinito, che consente allo Spirito

di mostrarsi come *soggetto etico*. Per Fichte il mondo esterno esiste perché costituisce il teatro dell'agire morale dell'*Io*. Ne consegue un primato dell'etica, in quanto la conoscenza si basa sull'attività pratica. Il mondo costituisce pertanto il campo del nostro agire e la natura (comprese le nostre passioni e il nostro corpo) l'ostacolo che lo Spirito si costruisce per mettersi alla prova, superarlo e, quindi, realizzarsi come libertà.

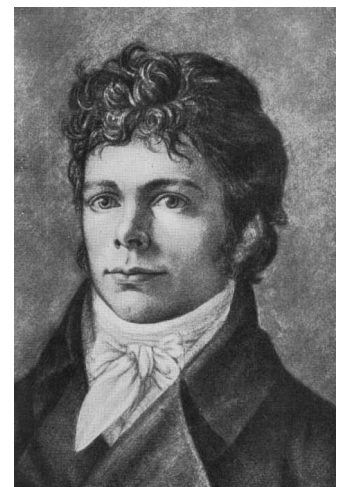
Ora chiediamoci: in che senso l'agire dell'*Io* si qualifica come morale? La risposta di Fichte è la seguente: l'uomo è soggetto etico quando è assolutamente autonomo, ossia non si fa condizionare dalle cose esterne, compresi gli istinti e le passioni. Se si lascia determinare dalla sensibilità, l'uomo, al contrario, avvilisce la propria libertà trasformandosi in uno strumento del capriccio della natura. L'uomo ha, dunque, la missione di forgiare se stesso come uomo, realizzando nella vita quotidiana, attraverso l'impegno etico, quella dimensione umana che è costituita essenzialmente dalla libertà. Pur essendo finito, e dunque esposto alla dipendenza delle cose e delle passioni, egli deve sforzarsi di realizzarsi come *Io* puro, ossia come personalità umana. Sebbene il fine ultimo dell'uomo consista nel sottomettere in sé tutto ciò che è irragionevole, tuttavia esso non è completamente raggiungibile. È implicito nell'idea stessa di uomo che il suo fine non possa essere raggiunto e che la via verso di esso sia infinita. La missione dell'uomo, non è di raggiungere un fine così elevato, ma di sforzarsi a raggiungerlo, avvicinandosi a esso: *“Or dunque l'avvicinarsi infinitamente a questa meta è la vera missione dell'uomo in quanto uomo, cioè in quanto essere ragionevole ma finito...”*. La perfezione, infatti, è per l'uomo la meta più alta a cui possa aspirare, ma è irraggiungibile; da cui consegue che la sua missione è il *perfezionamento all'infinito*.

Il principio che aveva assicurato il successo della filosofia di Fichte è quello dell'infinito: infinita attività che spiega ad un tempo l'*Io* e il non-io, lo spirito e la natura. Il riconoscimento e l'affermazione dell'infinito determinano

l'entusiasmo che la dottrina di Fichte suscitò, perché esprimono l'aspirazione dell'epoca. La filosofia di Kant contrariamente è una filosofia del finito e si muove perciò, come Kant stesso riconobbe, nell'ambito dell'Illuminismo. La filosofia di Fichte è una filosofia dell'infinito dentro e fuori l'uomo e spiana la strada al Romanticismo. Schelling e i romantici vedono chiaramente che la filosofia di Fichte apre un nuovo indirizzo, o, come essi dicono, una nuova era della speculazione; e, per quanto divengano ben presto impazienti di dare al principio fichtiano nuovi sviluppi, incompatibili con la dottrina di Fichte, non è meno vero che questi sviluppi muovono tutti da quel principio che, proprio con tale dottrina, aveva fatto la sua clamorosa comparsa in filosofia.

A differenza di Fichte, **Schelling** è appassionato ammiratore della natura, a cui vuole dare una più adeguata consistenza e autonomia in grado di fronteggiare l'invadente presenza del "Grande *Io*" fichtiano. Schelling rivaluta la natura, assegnandole una propria esistenza autonoma e indipendente dalla rappresentazione che la coscienza ha di essa. Non considerata più come oggetto (non-io) né come lo strumento che la coscienza pone per superare gli ostacoli sulla strada dell'affermazione di sé e della propria libertà, la natura acquista una nuova dignità e autonomia: essa è intrisa di infinito ed è un miracolo vivente, perenne fonte di meraviglia. Ma ciò non implica che la natura si configuri come una sorta di ritorno alla kantiana "cosa in sé", ossia a un mondo impermeabile alla conoscenza e all'*Io*.

Per Schelling, infatti, la natura è spirito solidificato e addormentato, ossia intelligenza "pietrificata" e, dunque, contiene in sé la spiritualità, anche se in modo inconscio e irriflesso. Non è difficile capire come da siffatte premesse discenda che il principio assoluto della filosofia per Schelling non sia costituito né dall'*Io* di Fichte, visto nella sua unilateralità, né dalla natura considerata nella sua separazione dallo spirito,



ma dall'unità indifferenziata di natura e spirito, *Io* e non-io, soggetto e oggetto, mondo e pensiero. Nell'idealismo schellinghiano, infatti, l'Assoluto (o Dio) si esprime e si rivela come natura e come spirito, dando origine al mondo e al pensiero. Se il mondo non è che l'incarnazione dell'Assoluto, ne consegue che non possiamo conoscerlo adeguatamente mediante l'intelletto e la scienza, ma soltanto grazie all'*arte*, l'unica conoscenza in grado di cogliere l'infinito nelle forme concrete della sensibilità (cioè del finito). L'arte è intuizione estetica, ossia capacità di penetrare l'infinito attraverso le sue manifestazioni, come ad esempio la bellezza. Che cos'è, infatti, la bellezza, se non l'infinito che si manifesta all'uomo nelle sembianze di un paesaggio, un tramonto o un volto?

L'arte è divina perché riesce a unificare il finito e l'infinito, l'oggettivo e il soggettivo, l'*Io* e il mondo in una relazione armonica che ha qualcosa di miracoloso e unico. L'arte riconduce a unità ciò che ora è scisso e che all'origine era unito. La filosofia ha, dunque, bisogno dell'arte che ora viene ad assumere, per la prima volta, un significato conoscitivo universale: essa è l'organo attraverso il quale l'Assoluto, nella sua identità di natura e spirito, fa la sua apparizione nel mondo ed è grazie a essa che gli uomini possono fare l'esperienza del divino. Ma che cosa c'è nell'arte di così grande da renderla unica? Riallacciandosi ai temi genuinamente romantici, Schelling insiste sul carattere di *genialità dell'artista*, il quale compie il miracolo della fusione di infinito e finito, di conscio e inconscio, di soggettivo e oggettivo, di materia e forma. Nella creazione artistica, infatti, le forze spirituali (libere) collaborano con le forze naturali inconse. L'arte è sì attività consapevole, in quanto l'artista progetta la sua opera con grande studio, meditazione e riflessione, ma tale lavoro non si traduce in opera d'arte senza l'*ispirazione*, che è qualcosa di misterioso e inconsapevole, in quanto viene all'artista dal regno del mistero. L'arte è, dunque, qualcosa di sublime, perché è l'unità di conscio (lo studio e il mestiere) e di inconscio (l'ispirazione), mirabilmente armonizzati nella

personalità del genio, che rassomiglia in ciò al divino creatore del mondo. L'artista o, come Schelling dice, "il poeta" - poiché l'arte vera è sempre poetica- è di conseguenza colui che incarna meglio l'Assoluto, ossia l'infinita attività creatrice di Dio, il "*poeta cosmico*".

📍 Sulla scia dei filosofi idealisti, anche molti letterati hanno trattato il tema dell'infinito. Tra questi Giacomo Leopardi (1798-1837) poeta italiano vissuto nel Romanticismo che scrive una poesia o meglio un Idillio dedicato all'infinito. Se l'infinito è il termine ultimo e irraggiungibile, immaginario e inconcepibile del desiderio umano, la poesia è la forma miracolosa che riesce a evocarlo e attualizzarlo. In bilico tra il visibile e l'invisibile, l'udibile e l'inaudito, i sensi e l'astrazione, la parola poetica riesce a materializzare l'immateriale, a tramutare l'immaginazione in esperienza

*Sempre caro mi fu quest'ermo colle,
e questa siepe, che da tanta parte
dell'ultimo orizzonte il guardo esclude.
Ma sedendo e mirando, interminati
spazi di là da quella, e sovrumani
silenzi, e profondissima quiete
io nel pensier mi fingo; ove per poco
il cor non si spaura. E come il vento
odo stormir tra queste piante, io quello
infinito silenzio a questa voce
vo comprando: e mi sovvien l'eterno,
e le morte stagioni, e la presente
e viva, e il suon di lei. Così tra questa
immensità s'annega il pensier mio:
e il naufragar m'è dolce in questo mare.*

La poesia si apre su un paesaggio: una collina (il monte Tabor) cara da sempre al poeta, e una siepe che nasconde il paesaggio. Il panorama si apre e si chiude subito, nel giro dei primi tre versi.

La siepe fa da confine tra il visibile e l'invisibile, il finito e l'infinito. La siepe, come tutti i confini, ha due facce, una interna, visibile dalla parte



dell'osservatore, e un'altra esterna, invisibile, dalla parte opposta. Ma cosa c'è oltre la siepe? Tre aggettivi ci descrivono la lunghezza indeterminata dello spazio incommensurabile, dell'infinito escluso dall'esperienza umana. Negli "interminati spazi" si accampa il non umano, anzi il non essere: silenzio e quiete non sono forse i modi del nulla, i segni dell'assenza? E quel silenzio e quella quiete

sono sovraumani e profondissimi inattingibili all'uomo e alla misura finita del suo esistere. Inattingibili, se non fosse per l'immaginazione: "io nel pensier mi fingo". È l'immaginazione che con la sua finzione riesce a inventare l'infinito, a proiettarlo oltre il limite del visibile. E l'invenzione fantastica è talmente forte da suscitare un sentimento acuto, da tradursi in paura ("ove per poco il cor non si spaura"). L'avventura nell'infinito parte quindi dagli occhi che vedono il visibile (il finito), all'immaginazione che finge l'invisibile, allo spavento del cuore. Da una sensazione fisica, all'evasione fantastica, al sentimento. La parte conclusiva dell'Idillio ci mostra come il pensiero che aveva varcato il confine si perde, "s'annega" nell'abisso della sua stessa invenzione. L'attualizzazione fantastica dell'invisibile, dell'inaudito è compiuta: quell'infinito è diventato "questa immensità.... questo mare", l'immaginazione ha trasformato un'assenza, la più radicale delle assenze, in presenza. L'uomo, chiuso nella sua finitezza, sembrava non poter toccare la sfera irraggiungibile e irreale dell'infinito: la finzione fantastica è riuscita

invece ad avvicinare e rendere possibile questa esperienza. L'infinito, quindi, può essere il tutto o il nulla: può essere cioè connotato positivamente o negativamente. Se l'infinito è il tutto, il contatto con l'infinito può essere l'esperienza mistica del contatto con Dio. Ma se l'infinito è il nulla il suo contatto non è altro se non la perdita definitiva, la dolcezza del venir meno.

Alcuni studiosi ritengono che l'infinito di Leopardi è "negativo", nel senso che è un infinito creato dall'immaginazione e dal desiderio, un puro prodotto della mente umana che non fa altro che alimentare i sogni e le illusioni dell'uomo. L'infinito diventa il principio stesso del piacere, e il fine stesso a cui tende questo slancio dell'uomo. Nello "Zibaldone" Leopardi afferma che *"L'infinito è un parto della nostra immaginazione, della nostra piccolezza ad un tempo e della nostra superbia [...] l'infinito è un'idea, un sogno, non una realtà: almeno niuna prova abbiamo noi dell'esistenza di esso, neppur per analogia"*. Per il poeta l'infinito coincide con lo slancio vitale, con lo spasimo, la tensione che l'uomo ha connaturata in sé verso la felicità. L'infinito diventa il principio stesso del piacere, e il fine stesso a cui tende questo slancio dell'uomo. È il desiderio assoluto di felicità che porta l'uomo a ricercare il piacere in un numero sempre crescente di sensazioni, nella speranza vana della sua completezza; è una tensione che non ha limiti, né per durata nel tempo, né per estensione, per questo si scontra irrevocabilmente con la vita umana, lo spazio, il tempo, la morte. Infatti *"l'anima umana desidera sempre essenzialmente e mira unicamente, benché sotto molti aspetti, al piacere, ossia alla felicità [...] Questo desiderio e questa tendenza non ha limiti, perché è ingenita e congenita con l'esistenza, e perciò non può avere fine in questo o in quel piacere che non può essere infinito, ma solamente, termina con la vita"*. L'uomo non cessa mai di desiderare, perché, anche quando crede di desiderare un piacere concreto e determinato, in realtà desidera un piacere astratto e illimitato. Per questo, anche quando ottiene l'oggetto desiderato, avverte "un vuoto nell'animo", perché quel piacere è necessariamente limitato

nel tempo e nello spazio, destinato dunque ad essere o troppo piccolo o troppo breve. Per Leopardi, questa tensione può spegnersi solo nel momento della morte perché è uno slancio connaturato alla vita stessa, *"l'anima, amando sostanzialmente il piacere, abbraccia tutta l'estensione immaginabile di questo sentimento, senza poterla neppure concepire, perché non si può formare idea chiara di una cosa che ella desidera illimitatamente"*. In questo quadro desolante, che stabilisce con drastico pessimismo l'ineluttabilità della delusione, c'è però un elemento che consente un approccio, sebbene fittizio e irreale, con l'infinito. Questo elemento è l'immaginazione che ci permette di superare i limiti fisici della natura umana e che ha come "attività" principale la raffigurazione del piacere: *"Il piacere infinito non si può trovare nella realtà, si trova così nell'immaginazione, dalla quale derivano la speranza, le illusioni, ecc..."* Ma l'immaginazione ha bisogno di stimoli e perciò *"l'anima si immagina quello che non vede, che quell'albero, quella siepe, quella torre gli nasconde, e va errando in uno spazio immaginario, e si figura cose che non potrebbe se la sua vita si estendesse dappertutto, perché il reale escluderebbe l'immaginario"*. Se dunque l'obiettivo centrale dell'uomo è la felicità, e se questa felicità può essere procurata solo dalle illusioni, ne consegue una gerarchia di valori in cui il falso dell'immaginazione viene prima del vero della ragione. Per Leopardi, inoltre, la conoscenza del vero allontana l'uomo dalla felicità: così gli antichi, tanto più ignoranti di noi, che vivevano immersi negli orrori prodotti dalla loro immaginazione, erano in realtà molto più felici di noi moderni, che osserviamo tutto in una fredda luce razionale, la nera fiaccola della verità che svela, spietata, i limiti e l'infelicità dell'esistenza umana. La distinzione tra la condizione degli antichi e quella dei moderni sembra salvare la possibilità di un'età dell'oro, cioè di un'epoca felice agli albori del mondo: per questa prima fase del pensiero leopardiano si parla quindi di **"pessimismo storico"**, in quanto l'infelicità dell'uomo non sarebbe connaturata all'uomo, ma sarebbe effetto della storia e del suo

progresso conoscitivo. L'uomo non sarebbe stato creato infelice dalla natura, ma lo sarebbe diventato nel corso del tempo, allontanandosi dalla natura stessa, dalla sua felice ignoranza, dalle sue appassionate illusioni, lungo il cammino arido e triste della civiltà e della ragione, fino al traguardo tragico della scoperta della verità, cioè dell'infelicità umana. Non per nulla la natura, che *“ha voluto incontrastabilmente la felicità degli esseri”*, ci ha reso così difficile la scoperta della verità: proprio perché una simile scoperta, lungi dal procurarci la felicità, ce l'avrebbe irrimediabilmente negata. Il pessimismo leopardiano, però, col passare degli anni si radicalizza e si assolutizza: la natura non viene più descritta come una madre benevola verso le sue creature e attiva per il loro benessere, ma *“come un fanciullo”*, che, dopo aver edificato col massimo impegno la sua costruzione, subito comincia a impegnarsi per distruggerla a *“travagliare alla sua dissoluzione”*. La natura, cioè, non crea gli uomini per la felicità, ma per un gioco spensierato e crudele, che costruisce per distruggere, crea per annientare. *“Tutto è male. Cioè quello che è, è male; che ciascuna cosa esista è un male; ciascuna cosa esiste per fin di male”*. Il mito di un'età dell'oro, di una possibile felicità in seno alla natura è definitivamente tramontato. È questo il senso del cosiddetto **“pessimismo cosmico”**: non c'è più un angolo del tempo e dello spazio, del cosmo e della storia, che il Leopardi maturo non veda occupato dal dolore o, ancora peggio, dalla noia. Perché la noia è così terribile per Leopardi?


È l'orrore del vuoto, l'assenza di una qualunque occupazione che ci distraga dalla vita. Ci si annoia quando non si fa nulla, quando non si gode di nulla, quando non si soffre per nulla. Nel vuoto opprimente creato dall'assenza del piacere e del dolore, la noia s'impone come esperienza conoscitiva di un nulla assoluto: è lo stato ideale per fare filosofia, per scoprire, cioè, quella verità che ci toglie l'unica fonte di piacere a noi concesso ovvero l'immaginazione e la sensazione di infinito che ne deriva.

La filosofia idealistica tedesca influenzò non solo il Leopardi ma diede un grande contributo allo sviluppo dell'arte figurativa. Più volte, infatti, i pittori tedeschi affrontarono nei loro dipinti quegli stessi temi esistenziali, come la meditazione sul trascorrere del tempo e sugli spazi infiniti, che avevano contraddistinto la poesia romantica. Anche **Caspar David Friedrich**, il massimo esponente dell'arte tedesca del tempo, espresse nelle sue opere, il desiderio d'infinito e la riflessione sulla vita, attraverso la realizzazione di paesaggi surreali, nei quali l'artista non cerca di raggiungere una fedele riproduzione del dato naturalistico, ma piuttosto di esprimere la propria interiorità. Questo desiderio di infinito e di riflessione sulla vita è espresso nel quadro: *"Il viandante sul mare di nebbia"*. Il dipinto (olio su tela realizzato nel 1811) è forse il quadro più famoso del pittore. In quest'opera si avverte immediatamente la poetica dell'artista, traducibile nel sublime, nel senso di



una natura immensa e potente, che sarebbe poi il cardine del pensiero romantico. Viene così ritratto di spalle un uomo, il viandante solitario, la sua posizione evoca proprio la parte inconscia e nascosta dello stesso, e che affacciato sul mare di nebbia che copre un intero paesaggio montagnoso è lì ad osservare il tutto. L'assenza di vegetazione sottolinea la mancanza di posti accoglienti, il tutto infatti trasmette un senso di inquietudine, stessa sensazione che esprimono le rocce, nere e inospitali, emergenti dalla nube di nebbia, che sembra quasi lo stesso vapore che sprigiona la terra dal suo interno; ciò ci riporta ad immaginare un paesaggio angusto, quasi come doveva essere attimi dopo la creazione. L'uomo, lì sulla scogliera, ci permette di capire quanto è piccola e finita la

dimensione umana rispetto alla dimensione della natura. Vi è anche un uso mirato della prospettiva, infatti il punto di vista è posto all'altezza della testa del personaggio, e ciò ne favorisce la sua identificazione, in quanto è come se lo si guardasse dall'alto; colui che osserverà il paesaggio, come fa il viandante, deve provare le stesse sensazioni che prova lo stesso viandante, in quanto si è perfettamente nella stessa dimensione, ossia quella umana. Si avverte inconfondibilmente un senso di sublime meraviglia e di sgomento di fronte all'immensità dell'universo. Questo senso ci è dato anche dall'uso di colori con tonalità tali da creare uno stacco tra il primo piano e lo sfondo. L'uomo sta di fronte all'infinito come innanzi a qualcosa di assolutamente inaccessibile, ma ad un tempo ne è affascinato, attratto. L'eroica solitudine dell'uomo davanti all'abisso nevoso fa di questo dipinto il manifesto dell'intero romanticismo tedesco: assorto nella contemplazione dell'infinito, di qualcosa che sta al di sopra della comprensione umana, egli acquista una grandezza tragica. Friedrich si fa nell'occasione interprete del pensiero di Schelling, per il quale l'esperienza della natura è la sola via per raggiungere Dio. Il vero filosofo, viaggiatore solitario, separato dal mondo e allo stesso tempo separato dalla natura, resta dunque estraneo a ogni comunità e, dall'ultimo avamposto del mondo, si confronta con l'indescrivibile visione dell'esperienza estrema data dall'infinità della natura.

 Il Romanticismo si diffuse anche in Inghilterra e tra i maggiori esponenti della poesia inglese vi è sicuramente William Wordsworth.

In English literature "Romanticism" was a new sensibility which typically refers to the late 18th century and the 19th century. As a result of the dissatisfaction for the present situation, men and especially poets turned their attention to feelings and emotion. The term "romantic" first appeared in England in the 17th century in the sense of "extravagant, fictitious, unreal", but, by the end of the 18th, it had assumed a somewhat different meaning and was particularly connected with feelings, imagination and emotional pleasures.

The English literary background of the Romantic movement is somewhat complex and is related to the philosophical thought of such French writers as Voltaire and Rousseau and to the German literary movement called “*Sturm and Drang*”.

The English Romantic period was dominated above all by poetry, since it was in poetry that renewed interest in imagination and emotions found its ideal vehicle.

The artist and the poet in particular came to be seen as someone unique in his creative faculties, a prophet divinely inspired. Although moderately concerned with the political and social problems of his time, the poet tended to withdraw into himself, indulging into introspection and meditation.

Many poets spoke of themselves, of their joys and fears, of their melancholy and triumphs, of their passions and their rebellions. In some poets there was a spirit of revolt that resulted in a sort of *titanism*, in others it led to the exaltation of the irrational and mystic aspects of life.



Some looked at an idealized *Hellenism*, inspired by the Greek ideal of beauty and by the concept of *art for art's sake*. Others found escape from reality in the *exotic*. Imagination played an important role, in fact the Romantics revisited the past through their own imagination that became the distinguishing feature of this period. All the poets turned to nature that put the artist in touch with the infinite and the divine and had a mystical effect on man. So Nature was no more an organism which

man can rule through rationality, but it became something real and living, existing as man exists. Schelling in particular, with his philosophy of art (seen as supreme moment) and his conception of nature (considered as something alive) had a deep impact on the development of romantic ideas. The Romantic

poets are usually divided into two groups, conventionally defined as *First Generation* (Wordsworth and Coleridge) and *Second Generation* (Byron, Shelley and Keats).

One of the most important poets of the first generation is certainly William Wordsworth. Among of his miscellaneous poems we can remember the *Lyrical Ballads*, a collection planned and written together with Coleridge. The preface is generally considered the Manifesto of the Romantic Movement in English literature.

The main features of Wordsworth poetical credo are:

- Poetry was to deal with “*situations, incidents from common life*”. The best subjects to write about were therefore “*humble rustic life*” and simple people living in the countryside (not in town), because they were in close contact with nature, and their “*elementary feelings*” and habits were more likely to be understood, communicated and sympathized with.
- The poems were to be written as far as possible in “*a selection of language really used by man*” and as near as possible to the simple “*language of man*”, though purified of any disagreeable or disgusting expression.
- Imagination was to play a very important role, which Wordsworth identified with its capacity of “*colouring*”, that is to say, of modifying the objects observed, so as to preserve them “*in an unusual aspect*”. In other words, it awakened and sharpened a special intuition or insight, which enabled the poet to perceive and see things which the ordinary mind was usually blind to, the eyes of the soul seeing farther and deeper than the eyes of the mind.
- Although the poet describes natural and simple objects and peaceful landscapes, he does not look at them with the realism of cold, objective observation, but he sees all things through the eyes of memory, which recollects already lost emotions and half-extinguished thoughts. Since poetry is the “*spontaneous overflow of powerful feelings*”, these feelings are not immediate, but originate from “*emotions recollected in tranquillity*”, recreated

by the subjectivity of memory; they are not original emotions, but past feelings contemplated and reorganized.

- Although equal to other men in quality, the Poet stands apart from them because of his higher degree of sensibility and imaginative capacity: he is in fact “possessed of more than an usual organic sensibility” and has also “*thought long and deeply*”. He is therefore best suited to reach the very essence of things and communicate them in a simple, unelaborated language. Moreover he is also a moral teacher, whose task is to purify man’s emotions through the “*descriptions of such objects as strongly excite those feelings*”.

The two main themes of Wordsworth’s poetry are childhood and nature.

There is a close relationship between the adult and the child and, through the child, between the adult and nature. It is in fact only in childhood that man establishes a perfect communion with nature, which he later perceives die away as he grows up. But the happy moments of childhood can be brought back to him through the ecstasy, he can still feel for a natural event (such as a rainbow, for instance). Bound together by memory and meditation (“emotion recollected in tranquility”) memory and meditation become the substance of his inner life. It is in this sense that, according to Wordsworth, “*the Child is father of the Man*”.

Man and nature are different but inseparable of whole universe, a total scheme created by God, or rather by a Mighty Power. Wordsworth maintained that Nature was endowed with a spirit and a life of her own, present not only in plants and animals, but in inanimate objects as well, such as stones and mountains. Nature was a living presence speaking to all those who were able to enter intimate relationship with her and understand her language. It was then through a fusion with Nature, and through a quiet contemplation of her beauty, that man could rediscover the image of God and become aware of his own inner life. Nature, in fact, was a friend and a comforter to man, the only great teacher from which, by penetrating into her divine essence, he could

learn virtue and wisdom. The mission of the poet, like that of a prophet or a priest, was therefore to open man's souls to the inner reality of Nature and to the calm, meditative joy she can offer us.

🕒 Nel pensiero cristiano l'infinito è l'essenza divina per due ragioni: perché essa non può avere limiti e perché infinita è la capacità creativa di Dio. Proprio il presupposto teologico dell'infinità e dell'onnipotenza di Dio favorirà – nel secolo XIV – una riaffermazione del significato metafisico e scientifico dell'idea di infinito: ad esempio condurrà ad ammettere, almeno in linea di principio, che Dio abbia il potere di creare uno spazio infinito nell'universo e infiniti mondi.

È soprattutto in Sant'Agostino che viene a stabilirsi un profondo legame fra ragionamento teologico e ragionamento matematico sull'infinito. Egli, infatti, divenne il maggior rappresentante dei Padri della Chiesa e della pedagogia del Cristianesimo antico e uno straordinario mediatore fra cultura classica e cultura cristiana. Agostino afferma esplicitamente che l'infinito attuale esiste: ad esempio, esiste nella mente di Dio, che è infinita e pensa quindi infinite cose. Muovendosi sempre dall'idea che la mente divina è infinita, sostiene che in essa è concepibile – cioè non contraddittoria – l'esistenza in atto di una totalità infinita di numeri interi. L'intuizione agostiniana, che verrà ripresa solo alle origini dell'era moderna, è emersa soprattutto nelle “Confessioni”, la sua opera più celebre. Le confessioni, scritte dal 397 fino al 400 (anche se a riguardo ci sono state numerose dispute), sono un'opera divisa in 13 libri, nella quale Agostino ha voluto porre davanti a Dio e a noi tutti il ricordo della sua anima e, con una profonda umiltà, manifestare il suo vecchio e nuovo “Io”. Lui inizia quella che sarà la sua opera più importante con un'invocazione a Dio (*Magnus es Domine*), che si configurerà nel dialogo continuo e serrato, come destinatario esplicito, interlocutore silenzioso, sempre presente nella sua assenza. Già il titolo “Confessiones” che ha origine

dai Salmi suggerisce l'idea di un salmo in prosa che loda Dio e dichiara l'inferiorità e la colpevolezza dell'uomo di fronte a Lui: in chiave autobiografica diventa la storia delle colpe del protagonista. Attraverso lo strano dialogo che si instaura tra Sant'Agostino e Dio, si rivela il messaggio profondo dell'umanità: la nullità dell'uomo di fronte a Dio, la presenza del male, la debolezza degli uomini, la disperata ricerca del Signore, inutile se non sorretta dalla Grazia. Già dall'inizio dell'opera emerge la concezione dell'infinito che, come già detto, coincide con Dio. L'infinita potenza e perfezione di Dio è diversa dal creato e dimora nella memoria e



nell'anima di ogni uomo pur rimanendo al di là dello spazio e del tempo. Al concetto di Dio Sant'Agostino si accosta narrando gli eventi della sua vita che diventano simbolici soprattutto se utilizzati nel presente, attraverso la memoria, per ricercare il senso della vita. Nella prima parte dell'opera dove domina la narrazione autobiografica, Agostino delinea un ritratto vivissimo della sua esperienza scolastica, vista come esempio di incapacità pedagogica e di inutilità contenutistica, in quanto fondata su un curriculum di elementi e valori privi di senso. Da qui inizia il nuovo cammino di Fede e Ragione che diventano parte di un unico itinerario, in cui la Ragione deve porsi al servizio della Fede. Le "Confessiones", quindi, è la storia di un'anima che ricorda il passato alla luce del presente e rivive le proprie esperienze come una metamorfosi dalla colpa alla salvezza, dall'angoscia alla pace. È la rievocazione di una conversione sofferta, che non si conclude con il possesso di certezze definitive: il presente fa sempre i conti con il passato e mantiene la tensione di una ricerca che si può concludere solo nell'aldilà. Il protagonista Agostino diventa quindi simbolo dell'intera umanità, emblema dell'uomo

come pellegrino nel tempo e nell'esistenza, il modello di chi ricerca Dio e raggiunge la gioia della conversione, l'esempio della metamorfosi del cristiano. Per questo motivo, il destinatario del libro è l'umanità tutta, alla ricerca di Dio. L'opera, quindi, raggiunge la sua unità perfetta con Dio, prima cercato dallo scrittore nella propria vita, poi nella memoria (libro X) e infine nella creazione (libri XI-XIII). Dio, che non ha vizi, è sempre vicino all'uomo e lo sostiene, rendendolo solidale col prossimo, con cui forma una comunità, ed elevandolo verso sé; per fare questo l'uomo, il cui paradigma è Agostino stesso, deve riconoscere i suoi peccati e convertirsi per diventare un uomo nuovo, purificato, depurato dalla morte del peccato e per conoscere, invece, la Verità immutabile e non opinabile grazie alla Fede. La riflessione teologica non discende mai dall'alto, ma scaturisce da una conquista progressiva, vissuta da Agostino in prima persona e frutto di circostanze talvolta occasionali: non per nulla, un grande numero di episodi "minori" ispirano alcune delle pagine più belle dell'opera. In altri casi, la natura degli approfondimenti su tematiche diverse, le indagini sulla memoria e sul tempo rivelano una sorprendente acutezza di pensiero, accompagnata da una cultura ampia sia dei testi classici che delle Sacre Scritture.

Riportiamo qui di seguito l'esordio delle *Confessiones* che ci introduce nel fitto delle tematiche agostiniane e delle loro interpretazioni. La prima parte è dedicata alla lode, la seconda esplora il rapporto fede/ragione che continuamente scaturisce dalla ricerca.

Magnus es domine, et laudabilis valde: magna virtus tua et sapientie tuae non est numerus. Et laudare tu vult homo, aliqua portio creaturae tuae, et homo circumferens mortalitatem suam, circumferens testimonium peccati sui et testimonium, quia superbis resistis. Et tamen laudare te vult homo, aliqua portio creaturae tuae. Tu excitas, ut laudare te delectet, quia fecisti nos ad te et inquietum est cor nostrum, donec requiescat in te, Da mihi, domine, scire et intellegere, utrum sit prius invocare te an laudare te et scire te prius sit an invocare te. Sed quis te invocat nesciens te? Aliud enim pro alio potest invocare nesciens. An potius invocaris, ut sciaris? Quomodo autem invocabunt, in quaem non crediderunt? Aut quomodo credunt sine predicante? Et laudabunt dominum qui requirent eum. Quaerentes enim inveniunt eum et invenientes laudabunt eum. Quaeram te, domine, invocans te et in vocem te credens in te: praedicatus enim es nobis. Invocat te, domine, fides mea, quam dedisti mihi, quam inspirasti mihi per umanitatem fili tui, per ministerium praedicatori tui.

Grande sei, o Signore, degno di somma lode: grande è la tua potenza, senza limiti la tua sapienza. L'uomo vuole lodarti, particella della tua creazione, l'uomo che porta con sé la sua natura mortale, che porta con sé la testimonianza del proprio peccato e la testimonianza che tu resisti ai superbi. Eppure l'uomo, particella della tua creazione, ti vuole lodare. Tu stimalo affinché si diletta a lodarti, perché ci creasti destinati a te e il nostro cuore è inquieto, finché non riposa in te. Concedimi, o Signore, di conoscere e di capire se prima ti si debba invocare oppure lodare e se prima ti si debba conoscere oppure invocare. Ma chi ti invoca senza conoscerti? Chi non ti conosce potrebbe invocare una cosa per un'altra. O piuttosto ti si invoca per conoscerti? E in che modo invocheranno colui in cui non hanno creduto? E come si può credere senza qualcuno che ti faccia conoscere? Loderanno il Signore coloro che lo cercano. Cercandolo infatti lo troveranno e trovandolo lo loderanno. Signore, io ti cercherò invocandoti, e possa invocarti credendo in te: infatti ti sei manifestato a noi. Ti invoca, o Signore, la mia fede, che tu mi desti, che tu mi ispirasti mediante l'umanità di tuo Figlio, grazie al ministero del tuo predicatore

Indice

Finito.....Infinito

- 🌐 La terra come un giroscopio (Geografia astronomica) pag 1
- 🌐 L’Universo secondo Einstein (Astrofisica). pag 10
- 🌐 La conquista dello spazio durante la Guerra Fredda (Storia) pag 19
- 🌐 L’infinito nella matematica (Matematica) pag 23
- 🌐 L’infinito da Kant a Schelling (Filosofia) pag 29
- 🌐 Leopardi e la poetica dell’infinito (Italiano) pag 37
- 🌐 Friedrich e la pittura dell’infinito (Arte) pag 42
- 🌐 L’infinito e la natura nel Romanticismo Inglese:
 - Wordsworth (Inglese). pag 43
 - “What the Tortoise said to Achilles” by Lewis Carroll.....pag 27
- 🌐 L’infinito nel pensiero cristiano di Sant’Agostino (Latino) pag 47

