



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Relatività, Energia ed Ambiente

Antonio Zoccoli

Università di Bologna

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e
Fondazione Giuseppe Occhialini

Pesaro, 22 Marzo - 5 Giugno 2013



La Fondazione Giuseppe Occhialini



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

La Fondazione che porta il nome del grande scienziato forsempronese non ha fini di lucro e persegue esclusivamente finalità di informazione e formazione scientifica.

Lo scopo principale è quello di favorire e incrementare la conoscenza della Fisica e rendere partecipe l'opinione pubblica del ruolo determinante che questa disciplina riveste nello sviluppo della scienza, della tecnologia e dell'intera società.



La Fondazione Giuseppe Occhialini



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- **Obiettivo:** illustrare la Fisica come scienza viva, valorizzarne le metodologie e le conquiste, farne comprendere il rilievo sociale e culturale
- **Destinatari:** i cittadini, i giovani e soprattutto gli studenti che si preparano a diventare nuove matricole dell'Università
- **Strumenti:** mostre, laboratori aperti, conferenze, workshop, convegni e un programma di *corsi preparatori* per studenti della Scuola Superiore



**Obiettivo:
diffondere l'interesse per la scienza**



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

- **Una delle contraddizioni caratteristiche delle società tecnologicamente avanzate consiste nella diminuzione dell'interesse per le questioni scientifiche, in controtendenza con la diffusione delle tecnologie, che pure dalla scienza traggono origine**
- **Vogliamo ridestare la curiosità per la comprensione del mondo che ci circonda, indurre a riflettere con più profondità sui fenomeni naturali, anche quelli più comuni nella vita dell'uomo**



Obiettivo: avvicinare i giovani alla Fisica



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

- E' stato approvato, ed è interamente finanziato per il 2013, il piano di un'attività di **formazione e di orientamento** per le future matricole in discipline scientifiche
- Il progetto, rivolto agli studenti degli ultimi anni delle Scuole Superiori, prevede corsi pomeridiani extrascolastici e incentivi economici per gli studenti più meritevoli mediante borse di studio
- E' inoltre allo studio la realizzazione di una scuola nazionale estiva destinata a maturati provenienti da tutto il territorio nazionale



L'importanza della ricerca scientifica



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Le maggiori debolezze del nostro sistema produttivo sono nel settore dell'**innovazione** e dello **sviluppo tecnologico**.

E' su questo fronte che si giocano la tenuta dei livelli occupazionali, le carte della **COMPETITIVITA'** internazionale e la possibilità di avere uno sviluppo qualificato.

Ciò deve indurre ad una **revisione della politica della ricerca** nel nostro paese.



La ricerca scientifica oggi



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Il secolo appena trascorso ha prodotto una **crescita delle energie civili e militari dedicate alla ricerca**, crescita che ha raggiunto proporzioni assai rilevanti nei decenni successivi alla seconda guerra mondiale
- Si è verificato così un rapido procedere delle conoscenze scientifiche e soprattutto una **rapida immissione dei risultati della ricerca nelle tecnologie di uso quotidiano**
 - si pensi all'energia nucleare, al transistor, ai laser, ai calcolatori e alle loro applicazioni pacifiche e belliche, ai telefoni cellulari, alla TAC, alla RM, alla PET, ecc.



La ricerca scientifica oggi



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

L'**attività del Ricercatore**, riservata un tempo a pochi eletti che lavoravano spesso isolati anche se legati da una deontologia comune, e in un certo senso sacerdotale, ha assunto oggi una **configurazione del tutto professionale**

Lo stesso **concetto di laboratorio** ha subito una trasformazione genetica impressionante: dalla cantina o dalle baracche avventurose in cui spesso si lavorava ai tempi di Pietro e Maria Curie, i laboratori sono diventati oggi vere e proprie funzionalissime cittadelle all'interno di **organizzazioni nazionali e internazionali**, capaci di ospitare **centinaia o migliaia** tra scienziati, ingegneri, tecnici e addetti ai servizi

Giappone	3.0%
USA	2.7%
media UE	1.93%
Italia	1.16%

frazione di
PIL
destinata a
ricerca e
sviluppo

Le cifre dell'Italia



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

ricerca finanziata
dall'industria
in % di output
industriale

Giappone	2.3
USA	2.1
media UE	1.49
Italia	0.53

spesa complessiva
(pubblico + privato)
per la ricerca
(u.a.)

Giappone	5
Germania	3
Francia	2
Italia	1

Svezia	0.124
Finlandia	0.109
Germania	0.081
Francia	0.076
Regno Unito	0.068
media UE	0.053
USA	0.041
Giappone	0.025
Italia	0.016

percentuale di
giovani
(25-34 anni) con
dottorato di
ricerca

ricercatori per
1000 unità di
forza lavoro e
tasso di crescita
in cinque anni

Finlandia	13.1	+10.8
Giappone	9.3	+2.6
Svezia	9.1	+4.4
USA	8.1	+6.2
Germania	6.5	+2.5
Francia	6.2	+2.5
Regno Unito	5.5	+2.7
media UE	5.4	+3.0
Irlanda	5.1	+10.2
Spagna	4.6	+10.1
Grecia	3.3	+11.0
Portogallo	3.3	+7.9
Italia	2.8	- 0.6

totale UE	34.2
USA	17.4
Germania	7.2
Irlanda	2.6
Italia	1.6

esportazione di
prodotti hi-tech
in % mondiale



Il brain drain



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

- **l'Italia regala agli Stati Uniti 5 miliardi di euro all'anno attraverso le **migliaia di giovani ricercatori che lasciano il nostro Paese** dopo essere costati allo Stato almeno 500000 euro**
- **Più del 50% dei giovani ricercatori statunitensi è straniero. 400.000 scienziati europei lavorano negli Stati Uniti. Solo il 13% di essi intende tornare**
- **Nei paesi dell'OCSE gli studenti che decidono di frequentare l'università al di fuori del proprio paese sono 1.650.000. Di questi, il 70% si iscrive nelle università degli Stati Uniti, del Regno Unito, della Germania, della Francia e dell'Australia. La presenza di studenti stranieri negli atenei italiani al contrario è sempre stata particolarmente scarsa. La quota degli studenti stranieri in Italia è solo del 2%, mentre raggiunge il 30% negli USA, il 12% in Germania e Regno Unito, il 10% in Australia e il 9% in Francia. Negli ultimi anni l'Italia ha visto un aumento del 24% nelle iscrizioni dei cittadini stranieri, ma anche questo dato è al di sotto della media OCSE del 35%.**



Un obiettivo concreto



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Le società moderne sono basate sulla conoscenza e quindi sulla scienza: la scienza implica conoscenza, che implica innovazione tecnologica

La **scienza** è responsabile di una buona parte della crescita economica e quindi di una migliore **qualità della vita** per tutti

- Con questa consapevolezza, il Concilio Europeo di Lisbona e Barcellona ha imposto il raggiungimento del 3% del PIL speso in ricerca entro il 2010

L'obiettivo della Strategia di Lisbona è che **l'Europa diventi l'economia moderna più competitiva e dinamica del mondo**

- Il capitale da sfruttare per produrre questo risultato è un capitale umano: **i ricercatori**. I ricercatori sono la chiave di sviluppo della società moderna



Obiettivi e metodo dei corsi



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Si vuole **dissipare il pregiudizio sulla “difficoltà” della scienza** e dell’estraneità del suo linguaggio, proponendo un’immagine della scienza come espressione rigorosa ma spontanea della nostra naturale curiosità sull’essenza del mondo.
- Questa visione umanizzata della scienza verrà costruita attraverso il continuo riferimento alla **storia personale degli uomini** che, con l’impegno e l’intuizione, hanno contribuito alla conquista della Fisica moderna. Si ritiene, inoltre, che il **coinvolgimento fra i banchi di scuola degli scienziati** in quanto diretti operatori scientifici, che riferiranno su **esperienze vissute in prima persona**, rappresenti lo strumento più importante di stimolo intellettuale per i giovani nei confronti della scienza



Obiettivi e metodo dei corsi



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Si vuole far comprendere il significato del ragionamento scientifico attraverso esempi illuminanti di come **fenomeni complessi, diversi e sovrapposti** sono riducibili ad una descrizione universale.
- Si porrà ad esempio l'accento sulla **semplicità e generalità** di leggi come quella fondamentale della dinamica che presiede al moto dei corpi sulla terra e nell'universo ($f = m a$), fino a quella rivoluzionaria che descrive l'interconvertibilità tra materia ed energia ($E = mc^2$).
- Come evoluzione del concetto di semplicità delle leggi fisiche, si cercherà di dare un'idea il più possibile ampia della continua progressione in senso unitario della scienza, che sempre di più tende a riunire in una **visione unificata** l'infinitamente piccolo (dai quark alla cellula) e l'infinitamente grande (dalla nostra galassia all'universo).



Il Corso 2013



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Si Articolerà in 11 lezioni pomeridiane di 3 ore ciascuna ed approfondirà a livello quasi universitario 3 temi:

- relatività ristretta ed i suoi paradossi
- Il problema energetico
- Il problema climatico

Verrà tenuto anche un seminario su argomenti scientifici di attualità.

Le lezioni verranno tenute da docenti universitari e ricercatori di Enti di Ricerca Nazionali quali INFN ed ENEA.

Uno degli scopi è quello di motivare i giovani studenti liceali ad iscriveris a Facoltà Universitarie ad indirizzo scientifico.



Il Corso 2013



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Nel mese di Ottobre-Novembre verranno assegnate fino ad un massimo di 20 borse di studio per gli studenti più meritevoli, che avranno superato una prova di esame sugli argomenti trattati dal corso.

- Importo borse compreso tra **1.500** e **4.000** € !!

Condizioni:

- essere iscritti ad una Facoltà Universitaria scientifica (scienze, ingegneria, medicina, etc.)
- aver partecipato ad almeno 2/3 delle lezioni

E' una bella occasione per far vedere il proprio valore e per vincere una cospicua borsa di studio.



Il Corso 2013



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

•la Fondazione Giuseppe Occhialini, proseguendo sulla strada formativa tracciata negli scorsi anni ha in programma di realizzare durante il periodo Marzo-Giugno 2013 un Corso Monografico dal titolo **Relatività, Energia ed Ambiente**. Partendo dai fondamenti della Meccanica Classica, il corso affronterà diversi argomenti che spazieranno dalla Teoria della Relatività Ristretta al Problema Energetico ed Ambientale. Verranno discussi gli aspetti fondamentali, gli esperimenti ed i paradossi della Relatività Ristretta, verrà inquadrato il problema dell'energia, includendo alcuni cenni sul funzionamento di impianti per la produzione di energia nucleare e sul problema energetico nazionale, verranno infine discussi gli aspetti più importanti delle variazioni climatiche terrestri.

Data		Orario	Docente	Argomento
22/03/2012	Venerdì	15-18	Proff. Zoccoli - Vagnoni	Introduzione
03/04/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Semprini Cesari	Meccanica
10/04/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Semprini Cesari	Relatività
17/04/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Semprini Cesari	Relatività
24/04/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Semprini Cesari	Relatività
02/05/2012	Giovedì	15-18	Proff. Zoccoli - Vagnoni	Seminario
08/05/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Semprini Cesari	Relatività
15/05/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Semprini Cesari	Relatività
22/05/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Cambi	Energia
29/05/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Cambi	Energia
05/06/2012	Mercoledì	15-18	Prof. Porcù	Climatologia



**Per comunicazioni urgenti...
consultare periodicamente il sito
web della fondazione**



**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

Fondazione Cassa di Risparmio di Pesaro | Provincia di Pesaro e Urbino | Comune di Fossombrone


**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

**Benvenuti nel sito della
Fondazione Giuseppe Occhialini**

Pagina iniziale
Finalità
Chi siamo
Storia
Giuseppe Occhialini
Antonio Vitale
Eventi
Rassegna stampa
Pubblicazioni
Corsi e orientamento
Contatti


**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**

*La filosofia è scritta in questo grandissimo libro
che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo),
ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua,
e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica,
e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche,
senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola;
senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.*
(Galileo Galilei)



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Introduzione



Metodo Sperimentale



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Introdotta da Galileo Galilei (1564-1642) rivoluziona l'approccio scientifico e produce un salto epocale nella scienza moderna.

È basato su tre fasi:

- 1) Osservazione del fenomeno naturale
- 2) Riflessione ed enunciazione della legge fisica
- 3) Verifica sperimentale in diverse condizioni

Nel caso la verifica sperimentale fallisca la legge fisica **non** ha validità generale e deve essere riformulata/completata.

→ Esempio: la caduta di un corpo sulla terra



Una storia da raccontare



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Il nostro viaggio nell'evoluzione del pensiero scientifico moderno comincia nel 1510 in Polonia a Frauenbourg dove un sacerdote umanista ed erudito di matematica ed astronomia, Nicolò Copernico (1473-1543) enuncia un modello che descrive il moto dei corpi celesti alternativo a quello corrente risalente ad Aristotele/Tolomeo in cui la Terra è al centro dell'Universo.
 - Per la I volta la Terra perde il suo ruolo centrale, è un semplice pianeta, come gli altri, che ruota attorno al sole
 - Un sistema complicato viene sostituito con un modello molto più semplice e funzionale
 - Rifiuto dei teologi protestanti e cattolici, e scetticismo degli astronomi, come sempre succede per le nuove idee !!! Ma il seme è gettato.
- La seconda tappa del viaggio ci porta nel castello di Benatek a Praga, dove il modello Copernicano viene spulciato a dovere da un astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601) e dal suo giovane assistente Johannes Kepler (1571-1630).



Una storia da raccontare 2



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Tycho Brahe (1546-1601) che aveva effettuato una quantità spaventosa di misurazioni astronomiche nell'arco di circa 30 anni, non è particolarmente convinto e propone un modello ibrido: la terra è ferma il sole ci gira attorno, ma tutti gli altri pianeti girano attorno al sole. L'allievo Keplero è invece un sostenitore delle tesi di Copernico e ci sono accese discussioni.

Poi Brahe muore durante un banchetto

- Keplero ha finalmente accesso a tutti i dati scientifici registrati da Brahe, che fino ad allora aveva tenuto segreti, e dopo 8 anni di lavoro enuncia le famose 3 Leggi che descrivono il moto di TUTTI i pianeti attorno al Sole, in modo molto semplice.
- Keplero si sente isolato e cerca aiuto in Galileo Galilei, allora professore a Padova, famoso per i suoi studi sul moto dei corpi, che appoggiò le tesi di Keplero e Copernico in un famoso lavoro il "Dialogo sopra i massimi sistemi", provocando la reazione della Santa Inquisizione.
- Ed a questo punto entra in gioco Isaac Newton



La legge di Gravitazione Universale



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Isaac Newton (1642-1727), un giovane professore presso il Trinity College, sotto la spinta dell'astronomo Edmond Halley, analizza le leggi di Keplero e da esse ricava che la legge di attrazione tra sole e pianeti dipende dall'inverso del quadrato della loro distanza, poi perfeziona questi studi enunciando la Legge di Gravitazione Universale.
- Si tratta della prima grande teoria fisica "unificata", capace di spiegare con grande precisione la modalità di caduta dei gravi sulla Terra e la forma delle orbite dei pianeti del sistema solare sulla base di un solo meccanismo d'interazione fondamentale: l'attrazione gravitazionale tra i corpi, esercitata, nel primo caso, tra la Terra e gli oggetti che si trovano in prossimità della sua superficie e, nel secondo caso, tra il Sole e i pianeti. La sua formulazione forniva una spiegazione della causa dei moti planetari mentre le leggi di Keplero erano puramente descrittive.
- Un secolo dopo Henry Cavendish (1731-1810) verificò direttamente, nel suo laboratorio di Cambridge, la generalità della legge di gravitazione di Newton, dimostrando che essa è valida non solo per la Terra ed i pianeti, ma per qualsiasi oggetto tra quelli che ci circondano.



La legge di Gravitazione Universale



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Le conseguenze della nuova teoria erano sbalorditive: la formula di Newton rendeva possibile per la prima volta ricavare indirettamente i valori della massa totale della Terra e degli altri pianeti senza conoscerne la densità e la composizione interna, utilizzando solo le misure del raggio terrestre e delle distanze tra i pianeti. L'immenso patrimonio di misurazioni astronomiche che secoli di osservazioni avevano reso disponibile veniva per la prima volta correttamente interpretato e pienamente sfruttato.
- Un grande successo: nel 1781 W. Herschel scopre Urano ed i suoi satelliti. L'orbita di Urano risulta però diversa da quella prevista dalla legge di Newton. Nel 1846 Le Verrier ipotizza l'esistenza di un pianeta sconosciuto che altera l'orbita di Urano e ne prevede la posizione. 23 giorni dopo l'astronomo Johann Galle scopre in quella posizione Nettuno !
→ Conferma spettacolare della teoria di Newton e della sua capacità predittiva !!
- Un piccolo insuccesso: successivamente vengono riscontrate anomalie anche nell'orbita di Mercurio. Si tentò di spiegare il fenomeno come nel caso di Urano, ipotizzando l'esistenza di un nuovo pianeta. Ma tutte le ricerche fallirono!!
→ Limite della teoria di Newton. Il fenomeno rimarrà inspiegato, fino all'avvento della Teoria della Relatività Generale di Einstein

I principi della meccanica classica

- Sempre nel trattato “Philosophiæ naturalis principia mathematica” pubblicato nel 1687 Isaac Newton enuncia anche i tre principi della dinamica, che diverranno al pietra angolare della Meccanica Classica. I primi due principî della dinamica erano già stati chiaramente compresi da Galileo Galilei, tuttavia il merito di Newton non consiste soltanto nell'aver formulato il terzo, ma anche nell'aver sviluppato su questi tre fonda-menti uno studio coerente e sistematico della dinamica.

In questa lezione partiremo dalle seguenti libere traduzioni degli enunciati di Newton.

① Un qualunque punto materiale che non sia sottoposto ad alcuna forza o rimane in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme.

② Un qualunque punto materiale che sia sottoposto a una o più forze ha un'accelerazione vettorialmente proporzionale alla risultante di tali forze.

③ Ogni volta che un corpo esercita una forza su un altro corpo, il secondo esercita sul primo una forza vettorialmente opposta e con la stessa retta d'azione.

Per ciascuno di questi principî poi discuteremo il significato fisico e la base sperimentale, pervenendo anche ad un enunciato alternativo, inoltre esamineremo alcune loro conseguenze e applicazioni.

Una domanda:

- Ripetiamo ora le esperienze di Galileo che hanno portato Newton ad enunciare i 3 principi della dinamica.
- Ci poniamo in un Laboratorio usiamo tutti gli strumenti più avanzati di cui siamo in possesso (orologi atomici, laser, pompe a vuoto, materiali avanzati), e studiamo il moto di un corpo non soggetto a forze su un piano (la forza di gravità è bilanciata dalla reazione del vincolo).

Troviamo gli stessi risultati di Galileo?

I Principi della dinamica sono validi con la nostra tecnologia ?

Le Forze Fittizie ed i sistemi di riferimento

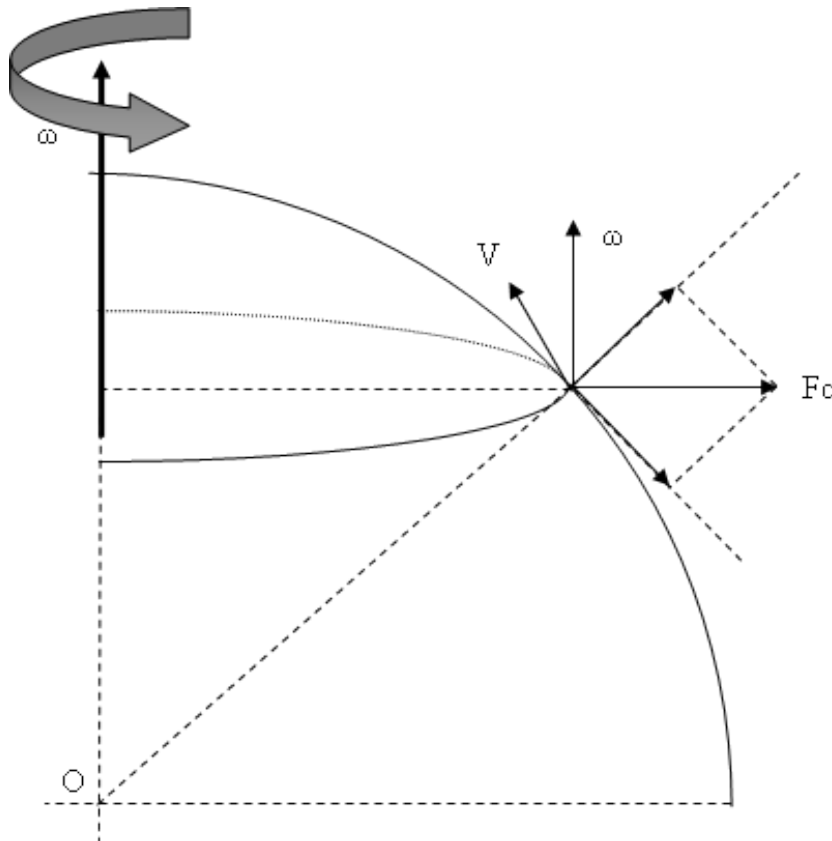
- La risposta è NO !!
- Nella formulazione originale non si fa menzione del Sistema di Riferimento.
- Noi implicitamente scegliamo la terra, ma un moto rettilineo ed uniforme sulla terra non lo è rispetto al sole, alla luna o a marte.
- Perché la terra dovrebbe essere speciale rispetto agli altri pianeti, al sole o al resto dell'Universo?
- Definizione di una classe di sistemi di riferimento detti INERZIALI, per cui vale il I principio della Dinamica (sistema delle stelle fisse)
Introduzione delle cosiddette forze fittizie (o inerziali) negli altri sistemi di riferimento (Forza di trascinamento, Centrifuga di Coriolis)
- Queste forze hanno effetti tangibili sulla terra e nella vita di tutti i giorni.



Forza di Coriolis



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



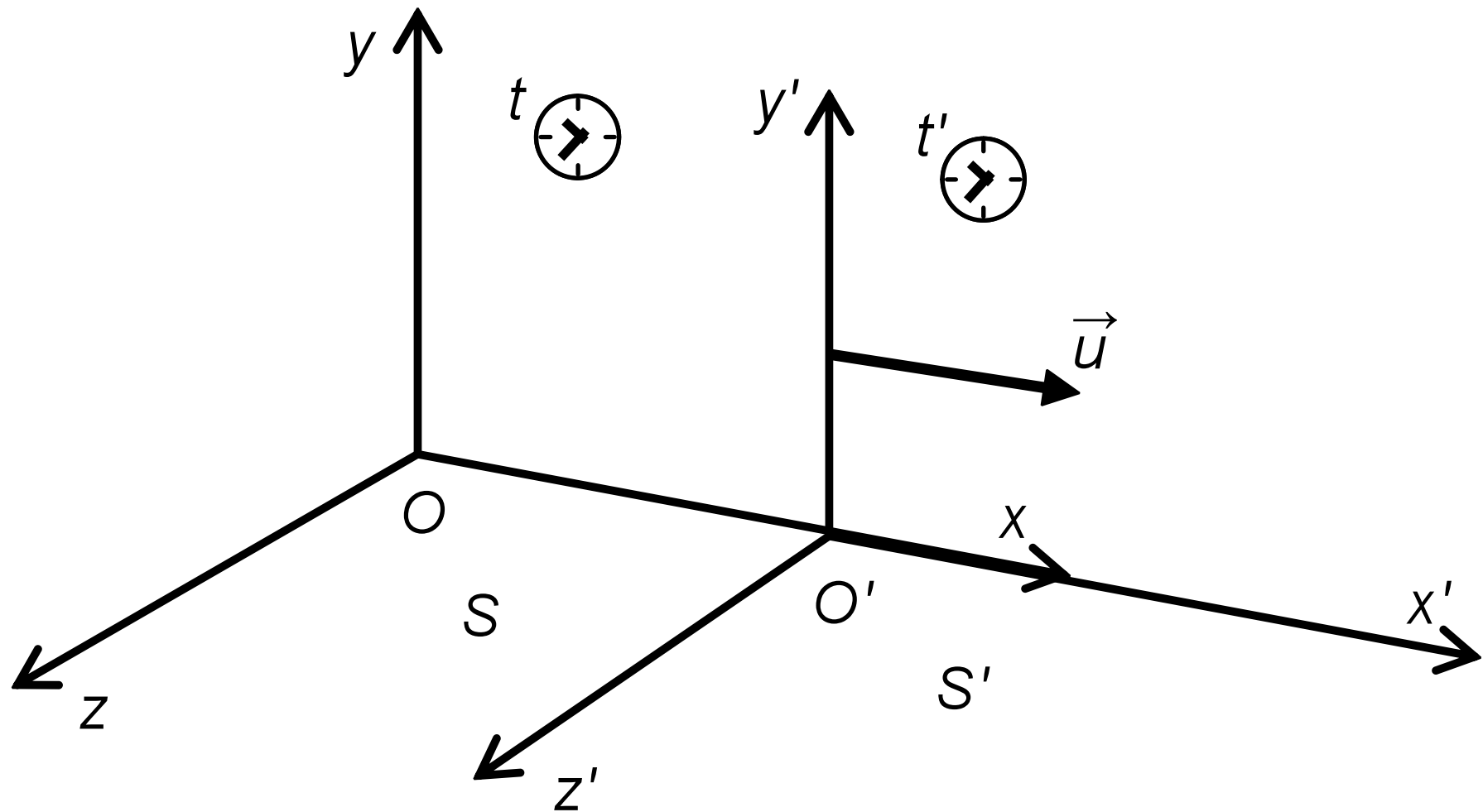
- La velocità è diretta lungo un meridiano nell'emisfero Nord
- La forza di Coriolis può essere scomposta normalmente e tangenzialmente alla superficie terrestre

$$\vec{F}_C = -2m \vec{\omega} \wedge \vec{v}$$

I principi della meccanica classica

- Il **primo principio** della dinamica (principio d'inerzia) postula l'esistenza dei cosiddetti *sistemi di riferimento inerziali*, nei quali un punto materiale abbastanza lontano da tutti gli altri corpi da non risentire di alcuna influenza esterna o rimane in quiete o si muove di moto rettilineo e uniforme. Viene dunque istituita una differenza sostanziale tra due categorie di sistemi di riferimento, quelli inerziali e quelli non inerziali.
- La relatività ristretta eredita dalla meccanica classica il concetto di sistema di riferimento inerziale come luogo “privilegiato” in cui osservare i fenomeni fisici. In un riferimento inerziale, da un lato, la misura dell'accelerazione di un corpo è indicazione della presenza di forze “reali” (cioè dovute all'interazione con altri corpi) agenti su di esso. Viceversa, un osservatore può in linea di principio stabilire, misurando l'accelerazione di un corpo su cui non agiscano forze reali, se il riferimento in cui egli si trova è o non è inerziale: se il corpo possiede un'accelerazione, egli ne attribuirà la causa all'effetto delle cosiddette forze “apparenti” (o “fittizie”), provocate dal moto *accelerato* del sistema di riferimento. Il capitolo centrale della meccanica, quello in cui il moto viene studiato in tutti i suoi aspetti, tenendo conto delle cause fisiche (le forze) che lo determinano, si chiama *dinamica*.

Sistemi di riferimento inerziali



Principio di Relatività Galileiana

La comune essenza dei fenomeni elettrici, magnetici e luminosi

- Ci siamo soffermati su quello che è il primo e più semplice esempio di come i più rivoluzionari progressi della fisica derivino dall'unificazione e generalizzazione delle conoscenze precedenti.
- La successiva tappa fondamentale di questo processo fu l'unificazione di elettricità e magnetismo compiuta da James Clerk Maxwell (1831-1879), che racchiuse nella sintesi di poche fondamentali equazioni tutte le conoscenze sui fenomeni generati da cariche, correnti elettriche e magneti. Gli effetti e le proprietà note del campo elettrico e di quello magnetico avevano già trovato la forma di leggi espresse matematicamente, principalmente per opera di Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806), André-Marie Ampère (1775-1836) e Michael Faraday (1791-1867). Ma nella nuova teoria di Maxwell campo elettrico e campo magnetico risultavano legati in una stretta connessione che non era ravvisabile nelle singole leggi. Anche in questo caso, la sintesi comportava un progresso di conoscenza. Nella forma unificata data da Maxwell alla spiegazione dei fenomeni elettrici e magnetici era immediato riconoscere un'analogia con le tipiche equazioni con cui già da tempo veniva descritta la propagazione delle onde (la vibrazione di una corda, le onde sonore, la luce, ecc.): il campo elettro-magnetico era, in realtà, costituito da onde.

La comune essenza dei fenomeni elettrici, magnetici e luminosi

- La velocità di propagazione di tali onde risultava inoltre essere esattamente uguale alla velocità della luce: si scopriva così che la luce non è nient'altro che un tipo particolare di onda elettromagnetica. Le equazioni di Maxwell fornivano quindi una descrizione unificata non solo di elettricità e magnetismo, ma anche dei fenomeni ottici.
- Onde elettromagnetiche “invisibili” (le onde radio, di frequenza molto inferiore a quella delle onde luminose) furono ben presto riprodotte, captate e studiate da Heinrich Hertz (1857-1894) in esperimenti in cui egli applicò e verificò la validità delle equazioni di Maxwell. Cominciava così l'era delle telecomunicazioni: pochi anni dopo Guglielmo Marconi (1874-1937) faceva viaggiare segnali radio su una distanza di oltre tremila chilometri attraverso l'Atlantico.
- Ed oggi noi viviamo in un mondo che è suddito delle equazioni di Maxwell in maniera clamorosa: l'elettromagnetismo è infatti protagonista di tutte le principali tecnologie delle quali ci gioviamo, consciamente o incoscientemente, nel corso della nostra giornata. Dall'illuminazione al riscaldamento, dalla radio alla televisione e al computer, non vi è ritrovato che non sfrutti le proprietà della interazione elettromagnetica.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- La stessa opera di Maxwell poneva già le premesse di un'ulteriore rivoluzione concettuale, quella con cui Albert Einstein avrebbe ridefinito i concetti di spazio e tempo.
- La natura ondulatoria del campo elettromagnetico sembrava presupporre l'esistenza di un proprio mezzo di propagazione, in analogia con le altre forme conosciute di onda: il suono si propaga attraverso l'aria (in assenza di atmosfera, nello spazio, non esistono suoni); l'acqua stessa è il mezzo che, fluttuando, propaga le onde del mare. Tuttavia, nessun esperimento fu mai in grado di dimostrare l'esistenza del presunto, invisibile mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche, il cosiddetto "etere".
- Esisteva poi un grave problema concettuale. Era noto sin dai tempi di Galileo che le leggi che descrivono il moto dei corpi sono indipendenti dal "punto di osservazione", a patto di utilizzare certe semplici equazioni di trasformazione delle coordinate (le cosiddette "trasformazioni di Galileo") quando ci si sposta da un sistema di riferimento ad un altro in moto rispetto al primo. Le leggi dell'elettromagnetismo, invece, sembravano non godere della stessa proprietà: cambiando sistema di riferimento e applicando le trasformazioni di Galileo, le equazioni di Maxwell cambiavano completamente forma, implicando che esperimenti compiuti su cariche elettriche o magneti posti, ad esempio, in luoghi diversi della superficie terrestre avrebbero dovuto dare risultati diversi.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- Il mondo scientifico dovette confrontarsi con una situazione paradossale: da un lato la teoria dell'elettromagnetismo, che stava ottenendo spettacolari successi, sembrava essere valida così come era stata formulata da Maxwell solo in un particolare sistema di riferimento – era naturale pensare che tale sistema di riferimento privilegiato fosse proprio l'etere, presunto mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche –, d'altra parte gli esperimenti dimostravano che, al contrario, i fenomeni elettromagnetici erano esattamente identici in qualunque laboratorio venissero studiati. Difficile da accettare era la stessa apparente diversità di comportamento di elettromagnetismo e meccanica dei corpi agli occhi di uno spettatore che cambiasse la propria prospettiva di osservazione: com'era possibile che coesistessero geometrie spaziali di natura diversa a seconda del tipo di fenomeno osservato?
- Fu proprio l'idea che l'indipendenza delle leggi fisiche dal punto di vista dell'osservatore dovesse valere per tutti i fenomeni lo stimolo da cui partì Einstein (1879-1955) per formulare nel 1905 la teoria della relatività “speciale” (così detta per distinguerla dalla ancora più generale teoria formulata dallo scienziato tedesco undici anni più tardi).

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- La teoria risolveva ogni apparente contraddizione concettuale abbandonando definitivamente il concetto di etere (sappiamo da allora che le onde elettromagnetiche si propagano nel vuoto, cioè senza bisogno di alcun mezzo materiale) e sostituendolo con un postulato di notevole audacia intellettuale, oggi diventato uno dei fondamenti della scienza: contrariamente alla velocità di un oggetto ordinario, che, come sappiamo, può apparire minore o maggiore per un osservatore che si muova rispetto ad esso rispettivamente nella stessa direzione o in direzione opposta, la velocità della luce nel vuoto ha la particolarità di essere costante e uguale per qualsiasi osservatore. Da questa ipotesi derivavano nuove equazioni di trasformazione delle coordinate che, sostituendo quelle di Galileo, rendevano le leggi dell'elettromagnetismo, al pari di quelle della meccanica dei corpi, indipendenti dal punto di osservazione.
- La teoria di Einstein operava allo stesso tempo tre grandi unificazioni di preesistenti concetti fisici. Da un lato, come abbiamo detto, essa riconciliava tra di loro due mondi fino ad allora distinti, quello in cui si muovono i corpi “ordinari” e quello in cui hanno luogo i fenomeni elettromagnetici, dimostrando che entrambi potevano essere descritti nell'ambito di una comune geometria e prospettiva dello spazio.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- Allo stesso tempo, il nuovo concetto di spazio risultava indissolubilmente legato a quello di tempo: ad essi si sostituiva la nozione unica di spazio-tempo quadridimensionale, che diventava la sede naturale di osservazione e descrizione dei fenomeni fisici. Infine, il concetto di massa di un corpo veniva reinterpretato come una delle possibili manifestazioni di un'entità più generale, l'energia. L'equivalenza di massa ed energia – sintetizzata dall'equazione più famosa della storia della scienza: $E = mc^2$ – implicava inoltre che il principio di conservazione della massa, usato quotidianamente nello studio delle reazioni chimiche, era da considerarsi non più come una legge rigorosa della natura, ma come un'approssimazione valida in specifici ambiti di utilizzo: più in generale, essendo possibili trasformazioni di energia in massa e viceversa, diventavano ammissibili i fenomeni di creazione e distruzione di quantità di materia.
- Non tutte le conseguenze di questa molteplice rivoluzione concettuale riguardano fenomeni che fanno parte direttamente e in modo evidente della realtà di tutti i giorni.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- Alcune delle peculiarità della nuova concezione dello spazio-tempo potrebbero rivelarsi in modo evidente ai nostri occhi solo se ci muovessimo a velocità prossima o uguale a quella della luce (limite invalicabile per qualsiasi fenomeno fisico). Nessun essere umano ha mai avuto esperienza di tale estrema condizione: la velocità della luce, pari a circa 300 000 chilometri al secondo, è un milione di volte più grande della velocità di crociera di un moderno aereo di linea. Ma, qualora diventasse per noi possibile raggiungere simili velocità, assisteremmo ad avvenimenti che oggi sfuggono alla capacità di raffigurazione della mente umana: vedremmo contrarsi rispetto a noi gli oggetti che rimangono fermi a terra; e all'interno del nostro mezzo di trasporto il tempo scorrerebbe più lentamente che a terra. Può capitare di sentir parlare di questi fenomeni usando il termine “paradosso”. Tuttavia, anche gli aspetti meno intuitivi della relatività di Einstein sono ormai il pane quotidiano degli scienziati che si occupano della fisica fondamentale. La luce, le onde elettromagnetiche e le particelle del mondo atomico e subatomico possiedono velocità uguali o prossime a quella limite: tali entità hanno quindi, per natura, il privilegio di sperimentare direttamente aspetti dello spazio-tempo a noi inaccessibili.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- Per osservare e descrivere le loro proprietà, tutti i giorni i fisici che operano nei laboratori della fisica subnucleare utilizzano le equazioni della relatività speciale. La dimostrazione più evidente della validità della teoria di Einstein è proprio il ruolo che essa ha acquisito come strumento di lavoro sperimentalmente verificato e irrinunciabile per i ricercatori di tutto il mondo.
- Il progresso apportato dalla nuova visione del mondo ha poi anche conseguenze spettacolari. La già citata equazione di equivalenza tra massa ed energia ($E = mc^2$) stabilisce che una piccola porzione di materia (m) può essere convertita in un'immensa quantità di energia (E), essendo c , la velocità della luce, rappresentata da un numero enorme: ad esempio, un grammo di materia contiene una quantità di energia pari a quella prodotta in un giorno da una centrale elettrica da un gigawatt. Questa nozione fornisce la chiave per la comprensione dei più fondamentali processi dell'universo, dal big bang al risplendere del Sole. Ma, soprattutto, le sue implicazioni hanno condizionato l'evoluzione della scienza e della tecnologia del ventesimo secolo, facendo compiere un salto evolutivo alle tecniche di produzione di energia (reattori nucleari) e arrivando a dare all'uomo il potere di cambiare drammaticamente il corso della storia: l'esplosione atomica su Hiroshima costituisce la più sconvolgente manifestazione delle potenzialità della nuova fisica.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- La relatività ristretta descrive l'influenza del moto relativo degli osservatori sulle loro misure di lunghezza e tempo, estendendo e generalizzando il principio classico della relatività galileiana, incompleto perché non adatto, ad esempio, a descrivere i fenomeni elettromagnetici. Essa pone le basi di una nuova visione della fisica, in cui spazio e tempo sono unificati in un continuo quadridimensionale. Questa nuova concezione dello spazio-tempo costituisce il fondamento della più complessa teoria della relatività “generale”, essenzialmente una teoria della gravitazione, basata sul principio di equivalenza tra massa inerziale e massa gravitazionale.
- Seguiremo come filo conduttore l'evoluzione storica dei concetti della fisica classica verso la loro moderna riformulazione relativistica, cercando di dare un'idea di quale straordinaria rivoluzione concettuale fu rappresentata dall'avvento della teoria di Einstein.
- Dopo l'enunciazione dei principi della relatività ristretta, mostreremo in dettaglio come da queste nuove idee fondamentali si ricavano le equazioni di trasformazione che, dato un *qualsiasi* fenomeno fisico, mettono tra loro in relazione le diverse prospettive con cui tale fenomeno è percepito da osservatori in moto.

La rivoluzione di Einstein: le sintesi di spazio e tempo, massa ed energia

- Nell'illustrare le principali conseguenze della teoria, metteremo in luce il suo ruolo nella soluzione dei gravi problemi concettuali che provocarono la crisi della fisica classica alla fine del diciannovesimo secolo e quello, attuale, di fondamento indiscusso della fisica contemporanea. Ci soffermeremo inoltre su quegli aspetti che, discostandosi in maniera significativa dalle previsioni della meccanica classica e sfuggendo alla possibilità di un nostro personale riscontro nella vita quotidiana, costituiscono una sorta di paradosso per il nostro intuito.
- Cominciamo col richiamare i principi fondamentali della meccanica classica.

Filo Logico

Metodo sperimentale → Galileo

I 3 Principi della dinamica → Newton

Sistemi di riferimento inerziali

La storia: Brahe, Keplero, Copernico

Grandi successi previsione esistenza Nettuno

Sappiamo tutto?

- orbita Mercurio

- il I principio vale sulla terra ora ? → SR NI e forze fittizie

Ancora storia: l'elettromagnetismo, la II rivoluzione "industriale"

I germi della crisi:

- eq. Maxwell velocità della luce vs SRI