



LA RIVOLUZIONE SCIENTIFICA DEL XX SECOLO

(E LE SUE ANTICHE PREMESSE)

Maurizio M. Busso

Dipartimento di Fisica e Geologia e INFN

Un titolo alternativo: **“MISURA E DISEGNO DEL MONDO”**

1. *Lo disse Eratostene.*
2. *Da Ipparco a Lagrange*
3. *“Fiat lux”: prima versione*
4. *La crisi*
5. *Il mondo salvato dalle donne.*
6. *Simmetrie: dal Libro al Cruciverba*
7. *“Fiat Lux”: seconda versione*
8. *La rivincita di Platone e la freccia del tempo*



1. *Lo disse Eratostene*



ERATOSTENE MISURA LA TERRA

E. fece probabilmente non la prima, ma certo la più famosa misura sul mondo (il raggio della Terra in quel caso), con metodo sperimentale, falsificabile, attento all'accuratezza del dato.



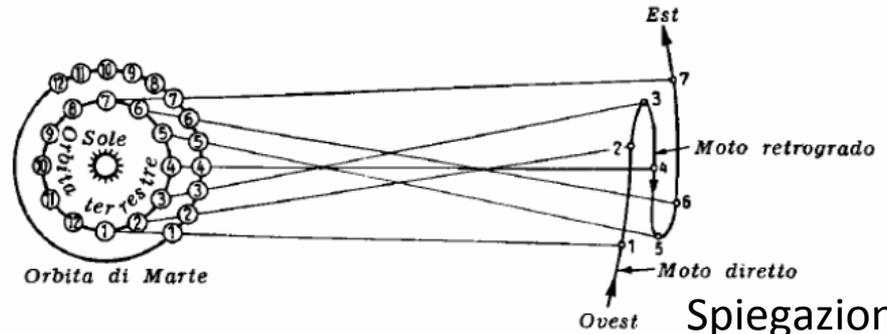
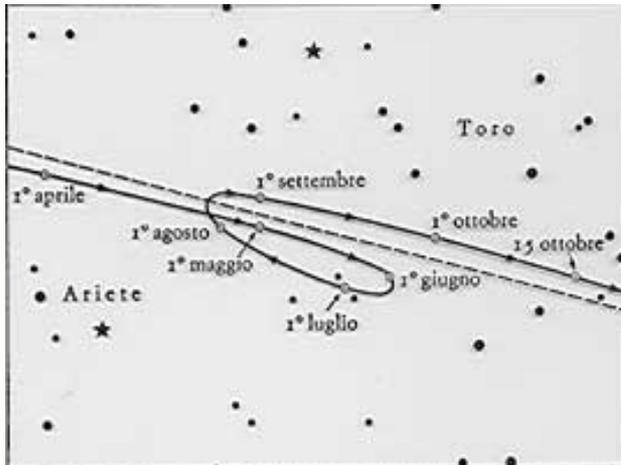
L'atteggiamento opposto: l'età della Terra

Il mondo fu creato “il 23 Ottobre del 4004 avanti Cristo, verso le nove di sera” (J. Ussher, Arcivescovo di Armagh, in *Annals of the World*, 1650).
Cosa fosse successo a mezzogiorno fa parte “Delle cose che sono nascoste dalla fondazione del mondo” (citazione a sproposito di R. Girard).

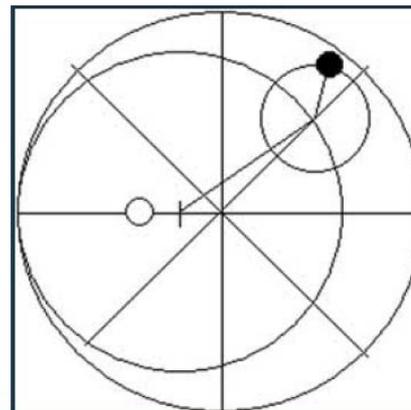
| Autore | Epoca | Età stimata | Metodo |
|-----------------------|-----------|--------------|--------------------------|
| Teofilo di Antiochia | 169d.C: | 7535 | Cronologia biblica |
| Eusebio di Cesarea | 4° secolo | 7183 | Cronologia biblica |
| Sant'Agostino | 5° secolo | 6337 | Cronologia biblica |
| J. Kepler | 1620 | 5999 | idem + moto solare |
| Halley | 1701 | 80000 | salinità del mare |
| Leclerc, c. de Buffon | 1774 | 75000 | raffreddamento terra |
| Lord Kelvin | 1862 | > 20 milioni | idem |
| Kelvin & Helmolts | ca. 1880 | > 10 milioni | irraggiamento solare |
| Darwin | ca. 1890 | > 1 miliardo | rocce ed evol. Specie |
| Rutherford & Holmes | 1929 | > 3 Miliardi | datazione radioattiva |

Da Ipparco a Lagrange. I.

Il moto apparente dei pianeti (es. di Marte) è complicato. Prima di tutto un osservatore terrestre si muove sulla propria orbita con periodo diverso da quello di Marte e in diversi momenti può vedere il moto di questo come “diretto” o “retrogrado”. In secondo luogo le orbite non sono circolari e le velocità non sono costanti.



Spiegazione
Copernicana



Spiegazione Tolemaica con
deferente, epiciclo,
equante.



Da Ipparco a Lagrange. II.

Il moto apparente è spiegato da entrambi i sistemi. Ma quello Tolomaico, con deferenti, epicicli ed equanti, introduceva **5 parametri liberi**. Così scomponeva un percorso complesso in moti armonici semplici. Sotto ampie ipotesi, Fourier mostrò (1801) che questo riproduce bene quanto si vuole qualsiasi fenomeno

With four parameters I can fit an elephant, and with five I can make him wiggle his trunk (John Von Neumann).

nuovo, anche se ancora rozzo sistema, per un principio di economia. Questo è un classico esempio di come non sia sempre vero che la teoria segua l'esperienza. L'intuizione fisica precede entrambi e cerca la semplicità.



Da Ipparco a Lagrange. III.

Nel giro di due secoli il nuovo sistema, anche grazie alle misure di crescente precisione dei telescopi e al perfezionamento del calcolo differenziale, fu in grado di evolvere nella grandiosa costruzione della Meccanica Celeste, capace di dare conto con precisione del moto di pianeti e satelliti, di comete ed asteroidi e anche di descrivere (Eulero) con grane accuratezza fenomeni secolari come la precessione degli equinozi, già nota ad Ipparco ma non compresa, dovuta alla non-sfericità della Terra e alla azione luni-solare congiunta.

Nel moto dei molti corpi si identificarono configurazioni di particolare stabilità (specie per opera del Torinese Lagrange!!), che furono poi osservate (ad es. gli asteroidi Troiani e Greci, in moto sincrono con Giove; le oscillazioni regolari dei satelliti di Saturno Encelado e Dione; l'accoppiamento tra rivoluzione e rotazione della Luna e l'esistenza di punti equilibrio - i punti Lagrangiani - oggi sfruttati per mantenere in orbita satelliti con grande stabilità e piccolo dispendio di energia).

“Un Divino Calcolatore che conoscesse ad un istante l'atto di moto di tutti i corpi del cielo conoscerebbe il passato e il futuro di tutto l'Universo” (Laplace).



“Fiat lux”: prima versione

Mentre l’illuminismo celebrava i suoi trionfi nella Meccanica Celeste, a dimostrazione del predominio della Ragione, controllata dall’uomo (nuovo demiurgo), oscuri personaggi sperimentavano con le rane (Galvani), con il magnetismo e gli isterici (Mesmer), con i fulmini (Franklin), con forze tra pezzi di vari metalli variamente caricati (Volta, Oersted, Ampère, Ohm, Faraday, Lenz, Herz).

L’elettromagnetismo, dapprima visto come una cosa al confine tra scienza e magia, finì per rivelarsi ancor più controllabile e perfetto della meccanica. Il genio di James Clerk Maxwell e l’abilità sperimentale di William Faraday ne dimostrarono con estrema eleganza le leggi, che apparivano dotate di una sorprendente simmetria e suscettibili di una trattazione matematica raffinatissima.

Dio disse: “Fiat Lux”.

Maxwell tradusse per gli uomini:

**Peccato che così facendo smontava
senza pietà il giocattolo di Laplace!!**

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \rho/\epsilon_0 \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\dot{\mathbf{B}} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \dot{\mathbf{E}}\end{aligned}$$

$$\frac{1}{c^2}$$



La crisi: I

Dalle equazioni di Maxwell si deduce facilmente un'equazione delle onde (elettromagnetiche): sono ciò che chiamiamo luce.

La sua velocità si costruisce solo col prodotto di due costanti (che descrivono la permeabilità dello spazio vuoto a lasciar passare campi elettrici e magnetici) e non dipende in alcun modo dalla velocità o dall'osservatore.

L'equazione è per altro identica a quella derivata nel '700 da D'Alembert che descrive le onde sonore, in cui però la velocità dipende dalla Temperatura, che misura la velocità delle molecole; e quindi dipende dall'osservatore. Lo stesso fanno le velocità meccaniche descritte dalla fisica di Galileo nel celebre esperimento di un grave che cada su una barca in moto su un mare senza onde.

L'elettromagnetismo smentiva la meccanica. Il mondo non stava più in piedi. Filosofi come Mach mostrarono anche come tutta la costruzione della meccanica fosse basata su principi non verificabili: tutto pareva crollare.

E intanto la Termodinamica mostrava che un corpo caldo come un forno avrebbe emesso un'energia infinita, con un altro assurdo logico in palese contrasto con i dati (la "catastrofe ultravioletta").

La fisica sembrava capace solo di spiegare apparenze superficiali e franava di fronte alla richiesta di conoscenze più approfondite e fondamentali



La crisi: II

Una parte della frattura tra le culture scientifica e umanistica risale a questi anni, all'inizio del '900.

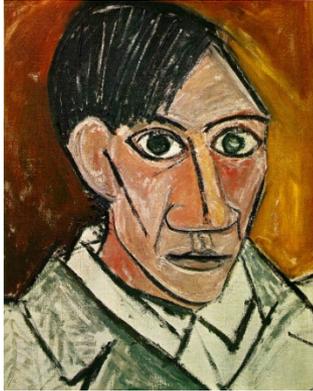
La fisica trovò la sua via verso la soluzione nell'intima struttura delle sue leggi, nelle sue **simmetrie**. Per la fisica di oggi simmetria equivale a bellezza e la fisica teorica ha molto in comune con l'arte.

La soluzione del problema della velocità costante della luce portò alla relatività
La soluzione del problema dell'emissione di un corpo caldo portò alla meccanica quantistica.

La prima postulava che il mondo avesse più di tre dimensioni e che tempo e spazio fossero in parte equivalenti. La seconda indicava che al di sotto delle dimensioni atomiche persino il principio di causa cadeva in difetto e il mondo diventava intrinsecamente ambiguo, sovrapposizione di opposti.

Spiegare questo senza una matematica molto sofisticata (la teoria dei gruppi) è molto complicato, forse davvero impossibile. Il resto della cultura si allontanò gradualmente da una scienza diventata incomprensibile e anti-intuitiva.

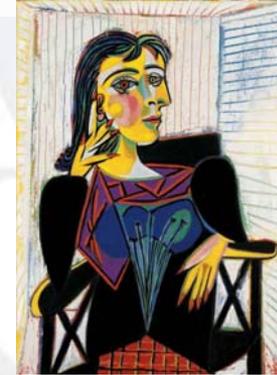
La crisi: III. Qualcuno cercava a suo modo di capire, ma....



Pablo Picasso



P. Picasso: Mural



P. Picasso: Ritratto di Dora Maar

Il Rinascimento aveva fornito gli strumenti per costruire l'immagine tridimensionale: il chiaroscuro per i volumi, la prospettiva per lo spazio.

Ma questo rifletteva un unico punto di vista. Ora la natura mostrava più punti di vista (sistemi di riferimento) e dimensioni in numero maggiore di 3.

Il Cubismo fu forse il più cosciente tentativo di rendere l'assurdo di questa situazione. Ma in genere la cultura non capì. Da Croce alla scuola di Francoforte, la scienza non capita fu dileggiata come "non-cultura" (la volpe e l'uva.....), accusata di un **positivismo** che invece ebbe le sue fortune più modeste proprio tra gli scienziati.



La situazione è ben descritta da Pirandello, che pure l'attribuisce alla precedente Rivoluzione Scientifica.

Maledetto sia Copernico!

"Siamo o non siamo su un'invisibile trottolina, cui fa da ferza un fil di sole, su un granellino di sabbia impazzito che gira e gira e gira, senza saper perché, senza pervenir mai a destino, come se ci provasse gusto a girar così, per farci sentire ora un po' più di caldo, ora un po' più di freddo, e per farci morire - spesso con la coscienza d'aver commesso una sequela di piccole sciocchezze - dopo cinquanta o sessanta giri? Copernico, Copernico, don Eligio mio, ha rovinato l'umanità, irrimediabilmente!

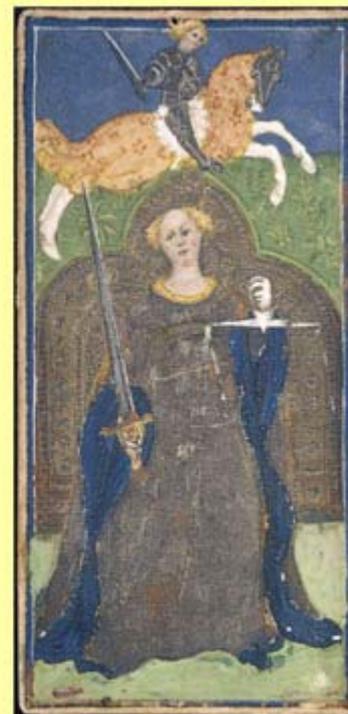
Ormai noi tutti ci siamo a poco a poco adattati alla nuova concezione dell'infinita nostra piccolezza, a considerarci anzi men che niente nell'Universo, con tutte le nostre belle scoperte e invenzioni; e che valore dunque volete che abbiano le notizie, non dico delle nostre miserie particolari, ma anche delle generali calamità?"

(Pirandello, Il fu Matti Pascal)



Solo an
come q
Calvino.

Il testo
minati
secondo
geomet
protago
incrocia
raccont
la creaz



crociate
Fu Italo

sci
le carte
chema

scia ne
ne i
stimolano

IN *Il mondo salvato dalle donne. I*

E. Noether dimostrò nel 1915 che le leggi di conservazione fondamentali della fisica corrispondevano a particolari simmetrie delle sue equazioni. Per un cambiamento del tempo l'energia non varia (ieri l'energia dell'universo era uguale ad oggi). Se mi sposto in America un esperimento sul moto dà gli stessi risultati (la quantità di moto di un treno con velocità v resta la stessa). E ruotando un sistema di 90 gradi le sue leggi fisiche restano identiche.

Teorema di E. Noether (1915)



Emmy Noether

Ad ogni simmetria continua corrisponde una quantità conservata

| | | |
|--|------------------------------|------------------|
| $t \rightarrow t + \Delta t$ | <i>traslazione temporale</i> | Energia |
| $\vec{r} \rightarrow \vec{r} + \Delta \vec{r}$ | <i>traslazione spaziale</i> | Quantità di moto |
| $\vec{r} \rightarrow \vec{r} + \epsilon \vec{\omega} \times \vec{r}$ | <i>Rotazione</i> | Momento angolare |



IN *Il mondo salvato dalle donne. II*

Il concetto di simmetria nella fisica moderna si è allontanato parecchio dalla concezione comune; ma comunque da questa trae sempre origine.

I prin
indip

autonomi ed

Il dif
le ec
equa

Le simmetrie geometriche (ad esempio quelle bilaterali di cui il nostro corpo è ricco) hanno in comune con le simmetrie fisiche un elemento fondamentale: l'invarianza rispetto a una trasformazione. In generale un sistema fisico possiede una simmetria quando può essere sottoposto ad una trasformazione che lascia le sue caratteristiche inalterate. Questo implica due aspetti: la trasformazione e l'invarianza.

sse
li delle

L'ade
ricup
quar
mate

mann, che
canica
menti

Ma c
scop
elett
dell

Le simmetrie della geometria e le simmetrie della fisica si distinguono per ciò che rimane invariato in seguito alle trasformazioni. Nel primo caso rimangono invariate le figure geometriche, nel secondo caso rimangono invariate le leggi fisiche.

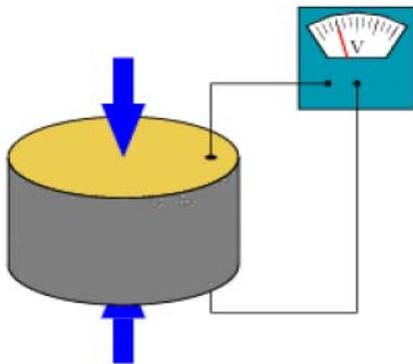
o già fatto si
vano
ari rotazioni

E che la Meccanica Quantistica poteva ripristinare una certezza dei dati almeno su grandi numeri, interpretando le sue strane funzioni come funzioni di probabilità.

Le Simmetrie note

La piezoelettricità

perfetta simmetria tra causa ed effetto:

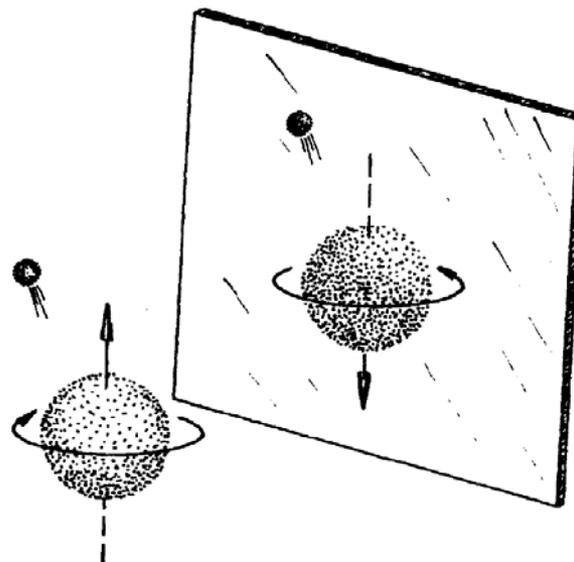


Alcuni cristalli hanno la proprietà di creare una tensione elettrica se vengono compressi, viceversa se si applica una tensione esterna si comprimono

Scambiare causa ed effetto significa operare la trasformazione $t \leftrightarrow -t$ (riflessione temporale)



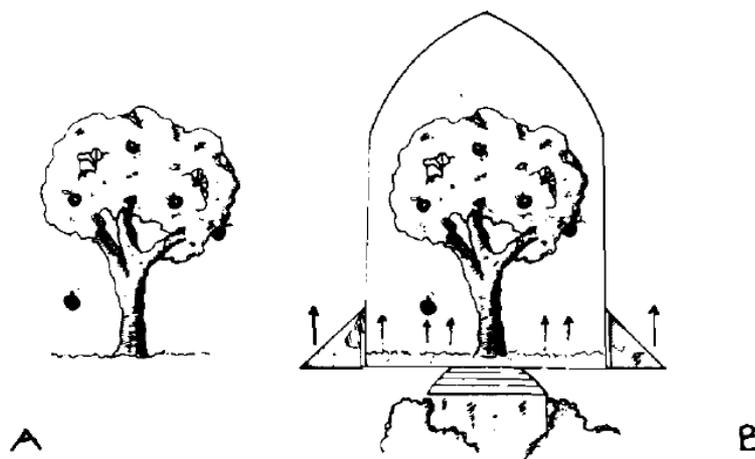
Le Simmetrie violate.



Molte leggi restano invariate anche per Alice, quando attraversa lo specchio, come nel racconto di Carroll: è la simmetrie di Parità (P). Non così i decadimenti beta, che violano questa simmetria e appaiono diversi ad Alice (l'elettrone è emesso in direzione opposta a quella della velocità angolare del nucleo). Ma si scoprì che una simmetria più generale (C-P: di carica e parità) era conservata: particelle ed anti-particelle si comportano in modo opposto. In genere esse manifestano una doppia violazione (di parità e di carica): e due violazioni sono come il prodotto di due segni meno: danno una conservazione).



Le Simmetrie inferite.



Se una mela si stacca dall'albero nel sistema A cade "verso il basso". Se uno scienziato pazzo pianta un albero su un'astronave, la mette in moto ad accelerazione costante e ripete l'esperimento (nel sistema B) un osservatore "esterno" può accorgersi che l'astronave "sale" incontro alla mela. Ma un osservatore "dentro" l'astronave no, non è in grado di descrivere ciò che osserva diversamente dal caso A. Per lui la gravità (A) oppure un moto accelerato (B) sono identici per gli effetti fisici. Questa è una simmetria quindi solo "locale" (o di *gauge*). Einstein la chiamò "Relatività Generale". E' un tentativo (riuscito) di descrivere il mondo richiedendo la simmetria delle sue leggi per tutti gli osservatori, anche se non più in moto uniforme (come faceva Galileo).



Simmetrie: dal Libro al Cruciverba

“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 laberinto.” (G. Galilei, *Il Saggiatore*, cap. 6).

“Il punto essenziale è [creare]una base, la più ristretta possibile, di concetti e relazioni fondamentali che possono venir scelti liberamente (assiomi). La libertà di scelta tuttavia è di un tipo particolare: non è affatto simile alla libertà di uno scrittore di romanzi. Essa è piuttosto simile a quella di chi è impegnato nella risoluzione di un ben congegnato cruciverba. Egli può, è vero, proporre ogni volta qualsiasi parola come soluzione; ma ogni volta è una sola parola che dà la chiave per risolvere il cruciverba in tutte le sue parti. E' mia convinzione che la natura, quale risulta percepibile dai nostri sensi, abbia il carattere di un cruciverba ben congegnato. I successi ottenuti finora dalla scienza danno, in verità, un certo sostegno a questa convinzione.” (A. Einstein, *Pensieri degli anni difficili*, Boringhieri, Torino 1974, p. 36).

La soluzione incompleta del cruciverba

Il cruciverba non è ancora risolto. Molte nuove simmetrie sono state trovate, altre superate (se ne è trovata la “rottura”, che finora ha sempre significato che il nostro modello era incompleto, che la simmetria vera era più generale). Altre ancora mancano: in particolare non è stata trovata una teoria capace di conciliare la Relatività Generale con la Meccanica Quantistica. Ma quest’ultima ha scoperto nuove forze e nuove leggi, nuove particelle e nuove proprietà. Gli atomi si sono rotti in nuclei, questi in quarks e gluoni.

Nel modello standard sviluppato negli anni ‘70 ed ‘80, molte particelle simili ai fotoni, che spesso trasportano le interazioni (bosoni) hanno rivelato di avere una massa diversa da zero (grazie all’interazione con un particolare campo di forze detto di Higgs, la cui particella mediatrice fu trovata a LHC nel 2013). Il solo fotone è rimasto davvero senza massa, quindi libero di muoversi alla velocità della luce invariante della relatività. Solo la luce lo può fare!!



“Fiat Lux”: seconda versione

Let there be a general theory of the interactions, with particles of different type. Let there be a Higgs field giving mass to most “bosons”, except for the photon. And then, finally, let the photons flow away: and you will finally see the light!





La rivincita di Platone

Ma che il cruciverba abbia una soluzione nessuno lo dubita. Alle energie più elevate, sperimentate nel Big Bang per una frazione infinitesima di secondo, il cruciverba era completo e chiaro, tutte le forze della natura erano unificate in una sola, generale.

Al calare della temperatura le varie interazioni si separano (certe simmetrie si rompono spontaneamente) e si manifestano la forza forte, quella elettro-debole, quella gravitazionale.

Ed il segno del tempo cessa di essere indifferente nelle leggi della fisica: nasce il disordine (l'entropia) la cui crescita ineluttabile (Il principio della Termodinamica) fa avvenire i fenomeni in una sola direzione: noi andiamo verso la decadenza e la fine, irrevocabilmente.

Però l'età dell'oro c'è stata: in un mondo astratto frequentato solo dai fisici teorici, dai cultori delle “stringhe cosmiche”, siamo convinti che la Simmetria Perfetta, il Noumeno esista, a garanzia del tutto. Il primo a notarlo fu Gaston Bachelard nel lontano 1934, ne: “Il nuovo spirito scientifico”, quando affermò che la filosofia della fisica moderna era oramai una forma di Platonismo.

Conclusioni?

Troppo presto per trarle, ma la perfezione **forse** esiste.

Però è solo un'astrazione. Non c'è nei fatti di oggi; non c'è per noi, figli di un mondo imperfetto, a crescente Entropia. Per noi esiste una "freccia del tempo" che punta in una direzione sola:

PASSA!! "Time goes by....."

E allora non prendiamoci troppo sul serio con le nostre speculazioni sul Tutto, perché.....
"You must remember this:

A kiss is still a kiss,
A sigh is just a sigh;
The fundamental things apply
As time goes by....."

(Herman Hupfield)



COSA RIMANE DAVVERO?

INFN – SEZIONE DI PERUGIA

STUDI
DI PERUGIA

Qui [in Europa] noi facciamo così

*Qui il nostro governo favorisce i molti invece dei pochi: e per questo viene chiamato **democrazia**.*

*Le leggi qui assicurano una giustizia eguale per tutti nelle loro dispute private; ma noi non ignoriamo mai **i meriti dell'eccellenza**.*

*Quando un cittadino [Europeo] si distingue, allora esso sarà, a preferenza di altri, chiamato a servire lo Stato; e non come un atto di privilegio, ma come una **ricompensa al merito: e la povertà non costituirà un impedimento**.*

Qui [in Europa] noi facciamo così.

*La libertà di cui godiamo si estende anche alla vita quotidiana; noi non siamo sospettosi l'uno dell'altro e non infastidiamo mai il nostro prossimo se al nostro prossimo **piace vivere a modo suo**. Noi siamo liberi: liberi di vivere proprio come ci piace; **e tuttavia siamo sempre pronti a fronteggiare qualsiasi pericolo**.*

*Un cittadino [Europeo] non trascura i pubblici affari quando attende alle proprie faccende private, ma soprattutto **non si occupa dei pubblici affari per risolvere le sue questioni private**.*

*Un uomo che non si interessa allo Stato noi **non lo consideriamo innocuo, ma inutile**; e benché in pochi siano in grado di dare vita ad una politica, beh tutti qui [in Europa] siamo in grado di giudicarla.*

*Noi non consideriamo la discussione come un ostacolo sulla via della democrazia; noi crediamo che la felicità sia il frutto della libertà, e la libertà sia solo il frutto del valore. Insomma, io proclamo che [l'Europa] è la scuola del [mondo] e che ogni [Europeo] cresce sviluppando in sé una felice versatilità, la fiducia in se stesso, la prontezza a fronteggiare qualsiasi situazione; ed è per questo che la nostra [Europa] è aperta al mondo **e noi non cacciamo mai uno straniero**.*

Qui [in Europa] noi facciamo così.

[Parafrasato dal discorso di Pericle agli ateniesi, 431 a.C.]



**GRAZIE A TUTTI PER
L'ATTENZIONE!**