



C.E.T. Centro Educativo Territoriale - Bagnone

Le rivoluzioni scientifiche che hanno cambiato il mondo

Da Newton ad Einstein

A cura di Martino Lazzeroni - Francesca Guastalli

Rivoluzioni ed evoluzioni

Il dibattito nelle scienze della natura

Questa ricerca si propone di verificare

- 1) Quando ha origine una rivoluzione scientifica
- 2) Come viene accolta dagli scienziati
- 3) In che modo alcuni di essi difendano l'idea che la scienza si realizzi attraverso una evoluzione concettuale

Utilizzeremo particolarmente i punti di vista di storici della scienza, epistemologi e scienziati quali **Cohen**, **Khun** e lo stesso **Einstein**

La centralità dell'idea di rivoluzione scientifica nasce dal
libro di

Khun

“La struttura delle rivoluzioni scientifiche”

che ha aperto un grande dibattito tra

paradigmi e scienza normale

e

paradigmi e rivoluzioni scientifiche

PARADIGMI E SCIENZA NORMALE

Durante i periodi di **Scienza normale** una particolare comunità scientifica opera **fondandosi su uno o più risultati raggiunti dalla scienza del passato** ai quali, per un certo periodo di tempo, riconosce la capacità di costituire il fondamento di ogni prassi ulteriore. Questi fondamenti non vengono mai messi in discussione e gli scienziati si prefiggono di riconfermarli attraverso la loro applicazione. Essi assumono il ruolo di **Paradigmi** e su essi gli scienziati si basano per risolvere problemi di ogni genere con *promessa di successo*.

Ne sono esempio *La fisica di Aristotele* e *i Principia di Isaak Newton*

La scienza non è per Kuhn esplorazione dell'ignoto, ma gli scienziati operano normalmente in un contesto di consolidamento e ripulitura dell'edificio

PARADIGMI E RIVOLUZIONI SCIENTIFICHE

Nell'ottica di Kuhn una **rivoluzione scientifica** (come quella di Copernico o di Einstein) è la conseguenza di una crisi, **determinata da una falsificazione dei paradigmi fino ad allora accettati**.

I nuovi paradigmi non nascono dunque come risultati raggiunti dalla teoria precedente ma dall'abbandono degli schemi precostituiti del paradigma dominante.

Il nuovo paradigma permetterà di chiarire meglio tutti quei fenomeni che i precedenti paradigmi spiegavano. Il paradigma che si impone, secondo Kuhn, non è detto che sia il più vero, è soltanto quello maggiormente in grado di catturare l'interesse di un certo numero di seguaci e guadagnarsi la fiducia della comunità scientifica.

Non si può non ricordare che una **visione opposta dei processi scientifici** viene definita da **Karl Popper** che sostiene invece l'importanza della scienza normale **nell'evidenziare quelle anomalie che mettono in crisi il paradigma, (falsificazionismo), consentendone una evoluzione verso un nuovo sistema di modelli**.

Carattere sociale delle rivoluzioni scientifiche

Cohen (La rivoluzione nella scienza)

Nella storia della scienza la percezione del concetto di *rivoluzione scientifica* non si è definita una volta per tutte ma è cambiata nel tempo. Il concetto di “rivoluzione fuori e dentro la scienza” è un principio complesso, documentato già dal termine stesso “rivoluzione”, con la **transizione di significato da evento ciclico, ricorrente, a quello di fatto unico di importanza eccezionale, che introduce una situazione nuova.**

Per Cohen il verificarsi di rivoluzioni è un carattere regolare del mutamento scientifico e **una rivoluzione nella scienza ha una forte componente sociale, rappresentata dall'accettazione da parte della comunità scientifica.**

IL CONCETTO DI RIVOLUZIONE NEL SETTECENTO

Il Settecento è il secolo che fonda il principio di “rivoluzione” come lo intendiamo noi oggi, quindi non ritorno ciclico ma mutamento radicale, salto discontinuo, rottura con il passato, concetti ai quali ci hanno abituato le rivoluzioni nella storia: quella americana e soprattutto quella francese , che hanno segnato nella storia dei popoli l'avvento di *status* socio-economici di decisa ed irreversibile rottura con il passato

Nel **quinto volume dell'*Encyclopédie Diderot*** introdusse una discussione sulla rivoluzione nella scienza, che successiva mente ampliò nel saggio *Sull'interpretazione della natura, in cui* delinea un progresso della scienza marcato da una successione di rivoluzioni.

Tra il 1780 e il 1790 il concetto di rivoluzione diffuso dall'ambiente illuminista è tanto condiviso che **Condorcet**, nella sua opera inerente le tavole storiche dei progressi dello spirito umano, lo userà ampiamente per la fisica, l'astronomia e la chimica.

La cosiddetta RIVOLUZIONE COPERNICANA DI KANT



Alla fine del Settecento le convinzioni di Kant rivestono particolare interesse per lo studio del concetto di rivoluzione.

Kant era convinto che le scienze avanzassero per mezzo di rivoluzioni con mutamenti vistosi della nostra conoscenza in netta rottura col passato.

Secondo Kant la fisica subì una felice rivoluzione nel suo metodo quando attraverso la ragione dovette cercare nella natura: essa apprenderà dalla natura ma entro i parametri concettuali ordinatori che essa stessa vi pone

Per la metafisica anteriore tutti i fenomeni esistevano fuori dalla mente che le percepiva.

Il nuovo punto di vista di Kant suppone che oggetto della nostra conoscenza non siano le cose in sé ma il risultato dell'interazione della nostra mente (delle sue strutture concettuali) con gli oggetti della nostre sensazioni ed in questo egli vedeva la rivoluzione copernicana della sua filosofia.

**Per Cohen si possono individuare tre fasi RIVOLUZIONARIE prioritarie
nei QUATTRO SECOLI DI VITA DELLA SCIENZA MODERNA**

1) La RIVOLUZIONE COPERNICANA

come completata da **Keplero** e
Galileo che ha introdotto

- A) La concezione della natura come ordine oggettivo e causalmente strutturato
- B) La concezione della scienza come sapere sperimentale, matematico, avente lo scopo di ampliare le conoscenze umane e dominarle a vantaggio dell'uomo stesso, basata quindi su un metodo e risultati trasmissibili, accessibili a tutti

2) La RIVOLUZIONE NEWTONIANA

che ha comportato il concetto radicale di forza gravitazionale di attrazione
e ha conseguito l'obiettivo di esprimere e sviluppare i principi della filosofia naturale in termini
matematici

3) La RELATIVITÀ

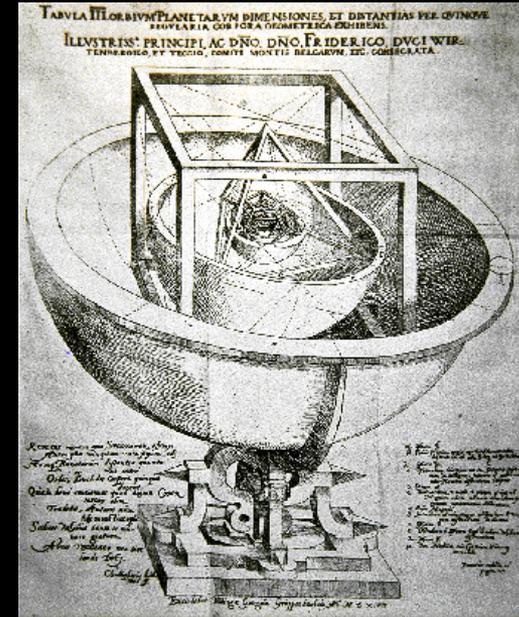
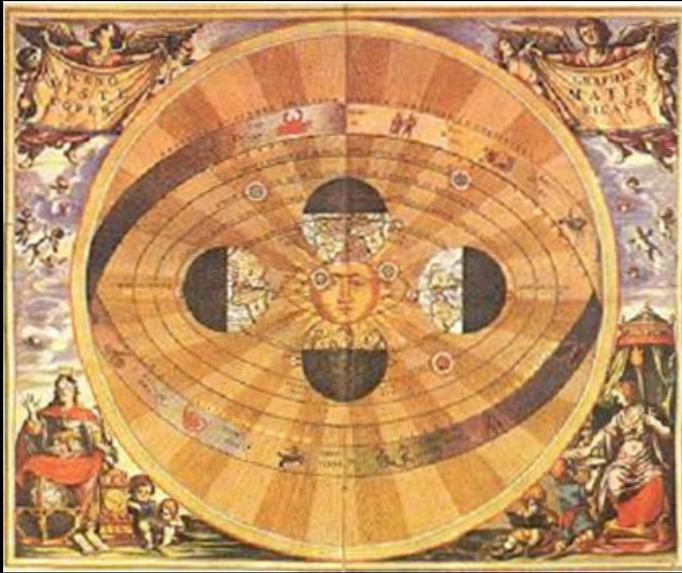
che ha distrutto spazio e tempo assoluti e modificato il concetto di simultaneità



IL CAMBIAMENTO DEI PARADIGMI

nel CIELO e sulla TERRA





Nel **1543 Copernico** scatenò una vera e propria **rivoluzione ponendo il Sole e non la Terra al centro dell'universo (eliocentrismo)**, con una Terra ruotante sul proprio asse, che spiegava perfettamente il moto circolare dei pianeti.

Nel **1572 una cometa** si presentò dove non avrebbe dovuto essere nei cieli immobili ed incorruttibili, dando un colpo definitivo alle teorie aristoteliche. L'astronomo **Ticho Brahe** ne misurò la parallasse che diminuiva aumentando la distanza, dimostrando che era quattro volte più lontana da noi della Luna.

Il cielo di conseguenza non fu più perenne ed incorruttibile

Keplero sviluppò l'eliocentrismo. I pianeti, nella sua ipotesi, vengono mantenuti in moto attorno al Sole non da sfere eteree ma in virtù della sua forza magnetica, quelli più lontani hanno tempi lunghi di rivoluzione, quelli più vicini più brevi.

Quindi i pianeti non viaggiavano in modo costante attorno al Sole ma acceleravano e rallentavano a seconda della loro maggiore o minore distanza da esso perché viaggiavano su **un'orbita ellittica che demoliva completamente la perfezione sferica dei cieli**

LA RIVOLUZIONE SULLA TERRA

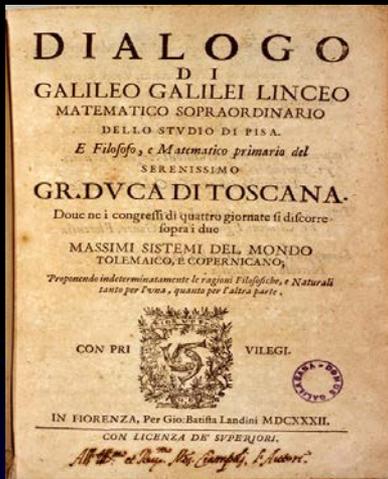
Galileo Galilei nel 1619, pur essendo partito da considerazioni aristoteliche, si lasciò “contagiare” dalle scoperte copernicane e dopo aver studiato il cielo attraverso un piccolo telescopio, **cannocchiale**, con il quale aveva visto piccoli **satelliti girare attorno a Giove**, ipotizzò che anche la Luna, per analogia, girasse attorno alla Terra.

Inoltre tutto non era perfetto nei cieli: anche la Luna aveva macchie simili a crateri. Ma anche sulla Terra si poteva dubitare di Aristotele. Le sfere metalliche pesanti discendenti lungo diverse pendenze non cadono a velocità maggiore di quelle leggere, come aveva detto Aristotele, ma tutte hanno la stessa velocità

In sintesi era ormai tempo che il mondo perfetto fosse sostituito, dopo le osservazioni di Copernico, Brahe, Keplero e Galileo, da un cielo invaso da comete ed ellissi e da una Terra in preda ad un furioso moto rotatorio.

Galileo abiurerà alla sua visione copernicana sotto le pressioni della Santa Inquisizione ma, **sebbene la religione pensasse così di mettere la scienza in ginocchio, era la scienza che stava trascinando la religione sulla Terra**

Nell'anno della morte di Galileo (1642) nacque colui che **decretò la separazione definitiva fra scienza e religione: Isaac Newton.**



NEWTON E I PRINCIPI MATEMATICI DELLA FILOSOFIA NATURALE

Osservando la Luna che non cade sulla Terra, come una mela da un albero, Newton la immaginò come una persona che viene fatta volteggiare stando aggrappata al capo di una corda. Era la forza centrifuga a tenere in tensione la corda secondo una forza che dipendeva da tre fattori: **la massa, la lunghezza della corda, la velocità.**

Arrivò inoltre alla convinzione che la forza centrifuga che la Luna subisce durante la sua rotazione attorno alla Terra dipende da due fattori **la massa lunare e la lunghezza della corda immaginaria che la lega alla Terra.** Quella corda è la **forza di gravità.**

Newton si interrogò allora su quale fosse la causa del campo gravitazionale della Terra e, immaginando l'attrazione di due masse ugualmente grandi, giunse a stabilire che la forza di attrazione si esercita reciprocamente, la potenza dipende dalla distanza dei loro nuclei dalle rispettive masse e da una costante (G), definita Costante Gravitazionale di Newton.

L'attrazione gravitazionale della Terra diminuisce con l'aumento della distanza esattamente del quadrato della distanza.

L'attrazione terrestre esiste a qualsiasi distanza, solo decresce: il regno terrestre si spinge fino all'estremo universo.

L'universo non è più diviso in due mondi separati, esiste un solo universo governato non da Dio ma da una formula matematica:

Legge di gravitazione universale

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Newton con i *Principi matematici della Filosofia Naturale*

fornì la prova inconfutabile che

la gravitazione si esercitava in un'unica direzione, attirava i corpi e non li respingeva.

Tuttavia, completando le esperienze di Galilei con le sfere metalliche, e osservando che **gli oggetti si muovono in relazione a qualsiasi forza e non solo relativamente alla gravità** individuò

tre aporie dette newtoniane

- 1) **Se non esistono forze che agiscono l'oggetto sta immobile**
- 2) **Se ci sono forze che agiscono su un oggetto questo avrà costanti moti di accelerazione o decelerazione a seconda dell'applicazione della forza**
- 3) **Due oggetti che urtano uno contro l'altro subiranno una forza di collisione uguale e contraria di direzione**

I filosofi naturali scoprirono che anche le **altre due forze avevano analogie di comportamento con la gravità: il magnetismo e l'elettricità.**

In due **magneti** la forza tra loro diminuiva proporzionalmente al quadrato della loro distanza. Anche l'**elettricità**, in seguito agli esperimenti di Coulomb, mostrò un comportamento simile.

FARADAY E LA LEGGE DELL'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Faraday aveva osservato che il **magnetismo provocato da una corrente elettrica deviava l'ago di una bussola sempre e nello stesso modo.** Suppose la presenza di una **corrente ascensionale di elettricità che avrebbe potuto produrre mulinelli di magnetismo**, provocando la rotazione della bussola.

Giunse alla conclusione che

ogni volta che una forza magnetica aumenta o diminuisce produce elettricità quanto più veloce è il suo aumento o la sua diminuzione, tanto maggiore è l'elettricità prodotta

LA SCIENZA NELL'OTTOCENTO

L'Ottocento, dal punto di vista sociale e politico, fu il secolo dei grandi movimenti ed idee rivoluzionarie

L'elenco delle teorie e dei sistemi comprende:

1. I concetti politici e sociali di Marx ed Engels

con l'idea di **rivoluzione permanente**, grido di battaglia dei proletari contro il capitalismo borghese

2. La teoria dell'evoluzionismo di Darwin

con la **selezione naturale** viene a negarsi ogni disegno divino nell'universo e

nella natura, in quanto ogni **variazione è casuale**

3. La psicoanalisi

Per analogia

Molti scienziati cominciarono ad avere l'idea di una scienza come ricerca **permanente e senza fine.**

Ma soprattutto Maxwell, Faraday ed Hertz, con la revisione generale **fondamentale**

dell'elettromagnetismo, del magnetismo, della luce, determinarono **la prima revisione**

su vasta scala del sistema di riferimento newtoniano.

MAXWELL E L'ELETTROMAGNETISMO



Nel **1863** Maxwell pubblicò il suo *Trattato su elettricità e magnetismo*, concretizzando sotto il profilo matematico le intuizioni di Faraday, ossia

- **la quantità di elettricità prodotta dal magnetismo equivale alla percentuale di aumento o diminuzione della forza che la genera;**
- **una forza magnetica in rapido cambiamento produce molta elettricità.**

PROCESSI REVERSIBILI ED IRREVERSIBILI

Nell'universo esistono due tipi di processi, quelli reversibili, che possono continuare all'infinito e quelli irreversibili che sono fatali (la vita ne è un esempio).

Newton d'altronde aveva mostrato che il carattere generale dell'universo appariva reversibile, ad ogni percorso che andava in un senso ne corrispondeva uno in senso contrario.

Per i filosofi naturali l'universo era un perpetuo mobile. Ciò significava che l'universo non avrebbe mai avuto una fine, come voleva anche la fede che vedeva un cosmo eterno ed immutabile come il suo Creatore.

Ma alcuni processi naturali sfuggivano a questa logica ed erano irreversibili

Il **calore**, che sembrava trasmettersi sempre da un corpo caldo ad uno freddo

L'**attrito** che trasformava il moto in calore e mai viceversa

In questo modo l'universo era tendenzialmente portato ad invecchiare

PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

Clausius cercò di dare una risposta a tutto questo. Egli sancì che:

A) Calore e lavoro sono due aspetti di uno stesso fenomeno: l' ENERGIA

B) Un'unità di qualsiasi tipo di energia può essere scambiata con un'unità di qualsiasi altro tipo senza influire sull'unità totale dell'universo

Oltre al calore (energia termica) e al lavoro (energia meccanica) esistono l'energia solare, l'energia elettrica e quella acustica

C) L'energia non può essere creata:

l'energia totale dell'universo rappresenta una costante della vita

D) Le trasformazioni dell'energia e quelle della temperatura

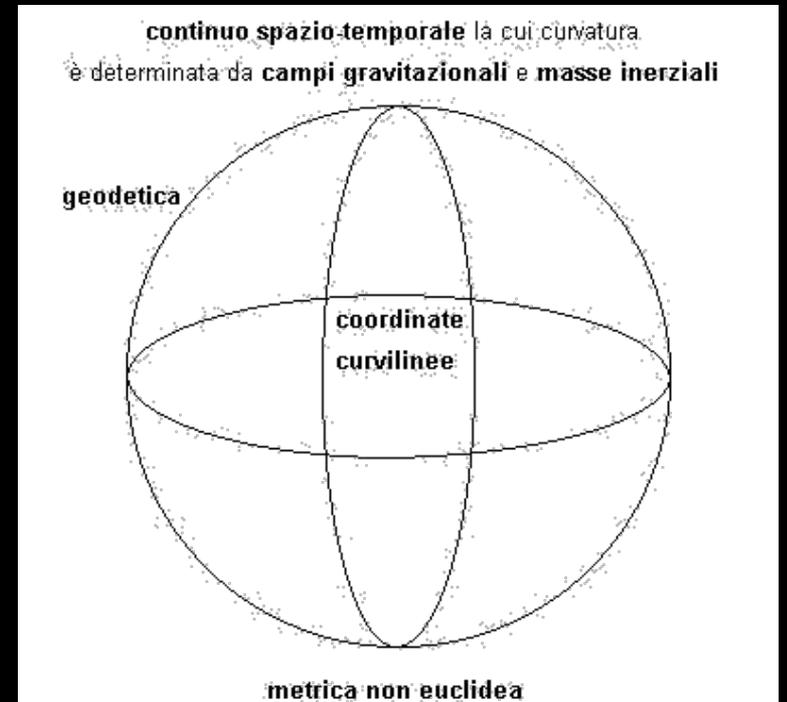
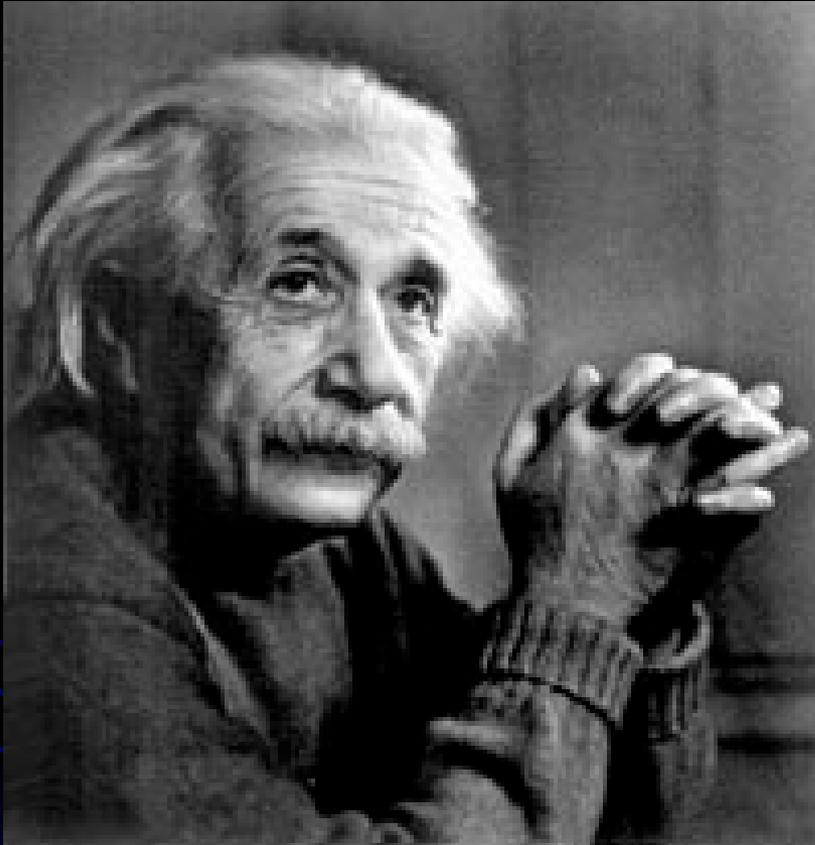
altro non sono che aspetti di uno stesso fenomeno: L'ENTROPIA

L'entropia per Clausius ha un carattere universale e vale anche per gli esseri umani.

Il **principio di conservazione dell'entropia** vale solo per gli esseri perfetti, per questo nell'universo tutto invecchia e muore. Per l'intero universo concepito come sistema isolato ciò significa che la progressiva conversione di lavoro in calore (per il principio di aumento dell'entropia totale), a fronte di una massa dell'universo finita, porterà ad uno stato in cui l'intero universo si troverà in condizioni di temperatura uniforme, la cosiddetta **morte termica dell'universo**.

Ecco perché il comportamento irreversibile del calore e la natura irreversibile della vita umana

LA RIVOLUZIONE EINSTENIANA



LA LUCE

I **filosofi naturali** avevano sostenuto la natura corpuscolare della luce
Ma rimaneva da spiegare **il comportamento della luce che si spostava simultaneamente, passava incolume attraverso i corpi**

Young, scienziato dilettante e medico, **osò suggerire che i colori della luce consistono in diverse frequenze di vibrazione di onde**, quasi increspature in uno stagno (1799).

Nel 1864 lo scienziato scozzese **Maxwell**, lavorando con le equazioni di elettricità e magnetismo, **scoprì l'esistenza di ondulazioni elettromagnetiche** che viaggiavano all'incredibile velocità di **300 milioni di metri al secondo: la velocità della luce** e che dovevano equivalere alle ipotetiche onde luminose di Young.

Tutto fu confermato da **Hertz**, quando con un enorme generatore di scintille **produsse onde elettromagnetiche**. Dopo Dio Hertz era il secondo creatore di onde luminose.

Ma rimaneva **irrisolto il problema di come quelle onde potessero viaggiare attraverso il vuoto e d'altronde la luce delle stelle giungeva sino alla Terra attraverso il vuoto**.

Invano per vent'anni gli scienziati tentarono di misurare i fasci di luce in tutte le condizioni ma fallirono.

APORIE NELLA SCIENZA

A) Nel secolo precedente **Faraday** aveva dimostrato che in un **magnete in movimento poteva scorrere elettricità attraverso un filo meccanico**, invertendo il problema si era verificato che l'elettricità si era egualmente prodotta

Questo comportamento, relativistico, anomalo dei magneti e dei metalli in movimento rappresentò per il mondo scientifico un problema perché era in netto contrasto con il moto assoluto.

B) Un **secondo dilemma** era nato dagli esperimenti del francese **Fizeau** che aveva scoperto che **diversi osservatori in movimento a varie velocità avevano l'impressione che la luce si spostasse alla stessa velocità all'inizio poi si trovavano in disaccordo alla fine.**

Spazio e tempo per la scienza ottocentesca erano assoluti come schemi morali universali, chiunque in qualsiasi luogo li calcolava esattamente nello stesso modo.

Anche la **velocità = alla distanza coperta/tempo trascorso** aveva lo stesso carattere:
era anch'essa assoluta

Questo dava l'idea che **il concetto di velocità elaborato dalla scienza (spazio/tempo) fosse inesatto**
Forse non erano esatti nemmeno distanza e tempo.

Nel **XIX secolo gli scienziati credevano che non saremmo stati in grado di percepire il tempo e indipendentemente dallo spazio e l'energia indipendente dalla materia.**

LE SOLUZIONI di EINSTEIN

La relatività ristretta (1905 *anno mirabilis*)

Per essere d'accordo con il comportamento relativistico del fenomeno elettromagnetico di Faraday, **Einstein accantonò il concetto di spazio e di tempo assoluti. Inoltre entro la sfera della vita umana che si muove lentamente il rapporto spazio - tempo non ha effetti significanti.**

Lo spazio ed il tempo dell'ipotetico universo di Einstein apparivano come modelli individuali. Ma un universo anarchico era impensabile ("Dio non gioca ai dadi"), doveva esistere un principio unitario ed **Einstein sostenne in modo rivoluzionario un altro principio assoluto:**

l'inalterabile costanza della velocità della luce

Per **Einstein**

- Non c'erano prove dell'esistenza dell'etere
- Le onde elettromagnetiche luminose erano uniche in tutto l'universo perché erano energia pura senza massa.
- Alla velocità della luce lo spazio ed il tempo si contraggono fino al nulla, mentre massa ed energia si espandono all'infinito.
- Massa ed energia hanno comportamenti uguali, si espandono e contraggono secondo fattori identici; sono entità indistinguibili ed intercambiabili secondo un tasso di scambio dato dalla famosa formula.

$$E = mc^2$$

Conseguenze

I fisici prima di Einstein credevano nella prima legge della termodinamica relativa alla conservazione dell'energia, secondo cui l'energia non si può creare, né distruggere. Dopo Einstein quello che si conserva è la combinazione totale di materia ed energia Il suo universo relativistico era alla fine più semplice del precedente: la scienza non avrebbe dovuto fare i conti con due principi di conservazione, la massa poteva essere distrutta e trasformata in energia e viceversa, solo a loro somma fosse rimasta inalterata in eterno.

Conseguenze dell'anno *mirabilis*

La **relatività ristretta** fu presentata da **Einstein** attraverso due semplici postulati, che hanno rivoluzionato la scienza :

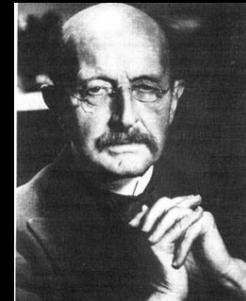
1. Le leggi della fisica sono le stesse in tutti i sistemi inerziali
2. La velocità della luce è una costante in tutti i sistemi inerziali

Nel 1900 a Berlino Max Plank diede origine ad una delle più dure fratture della fisica classica supponendo

che l'energia non ricorresse in quantità omogenea ma che si presentasse in pacchetti definiti e separati

detti **quanti**.

Einstein ritenne che anche la luce stessa dovesse essere quantizzata (fotone).



Implicazioni della teoria della relatività

- la velocità della luce è una costante fondamentale della natura , che segna i confini tra il mondo classico e il mondo subatomico dei quanti , separando anche il quotidiano dal mondo della fisica cosmica
- usando il potere della simmetria, i due concetti di spazio e tempo ,di energia e materia, elettricità e magnetismo, ora potevano essere posti in relazione attraverso **la quarta dimensione(la velocità della luce)**.
- L'unificazione attraverso la simmetria divenne uno dei principi guida di Einstein
- Restava ad Einstein di risolvere un altro problema: **la gravità e l'accelerazione**, perché la sua teoria valeva nei sistemi inerziali, ma in natura quasi niente è tale , ogni cosa si trova in uno stato di costante **accelerazione**. Einstein avrebbe dovuto incorporare la velocità della luce nelle equazioni di Newton.

Si avviò così alla **teoria della relatività generale**

La teoria della relatività generale

- Dove Newton avrebbe detto che una forza invisibile, la **gravità** attira la terra verso il sole, **Einstein** dice che l'**attrazione gravitazionale non c'è**.
- Dove Newton aveva detto “ ... **hypotesi non_fingo**” perché incapace di spiegare l'origine di quella forza gravitazionale Einstein, ci dice che la gravità è originata dalla curvatura dello spazio e del tempo: **non siamo trattenuti dalla terra dalla gravità ma è la Terra stessa (è la materia) che deforma lo spazio-tempo attorno a noi per cui è lo spazio a spingerci contro la Terra.**
- **È la presenza della materia a curvare lo spazio**

Questa semplice dichiarazione ci avrebbe portato alla teoria della curvatura dello spazio, ai buchi neri e alla creazione dell'universo

Mancava a supporto una geometria dello spazio diversa da quella Euclidea, capace di rispondere ad uno spazio non più piatto, ma curvo. Einstein fu costretto a studiare la matematica delle superfici curve e particolarmente si avvale dello spazio di Riemann curvo in ogni direzione, paragonando lo spazio tempo ad un tessuto elasticizzato.

Il risultato fu il principio della **covarianza generale**: le equazioni della fisica devono essere generalmente covarianti (devono mantenere la stessa forma anche se sottoposte ad un arbitrario cambiamento di coordinate)

Pensiamo di stendere una rete da pesca su di un tavolo. La rete rappresenta un sistema arbitrario di coordinate, non importa quanto contorciamo la rete, il tavolo resta sempre lo stesso.

LA TEORIA DEL CAMPO UNIFICATO

Nel 1915 Einstein si indirizza verso un altro progetto ambizioso:

La teoria del campo unificato che avrebbe combinato la sua teoria della gravità con l'elettromagnetismo di Maxwell, proprio perché una nuova teoria come quella della relatività, per diventare sostitutiva di una vecchia e superata, come quella newtoniana, doveva fornire, come già aveva fatto quella, una immagine generale, coerente ed unificata della realtà fisica.

Ma tutto questo per il suo creatore è rivoluzionario?

- Einstein ribadì sempre il valore euristico delle sue teorie
- Einstein aveva infatti una visione della scienza di tipo cumulativo, eccezionalmente rivoluzionaria, anche se ammetteva che c'erano state rivoluzioni con Galileo, Keplero e Newton perché la loro opera aveva cambiato la visione del mondo, rifiutando l'autorità consolidata e i dogmi precedenti.
- E parimenti riconobbe che Faraday e Maxwell nel campo dell'elettrodinamica e dell'ottica avevano avviato mutamenti radicali, rivoluzionari, tanto che la sua stessa teoria generalizzata della relatività sarà da lui vista come una evoluzione della teoria del campo.

Conclusioni epistemologiche di Einstein

- Secondo Einstein il cammino della scienza è un difficile cammino evolutivo che facciamo con l'aiuto delle teorie fisiche con le quali cerchiamo di aprirci un varco attraverso il groviglio dei fatti osservati: ogni teoria successiva deve in qualche modo partire dall'eredità lasciata dalla teoria in precedenza accettata, e non può ignorarne i presupposti concettuali se vuole costituirne un superamento
- Non potrebbe esserci scienza senza la convinzione che con le nostre costruzioni teoriche è possibile raggiungere la realtà, senza la convinzione dell'intima armonia del nostro mondo
- La fisica moderna con la teoria della relatività è più semplice dell'antica: è infatti una teoria di carattere più generale che "non contraddice la trasformazione e la meccanica classica. Al contrario, vi ritroviamo gli antichi concetti quali caso limite, allorché le velocità sono piccole.
- Creare una nuova teoria non è però "come demolire una vecchia tettoia per sostituirla con un grattacielo. È piuttosto come inerpicarsi su per una montagna, raggiungendo nuovi e più vasti orizzonti e scoprendo inattesi rapporti fra il nostro punto di partenza e le bellezze dei suoi dintorni. Tuttavia, il sito dal quale partimmo è sempre lì e possiamo tuttora scorgerlo, ancorché paia più piccolo e non sia ormai più che un dettaglio nella vasta veduta raggiunta superando gli ostacoli che si opponevano alla nostra avventurosa salita"