

Incontro numero 06

LA FISICA CLASSICA

Pensando alla Fisica, la prima parte che viene tradizionalmente in mente è la Meccanica. La Meccanica “classica” nasce con Galileo Galilei (1564 - 1642), ed Isaac Newton (1642 - 1727) riesce a darle una completezza di trattazione che – per trovarne i limiti di validità del modello che esprime – si è dovuto aspettare fino agli inizi del XX Secolo (ed un nome come Albert Einstein).

Però, prima di cominciare a parlare dei tempi passati, non è possibile – **al fine di far percepire il clima psicologico che si viveva allora** - non riportare un esempio del contributo che “**avrebbe potuto**” essere dato da Galileo, con particolare riferimento ad uno dei problemi chiave della Nautica:

LA DETERMINAZIONE DELLA LONGITUDINE DI UNA NAVE.

Facciamo una premessa: le stelle/le costellazioni sono distribuite, rispetto all’equatore, in modo tale che, osservando una stella, è possibile determinare la latitudine dell’osservatore.

Per la longitudine tutto è diverso:

il Sole passa sempre al meridiano di un qualsiasi punto della Terra, basta avere pazienza ed aspettare.

Si conosce la longitudine solo se si conosce l’anticipo/il ritardo con cui il Sole passa al meridiano locale rispetto al suo passaggio per il meridiano di Greenwich.

Da qui la necessità di avere a bordo un cronometro capace di dare – sempre – l’ora di Greenwich.

Infatti, il Sole - proiettato sull’equatore - descrive 15° all’ora.

Se il Sole passa al mio meridiano tre ore prima che a Greenwich, la mia longitudine è 45°E ; se passa due ore dopo, la mia longitudine è 30°W .

Ebbene, con i suoi studi sul moto dei satelliti di Giove, Galileo aveva raccolto dati a sufficienza per costruire delle Effemeridi riguardanti il sorgere o tramonto di questi satelliti rispetto al loro pianeta, Effemeridi che sarebbero bastate per controllare l’andamento del cronometro di bordo, e quindi determinare la longitudine.

Ma,

- **nel 1633** Galilei venne confinato nel “carcere” di Arcetri [**il pensare/lo scoprire che un corpo celeste non ruota attorno alla Terra, ma attorno ad un altro corpo celeste, era considerato peccato mortale!**], e
- **nel 1638**, quando – ritornato Galileo all’Università di Padova - i rappresentanti degli Stati Generali olandesi vennero per incontrarlo, appunto al fine di risolvere il problema della longitudine in mare, la Chiesa eresse un muro di gomma attorno a lui, ed i rappresentanti olandesi dovettero tornarsene a casa a mani vuote.

E così il tutto fu rimandato, con conseguenze anche gravi, fino a Marconi, alla sua scoperta delle onde elettromagnetiche ed ai servizi di assistenza ai naviganti che ne sono seguiti: siamo nei primi anni del 1900.

Ritorniamo all'argomento da cui siamo partiti.

Premettiamo che

- lo spazio newtoniano viene considerato assiomaticamente **euclideo**, e che
- il tempo viene assiomaticamente considerato come una **variabile uniforme**, che **scorre in modo assoluto**, senza essere in alcun modo influenzato dagli eventi che accadono nello spazio.

Ma, nello spazio ci si muove.

Va subito precisato che parlare di moto o di quiete non ha senso, se non si precisa <<**rispetto a chi?**>>, cioè se non si precisa quale è il SISTEMA DI RIFERIMENTO rispetto al quale un oggetto si muove o sta fermo.

Se sto fermo sulla banchina, io vedo il treno che si muove, ma se sono sul treno io vedo fermo chi è seduto di fronte a me, mentre vedo gli alberi andare indietro.

Ovviamente <<*io so*>> che non sono gli alberi a muoversi, ed è per questo che parlo di <<*moto relativo degli alberi rispetto a me*>>, ma questo non mi impedisce di parlare del <<*Sole che sorge*>> piuttosto che del fatto che è l'estremità Est dell'orizzonte che si abbassa a causa del moto di rotazione della Terra attorno al proprio asse.

Precisiamo meglio:

Newton riconosce che le sue leggi, come verranno elencate, non hanno validità in un sistema di riferimento qualsiasi, ma sono valide solo in particolari sistemi di riferimento, detti

SISTEMI DI RIFERIMENTO INERZIALI.

Ieri, Newton identificava un **sistema di riferimento fisso rispetto al cielo delle stelle fisse** come un prototipo di riferimento inerziale.

Dato questo, ogni sistema di riferimento in moto rettilineo e uniforme rispetto al sistema inerziale dato è ancora un riferimento inerziale.

Oggi si parla di riferimento inerziale come di **un riferimento tanto lontano da ogni altro corpo da non risentirne gli effetti.**

Di nuovo, ogni altro sistema in moto rettilineo uniforme rispetto al primo è e rimane "inerziale".

In ogni caso, le Leggi di Newton hanno validità solo in un riferimento inerziale.

La Terra, con il suo moto di rotazione attorno al proprio asse, NON è un riferimento inerziale, ma noi – abitanti della Terra - **siamo abituati per educazione a pensare <<newtoniano>>**, per cui c'è bisogno di alcuni aggiustamenti per rendere applicabili le Leggi di Newton anche in un riferimento, come la Terra, per il quale tali leggi – a rigore - non sono valide.

Li vedremo.

La **PRIMA LEGGE DI NEWTON** afferma che un corpo materiale, libero di muoversi, mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a che delle forze esterne non intervengono a perturbarlo.

Cioè, a differenza di quanto veniva ammesso nell'antichità, quiete e moto rettilineo uniforme sono alla pari *stati naturali di moto* per un qualsiasi corpo non soggetto ad azioni esterne. Anzi, la quiete è solo un caso particolare di moto, un moto la cui velocità è nulla in un certo sistema di riferimento.

Questa prima legge risale a Galileo.

La **SECONDA LEGGE** afferma che – dato un punto materiale – se su di esso applichiamo una forza otteniamo una accelerazione, e che esiste una legge di proporzionalità diretta fra causa ed effetto:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

La costante di proporzionalità “m” prende il nome di <<massa inerziale>> del corpo.

Nelle scuole medie si usa anche dire che “m” è la “quantità di materia” del corpo, ma dopo si dovrebbe anche dire che cosa si intende per “quantità di materia”.

In prima approssimazione “m” è anche una costante del corpo.

Nella Teoria della Relatività (Ristretta) si deve invece ammettere che essa possa cambiare con la velocità “v” del corpo:

$$m_v = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

essendo: m_v la massa inerziale di un corpo che vedo muoversi con velocità “v”

m_0 la massa inerziale dello stesso corpo visto in condizioni di quiete

c la velocità della luce nel vuoto

Esiste però un'altra legge che coinvolge le masse di almeno due corpi in presenza reciproca:

la legge di Gravitazione Universale.

Essa afferma che, fra due corpi, esiste una forza di attrazione reciproca il cui modulo è dato da:

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

dove m_1 ed m_2 son dette <<masse gravitazionali>> dei due corpi.

Quello che lascia perplessi è che, fino a tutti i decimali che si è riusciti a determinare, massa inerziale e massa gravitazionale di un corpo hanno lo stesso valore, pur essendo che i due fenomeni appaiono essere di natura diversa.

Il fatto viene spiegato/giustificato solo in Relatività Generale.

La **TERZA ed ultima LEGGE DI NEWTON** afferma che, quando un corpo esercita una azione su un altro corpo, il secondo esercita sul primo una azione uguale e contraria.

Prende il nome di <<Principio di azione e reazione>>.

Con queste leggi, Isaac Newton è diventato il “grande Newton” perché ha saputo prevedere le eclissi.

Cioè il cielo ha dato conferma delle previsioni che erano state fatte sulla Terra.

Ovviamente Newton non si è accontentato di aver fatto quanto detto, ma si anche dedicato all'Ottica, scrivendo un testo: **Optiks**, sul quale sviluppava una **teoria corpuscolare** dell'ottica stessa.

Contemporaneamente usciva un altro libro di Ottica, scritto da un giovane fisico: Huygens, dal titolo: **Treatise on Light**.

In questo libro veniva sviluppata una teoria che partiva dall'ipotesi della **natura ondulatoria della luce**, e che prevedeva i fenomeni tipici di una teoria ondulatoria.

Le Autorità Accademiche adottarono subito la teoria del "grande Newton", anche perché – all'epoca – la strumentazione non permetteva di verificare sperimentalmente la correttezza o meno delle conclusioni cui era arrivato Huygens.

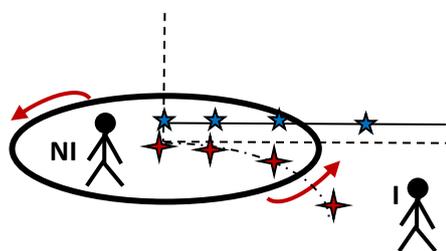
... e quando la tecnologia ha permesso una tale verifica sperimentale, verifica che ha dato ragione a Huygens, purtroppo per lui era troppo tardi: *non c'era più*.

Ma, quali sono le operazioni da fare per poter applicare le Leggi di Newton in ambiente non inerziale, come p.es. il pianeta Terra?

Guardando il cielo, almeno qui da noi, in Europa, si vede il Sole che sorge a Est, si alza in altezza, raggiunge la massima altezza guardando verso Sud, per poi girare verso West e tramontare. Il tutto avviene perché, trascinato dal moto di rotazione terrestre, il piano dell'orizzonte ruota attorno alla propria verticale.

Il Sole e le stelle ruotano apparentemente in senso orario proprio perché la Terra gira in senso anti-orario.

Analizziamo allora – nella piazza di un paese – cosa vede una persona che sta sulla piazza, ed una che si trova su una giostra, che ruota in senso anti-orario.



Ipotizzando **una forza fittizia** capace di generare questo movimento:

la forza di Coriolis,

è possibile tener conto della giostra che ruota.

Abbiamo due osservatori:

NI: non inerziale, fisso con la giostra

I: inerziale, esterno alla giostra

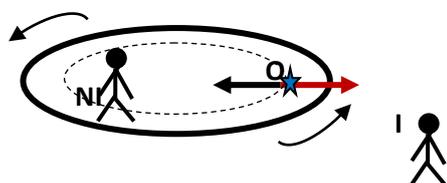
Dal centro si spara un proiettile, 2 cm sopra il piano della giostra (affinché non sia trascinato dalla giostra stessa).

I vede il proiettile andare dritto.

NI vede il proiettile descrivere una curva deviata verso la dritta del moto

Cioè: **per NI tutto avviene come se ci fosse una forza che sposta il proiettile verso la destra del moto.**

Consideriamo un altro caso: un punto materiale O che rimane fisso rispetto alla giostra/ad NI.



I vede la piattaforma ruotare, e giustifica la **forza centripeta** ← con la curva circolare descritta da O

NI vede O fermo, quindi non soggetto a forze. Deve quindi esistere una forza uguale e contraria alla forza centripeta al fine di soddisfare le condizioni di equilibrio:

la forza centrifuga → , anch'essa forza fittizia.

Con l'introduzione di queste due forze fittizie, il modello di Newton appare essere applicabile anche a sistemi di riferimento rotanti.

Contro il modo corrente di pensare, anche la forza centrifuga è una forza fittizia.

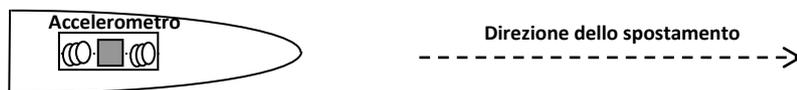
Infatti, una macchina che esce di strada perché corre troppo veloce, esce sempre “*per la tangente*” alla traiettoria che sta descrivendo, mai in direzione perpendicolare alla strada, come invece è orientata la forza centrifuga.

NB: tutta la Meteorologia è condizionata da queste forze fittizie e dai loro effetti sul moto delle masse d'aria e delle perturbazioni.

Quale applicazione pratica di quanto detto finora proviamo a descrivere un metodo di navigazione utilizzato soprattutto dai sommergibili atomici post-2° Guerra Mondiale:
la **NAVIGAZIONE INERZIALE**.

Cerchiamo innanzi a tutto di costruire, procedendo per gradi, l'ambiente operativo del *navigatore inerziale*, identificando dapprima i problemi, e dando poi le soluzioni che sono state adottate.

Iniziamo pensando ad una ipotetica astronave, costretta a muoversi in una direzione (rispetto ad un riferimento inerziale) fissa, come se fosse vincolata a rimanere su un binario ideale:



Immaginiamo ancora che il moto di questa astronave sia un moto rettilineo uniforme (sempre rispetto al riferimento inerziale), come compete a qualsiasi oggetto che non sia sottoposto a forze esterne.

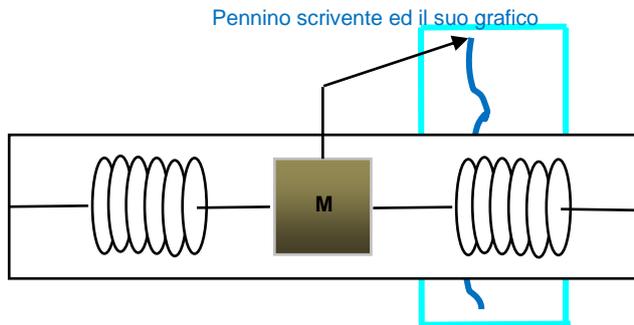
In accordo con le leggi dianzi citate, anche l'astronave “è” un ambiente inerziale, ed un eventuale astronauta non potrebbe non ritrovare, per il proprio riferimento, le stesse leggi che valgono per qualsiasi altro riferimento inerziale.

Cosa accade se vengono accesi i razzi propulsori?

Nasce una forza attiva, che tende ad accelerare l'astronave.

Immaginiamo ancora che l'astronauta sia dotato di uno strumento capace di misurare questa accelerazione (*accelerometro*), e che lo abbia orientato in direzione parallela alla direzione del moto.

Al fine di fissare le idee, cerchiamo di descrivere un possibile tipo di accelerometro elementare: se per esempio vincoliamo, senza attrito, una massa M ad un contenitore, per mezzo di un vincolo elastico costituito da un sistema di molle, si avrà:



in caso di assenza di accelerazione: che il pennino legato all'elemento sensibile traccia una linea retta sul diagramma associato al sistema (la M rimane al centro);

in caso di presenza di accelerazioni: che il pennino traccia invece una curva variabile, del tipo indicato in figura.

Quest'ultimo è il caso generale.

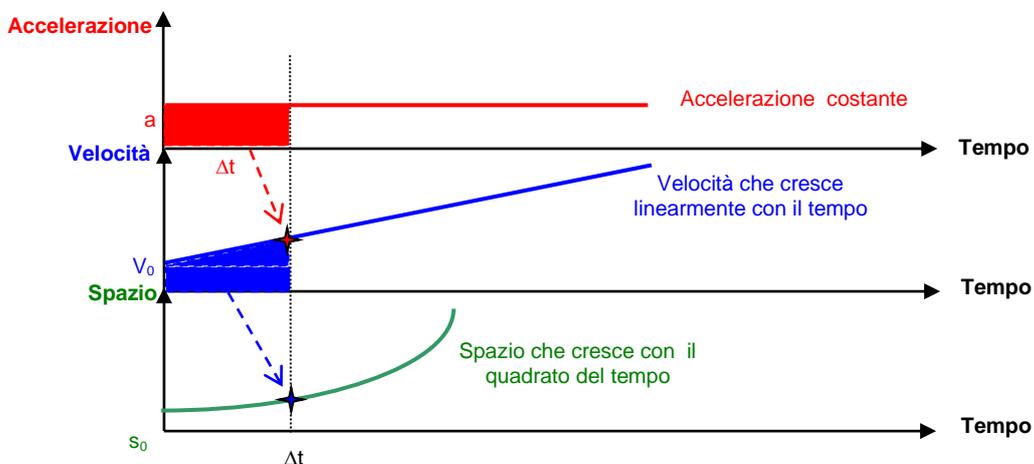
In caso di accelerazione positiva (verso la direzione del moto) lungo l'asse dell'accelerometro, la massa tenderebbe a "rimanere indietro" rispetto alla scatola che la contiene, e questo fino a che le reazioni delle molle, di cui una rimane schiacciata e l'altra viene allungata, non compensano l'effetto della massa M , che si oppone, data l'inerzia, ad essere accelerata.

Se invece l'accelerazione è negativa (in direzione opposta al moto), la massa tende a "cadere in avanti", e le molle si deformano nella direzione opposta.

E' esperienza comune il fatto che questo accada ai passeggeri degli autobus, sia in caso di brusca accelerazione che in caso di frenata.

Istante per istante l'accelerazione viene misurata, e, con una procedura che viene accennata qui sotto, è tecnicamente possibile arrivare a conoscere, in corrispondenza, sia la velocità posseduta che la strada percorsa.

Nel caso semplice del moto uniformemente accelerato (accelerazione $a = costante$), la situazione può venire descritta dal grafico che segue:



La chiave di lettura di questi diagrammi appare essere abbastanza intuitiva.

Per la definizione di accelerazione, possiamo infatti scrivere: $a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow \Delta V = a \Delta t$, ma la quantità $a\Delta t$ altro non è che **l'area segnata in rosso nel grafico dell'accelerazione**, per cui questa area rappresenta proprio **l'incremento della velocità, a partire dalla velocità iniziale posseduta dal mobile: V_0** .

Con ragionamento analogo, si arriva a dire che **l'area blu** segnata sul grafico della velocità **rappresenta lo spazio percorso, a partire dalla posizione da dove il mobile è partito, indicato in generale come s_0** .

In formule, se si tiene conto delle figure tracciate, si arriva a scrivere:

$$a = \text{cost}$$

$$V = V_0 + a \Delta t$$

$$s = s_0 + V_0 \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

Operazioni equivalenti (passaggio da un diagramma a quello successivo mediante il calcolo di un'area – *si fa riferimento esplicito al calcolo integrale*) mantengono tutta la loro validità nell'analizzare il caso generale.

Un fatto è comune a tutti i casi:

misurata l'accelerazione a , per conoscere velocità e la strada percorsa, è necessario conoscere quelle che vengono chiamate "le condizioni iniziali", cioè la velocità (V_0) e la posizione del veicolo (s_0) nell'istante iniziale dell'evento.

Senza queste informazioni, non si può fare evidentemente nulla!

Purtroppo, nello spazio cosmico non esistono "binari", capaci di costringere il veicolo a muoversi in linea retta.

E' allora necessario ampliare l'ipotesi, ed ammettere che l'astronave possa seguire una traiettoria arbitraria, in generale sghemba, nello spazio a tre dimensioni.

Questo impone allora di:

1. *scegliere* una direzione di riferimento nello spazio,
2. *stabilizzare* una piattaforma rispetto a questa direzione, e
3. *vincolare* alla piattaforma tre accelerometri ortogonali fra loro,

in modo da rendere disponibile un riferimento inerziale, rispetto al quale misurare le componenti delle accelerazioni, e quindi rendere calcolabili le componenti delle velocità e degli spostamenti del veicolo.

Questa soluzione esiste realmente, e il sistema prende il nome di "Navigatoro inerziale a piattaforma asservita".

Esiste anche un'altra soluzione: vincolare gli accelerometri (sempre ortogonali fra loro) al veicolo, e disporre di sensori che misurino, istante per istante, oltre alle accelerazioni anche l'orientamento del veicolo stesso rispetto ad un riferimento inerziale.

Anche questa soluzione esiste veramente, e prende il nome di "Navigatoro inerziale strapdown".

Appare evidente come la prima soluzione comporti un maggiore impegno nel hardware, e richieda in compenso un software più leggero, mentre la seconda soluzione richieda un hardware meno sofisticato, ma abbia nel software l'elemento critico.

Continuiamo a seguire l'astronave.

Per quanto abbiamo visto finora, ogni volta che questa subisce una accelerazione, gli accelerometri reagiscono, e l'operatore è in grado di aggiornare le proprie informazioni sulla cinematica dell'astronave stessa.

Purtroppo c'è una eccezione: *il campo gravitazionale*.

Da sempre nelle Scuole si insegna che, messa una pietra ed una piuma in un tubo, nel quale sia stato creato il vuoto (per evitare l'attrito con l'aria), le leggi di caduta dei due corpi sono perfettamente identiche, e questo a causa del fatto che la forza peso è proporzionale alla massa, e quindi l'accelerazione è la stessa per ambedue.

Questo significa che l'astronave, nel momento che dovesse entrare nel campo gravitazionale di un pianeta, non darebbe indicazione dell'evento, nel senso che gli accelerometri, "cadendo" in ogni loro parte allo stesso modo di ogni altra, non sentirebbero alcuna sollecitazione, e quindi non potrebbero reagire.

Il vero guaio nasce però dal fatto che la Relatività Generale insegna che non solo gli accelerometri basati sull'inerzia di massa rimangono inerti nei confronti di un ingresso in un campo gravitazionale, ma anche che altri accelerometri, basati su altri fenomeni, quali p.es. quelli ottici, o comunque elettro-magnetici, continuerebbero a rimanere inerti, in quanto il campo gravitazionale influisce anche sul loro comportamento, nel senso di rendere l'accelerazione dovuta al campo gravitazionale del tutto non rivelabile.

L'unica soluzione a questo problema è apparentemente molto semplice:

è necessario costruirsi un modello matematico del campo gravitazionale in cui si opera, in modo da poter agire con la matematica laddove la fisica risulta impotente.

Non fa meraviglia quindi, pensando ai satelliti artificiali oltre che al navigatore inerziale, se possiamo affermare che abbiamo appreso più cose, del campo gravitazionale terrestre, negli ultimi 50 anni che in tutti i secoli passati.

Il campo gravitazionale pone però un altro problema.

Immaginiamo un veicolo fermo, al suolo.

Se è dotato di un accelerometro verticale, la massa dell'elemento sensibile "*schiaccerà la molla in basso, ed allungherà la molla in alto*", fino a che la deformazione elastica delle molle non compenserà il suo peso.

L'accelerazione misurata verrà allora elaborata, e la risposta del navigatore sarà quella che competerebbe ad una astronave isolata, accelerata con accelerazione costante, e quindi dotata di moto uniformemente accelerato.

Cioè: *quando un corpo cade in un campo gravitazionale, l'accelerometro non lo sente, ma in compenso "sente" il campo quando il veicolo sta fermo, e dà come risposta un moto uniformemente accelerato, che non esiste.*

Ancora una volta, l'unica soluzione sta nel **“calcolare”** l'accelerazione dovuta alla gravità, e sottrarla alle forze agenti sul veicolo.

Il quadro si complica quando si vuol assumere come riferimento un pianeta, che ruota attorno al proprio asse (esattamente come fa la nostra Terra).

Il riferimento non è più inerziale, per cui sappiamo che è lecito affermare che la Meccanica di Newton non vale più.

Ma abbiamo anche visto che, se vogliamo salvare il linguaggio newtoniano, dobbiamo **“pagare un biglietto”**, ed inserire le due già citate forze fittizie: *la forza centrifuga e la forza di Coriolis*.

Tenendo conto di queste forze si salva anche il **Navigatore Inerziale**.

Da qui alla realizzazione pratica dello strumento c'è ancora tanta strada da fare, ma il principio di funzionamento sembra essere – a questo punto – abbastanza ben delineato.

L'uso che vien fatto sulla Terra di questi strumenti è intenso:

dai sommergibili atomici agli aerei supersonici.

Cioè, anche se non ce ne accorgiamo, lo strumento esiste e fa parte della nostra vita.

Ma la Meccanica non esaurisce la Fisica classica.

Quali campi di ricerca abbiamo anche l'Ottica, l'Elettricità, il Magnetismo, e così via.

In precedenza abbiamo già visto che sia Newton che Huygens si erano dedicati/avevano costruito dei modelli di Ottica, con due impostazioni del tutto differenti:

- il primo aveva fatto **l'ipotesi corpuscolare** del “perché” della luce
- il secondo aveva fatto **l'ipotesi ondulatoria** per lo stesso fenomeno.

Cominciamo da qui.

Per Newton, il fatto di “vedere le stelle” non poneva problemi:

le <<**particelle luminifere**>> attraversavano liberamente il vuoto che esiste fra noi e le stelle, ed arrivavano ai miei occhi facendomi vedere le stelle del firmamento.

Per Huygens la teoria poneva invece qualche fastidio.

Se la luce è un fenomeno ondulatorio, per fare il percorso dalle stelle ai miei occhi <<**ci deve pur essere**>> qualche cosa che vibra e che trasporta la luce.

Infatti, se faccio suonare una sveglia sotto una campana di vetro, io sento il suono, ma se nella campana creo il vuoto, io il suono non lo sento più.

Cioè: la vibrazione nella campana viene trasportata al mio orecchio dalle vibrazioni dell'aria.

Ed allora: cosa vibra per portare l'immagine di una stella al mio occhio?

Huygens stesso dà una risposta a questo quesito: **l'Universo è tutto permeato da un fluido impalpabile che, vibrando, permette alla luce di propagarsi: l'ETERE COSMICO.**

Nel 1818, Fresnel confermava: <<Se la luce è un'onda, deve pur esserci qualcosa che ondeggia, e quindi negli spazi interplanetari c'è l'Etere>>.

A questo punto:

- il problema di **rivelare sperimentalmente l'esistenza dell'etere**, il quale - fra l'altro - tendeva a materializzare il concetto newtoniano di **spazio assoluto**,
- ed anche il problema di **rivelare sperimentalmente il moto della Terra rispetto a questo etere**,

sono diventati culturalmente problemi impellenti per dare significato a tutto il "modello".

Ma ... tutti i tentativi sperimentali di rivelare l'etere e di misurare il moto della Terra rispetto ad esso sono falliti.

Non rimaneva allora che rinunciare a questa "ipotesi", ed affrontare lo studio dello **spazio vuoto di materia** con lo stesso spirito pragmatico con cui si venivano studiate le proprietà elettriche e magnetiche dei mezzi materiali ordinari.

Ciò equivaleva ad ammettere che il termine: **"vuoto di materia"**
non significava necessariamente: **"vuoto di proprietà fisiche"**.

Cioè, ancora una volta si riquilificava <<**il nulla**>>, e si aprivano le porte alla Scienza moderna.

Così,

- come il dare **dignità di numero allo "zero"** ha ampliato oltre misura l'orizzonte matematico,
- l'aver dato **dignità di "mezzo fisico" allo "spazio vuoto di materia"** ha ampliato grandemente l'orizzonte fisico, gettando le basi per la Fisica moderna.

Partendo da qui, si aprono le porte della Fisica moderna, quella che ci è stata lasciata dai fisici d'inizio '900.

A partire dalla Relatività Ristretta (1905) e Generale (1916), per finire con la Meccanica Quantistica, è apparso evidente come sia alle altissime velocità (**confrontabili con la velocità della luce**) che alle piccolissime dimensioni (**dimensioni atomiche**), il modello usato dall'Uomo comune non è sufficiente per descrivere e giustificare i risultati degli esperimenti.

A cominciare **dall'ipotesi che lo spazio sia dogmaticamente euclideo**, o che **il tempo sia una grandezza assoluta indipendente da quanto avviene nello spazio**, si è dovuto rinunciare a molte certezze a conferma che il nostro linguaggio è perfettamente adattato al nostro orizzonte sensoriale, ma nulla di più.

Facciamo un ultimo esempio:

mentre nel **"nostro mondo"** esiste una differenziazione ben netta fra <<onda>> e <<corpuscolo>>, nel mondo delle particelle elementari sia un elettrone che un quanto di luce possono comportarsi sia come onda che come corpuscolo, in funzione di come vengono sollecitati dall'osservatore.

E qui si apre un mondo di conoscenze tutto nuovo.

In rete si trovano – prevalentemente in Lingua Inglese – delle VIDEO LECTURES che trattano di Matematica, o di Fisica, o di tanti altri argomenti.

Basta battere: **VIDEO LECTURES ON**, e qualche cosa di interessante compare sullo schermo! (..... equivale a **PHYSICS, MATHEMATICS, PSYCHOLOGY, PHYLOSOPHY**, etc.)

A partire dalle principali Università Americane: MIT, Yale Uni., Stanford, UCLA, ecc., per finire alle ottime lezioni messe in rete dall'Indian Institute of Technology, è possibile seguire lezioni praticamente su tutti gli argomenti desiderati.

Quello che si spera è di essere riusciti a mettere in evidenza - in questa lunga chiacchierata - il carattere "umano" delle nostre conoscenze, e – per la fortuna delle giovani generazioni – della necessità

- di verificare continuamente la congruità dei modelli attualmente in uso confrontandoli con le risposte della Natura, e
- di modificare continuamente tali modelli, adattandoli ai risultati delle osservazioni.

Il progresso umano consiste proprio in questo continuo tentativo di miglioramento, decisamente senza fine.