

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Ciclo di Conferenze
“Matematica & Realtà”

Università di Roma Tre, Facoltà di Scienze della Formazione Primaria
15 Novembre 2010

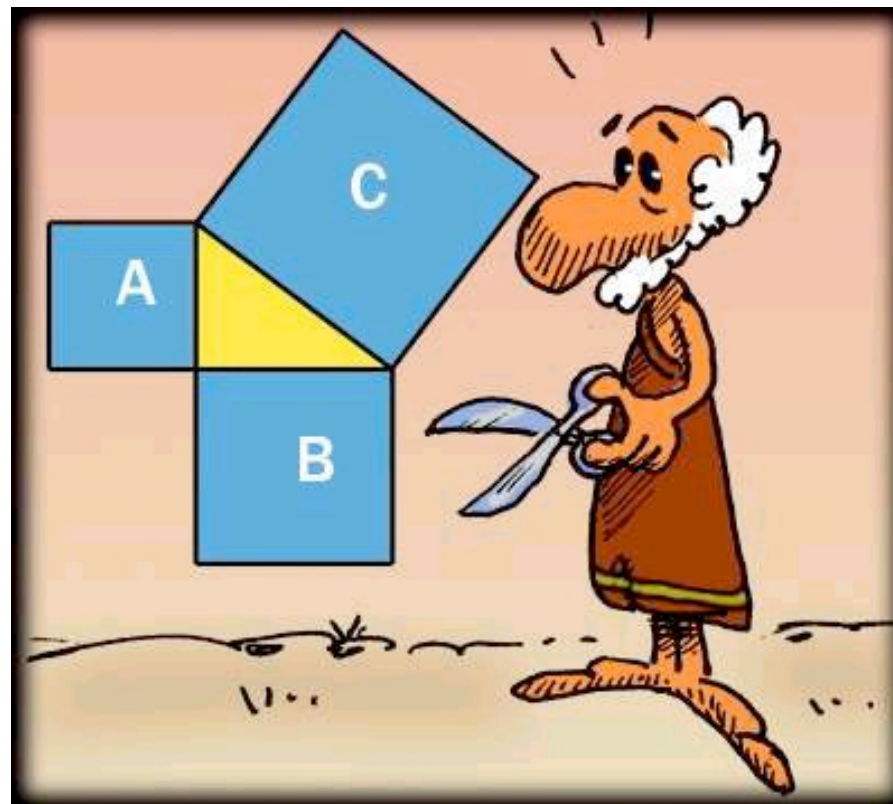
Mauro FRANCAVIGLIA (*Università di Torino & Laboratorio per la
Comunicazione Scientifica dell'Università della Calabria*)

Marcella Giulia LORENZI (*Laboratorio per la Comunicazione Scientifica
dell'Università della Calabria*)

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

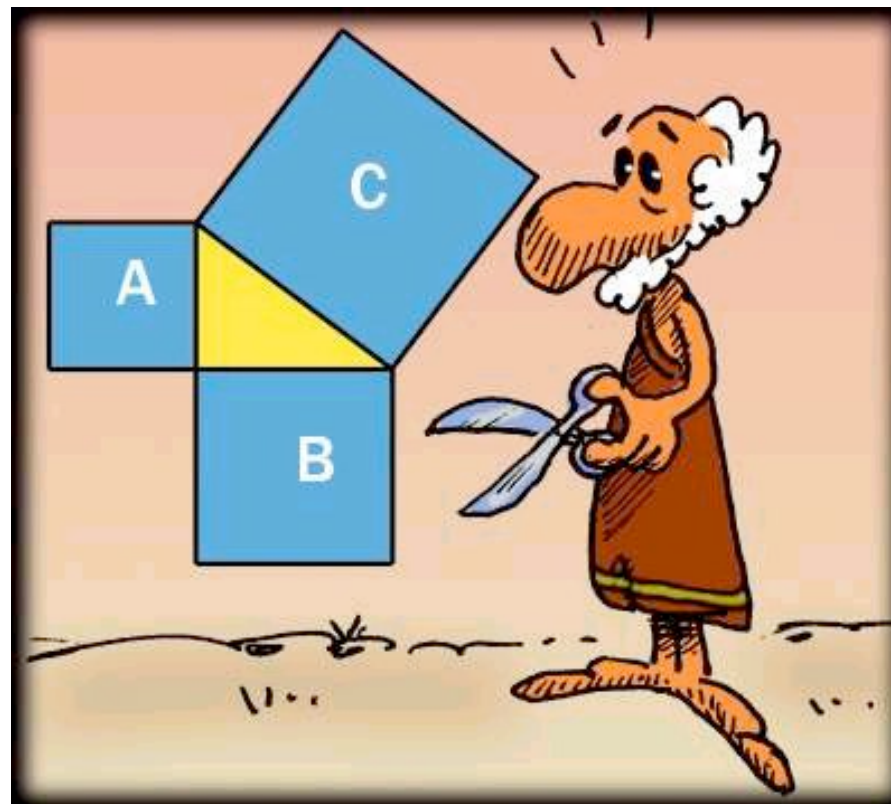
Fin dagli albori della civiltà l'Uomo ha sentito l'esigenza di rapportarsi con lo Spazio in cui vive e con il Tempo che scandisce i ritmi della sua stessa vita, cercando di capirne la natura e soprattutto cercando di **"misurarlo"**.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Fin dagli albori della civiltà l'Uomo ha sentito l'esigenza di rapportarsi con lo Spazio in cui vive e con il Tempo che scandisce i ritmi della sua stessa vita, cercando di capirne la natura e soprattutto cercando di **"misurarlo"**.

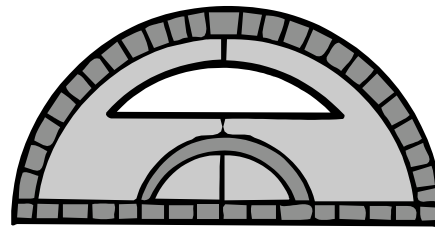


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Fin dagli albori della civiltà l'Uomo ha sentito l'esigenza di rapportarsi con lo Spazio in cui vive e con il Tempo che scandisce i ritmi della sua stessa vita, cercando di capirne la natura e soprattutto cercando di **“misurarlo”**.

L'atto del “misurare” presenta almeno due aspetti. Il primo – squisitamente “fisico” – consiste nel **definire per via empirica e sperimentale la grandezza di una porzione dello Spazio o del Tempo che deve essere “misurato”**. Per tale operazione serve, ovviamente, l'introduzione di adeguati strumenti che permettano l'atto della misurazione.



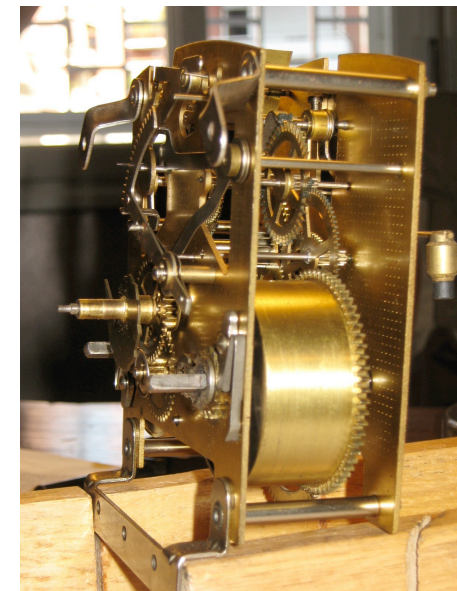
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Fin dagli albori della civiltà l'Uomo ha sentito l'esigenza di rapportarsi con lo Spazio in cui vive e con il Tempo che scandisce i ritmi della sua stessa vita, cercando di capirne la natura e soprattutto cercando di **“misurarlo”**.

L'atto del “misurare” presenta almeno due aspetti. Il primo – squisitamente “fisico” – consiste nel **definire per via empirica e sperimentale la grandezza di una porzione dello Spazio o del Tempo che deve essere “misurato”**. Per tale operazione serve, ovviamente, l'introduzione di adeguati strumenti che permettano l'atto della misurazione.

Per il **Tempo si parla di “Orologi”**, che permettano di riconoscere il Tempo trascorso attraverso fenomeni di periodicità: dalle Stelle, alle Clessidre, agli Orologi Meccanici (basati sul principio del pendolo), ai moderni Orologi Atomici.



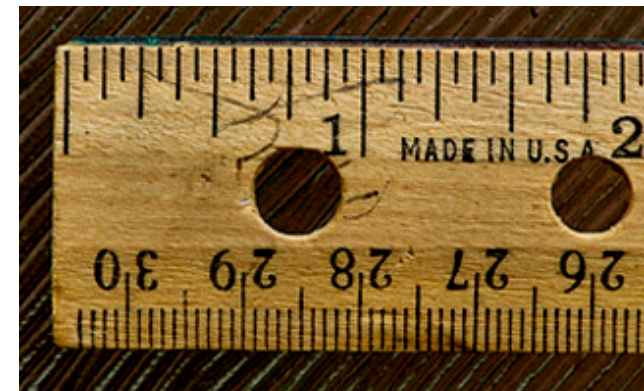
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Fin dagli albori della civiltà l'Uomo ha sentito l'esigenza di rapportarsi con lo Spazio in cui vive e con il Tempo che scandisce i ritmi della sua stessa vita, cercando di capirne la natura e soprattutto cercando di **“misurarlo”**.

L'atto del “misurare” presenta almeno due aspetti. Il primo – squisitamente “fisico” – consiste nel **definire per via empirica e sperimentale la grandezza di una porzione dello Spazio o del Tempo che deve essere “misurato”**. Per tale operazione serve, ovviamente, l'introduzione di adeguati strumenti che permettano l'atto della misurazione.

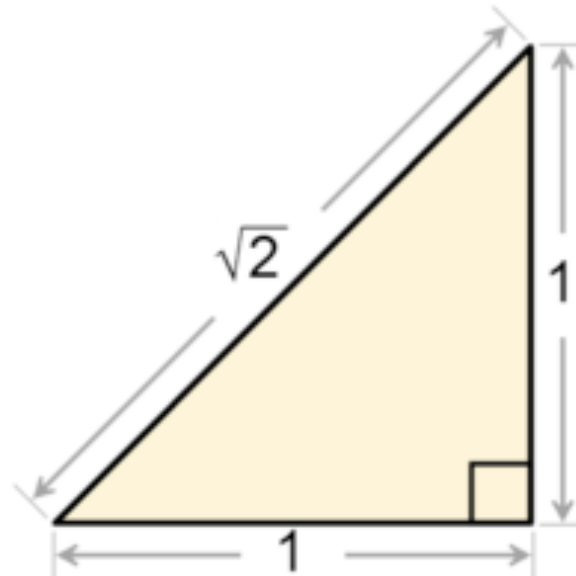
Per lo **Spazio** – assodato che esso si pensa tridimensionale e prodotto di tre entità “lineari” – si tratta di introdurre strumenti per misurare “distanze” (e, nelle dimensioni superiori alla prima, “aree” e “volumi” come concetti derivati). **Si parla di “Metri”**.





MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”.**

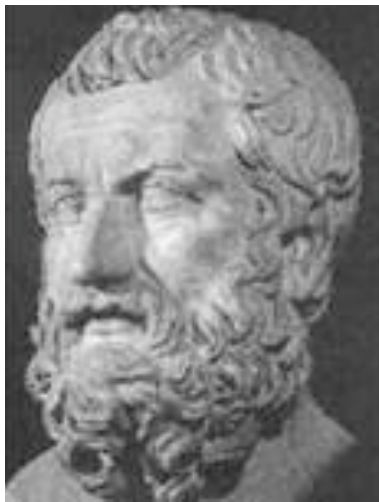


Zenone di Elea

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

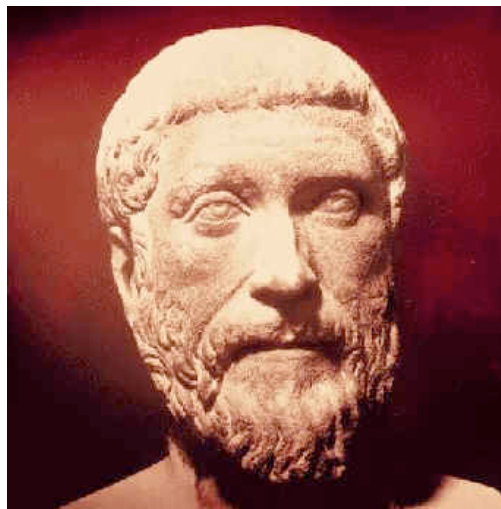
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”.**



Zenone di Elea

Archimede di Siracusa



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

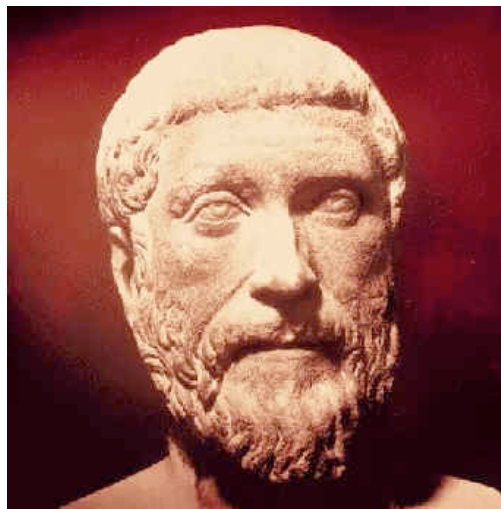
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”**.



Zenone di Elea

Archimede di Siracusa



Euclide di Gela

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”**.

Il XX Secolo scuoterà le fondamenta lasciate dall’**Aritmetica Pitagorica** e dalla **Geometria Euclidea**, accanto alla **Fisica Classica** di Galileo e Newton.



Astronomia Mitica

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”.**

Il XX Secolo scuoterà le fondamenta lasciate dall’**Aritmetica Pitagorica** e dalla **Geometria Euclidea**, accanto alla **Fisica Classica** di Galileo e Newton.



Astronomia Mitica



Astronomia Sperimentale

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”**.

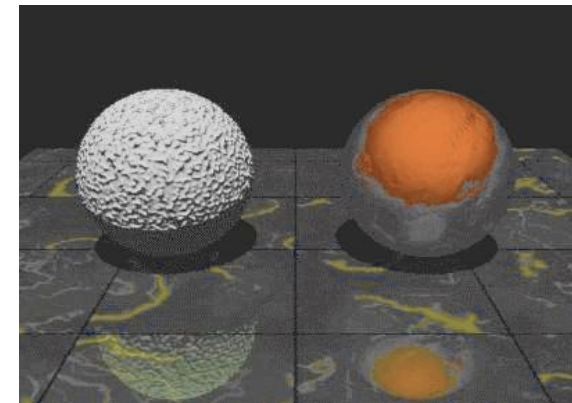
Il XX Secolo scuoterà le fondamenta lasciate dall’**Aritmetica Pitagorica** e dalla **Geometria Euclidea**, accanto alla **Fisica Classica** di Galileo e Newton.



Astronomia Mitica



Astronomia Sperimentale



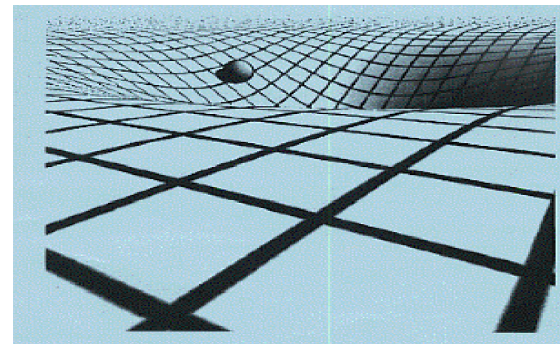
Relatività e Meccanica Quantistica

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”**.

Il XX Secolo scuoterà le fondamenta lasciate dall’**Aritmetica Pitagorica** e dalla **Geometria Euclidea**, accanto alla **Fisica Classica** di Galileo e Newton. Da un lato la **Teoria della Relatività** porrà in dubbio la possibilità di misurare e definire separatamente **Tempo e Spazio, non più assoluti ma congiunti in un unico continuo spazio-temporale**.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”**.

Il XX Secolo scuoterà le fondamenta lasciate dall’**Aritmetica Pitagorica** e dalla **Geometria Euclidea**, accanto alla **Fisica Classica** di Galileo e Newton. Da un lato la **Teoria della Relatività** porrà in dubbio la possibilità di misurare e definire separatamente **Tempo e Spazio, non più assoluti ma congiunti in un unico continuo spazio-temporale**. Dall’altro la **Meccanica Quantistica** porrà in dubbio la possibilità di suddividere ad libitum nell’infinitesimo, travisando **un mondo fatto di “Quanti”** (entità indivisibili come gli “Atomi” di Democritea memoria).



MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Ideali e Misure Fisiche

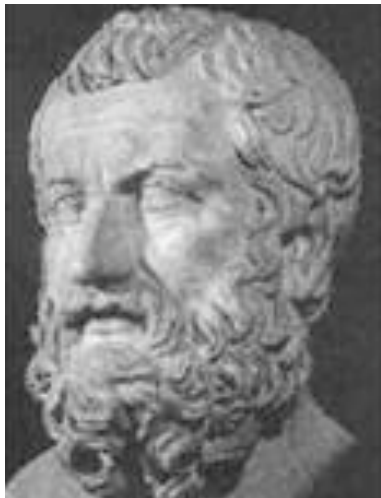
Il secondo aspetto è squisitamente matematico. Per calcolare le misure si introduce innanzitutto una **“Unità di Misura”** e ci si pone successivamente il problema della **“Commensurabilità”**. Di qui la nascita dell’Aritmetica dei Numeri Interi e successivamente di quella dei Numeri Razionali; e la successiva scoperta dell’esistenza di **“Grandezze Incommensurabili”** e di Numeri non Razionali. **Con l’affermazione del “Paradigma Continuo” rispetto ad un più semplice “Paradigma Discreto”.**

Il XX Secolo scuoterà le fondamenta lasciate dall’**Aritmetica Pitagorica** e dalla **Geometria Euclidea**, accanto alla **Fisica Classica** di Galileo e Newton, **riportando con ciò il problema della dicotomia “Continuo – Discreto” e riproponendo** – anche alla luce delle nuove tecnologie previste dalla Relatività e dalla Meccanica Quantistica – **l’analisi critica della differenza tra “misure ideali” (che prevedono la possibilità di un continuo e, con esso, dei Numeri Reali) e “misure fisiche” (che si basano, invece, su rapporti discreti e, come tali, sempre razionali).**



MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Il punto di partenza del nostro discorso su cosa debba intendersi per differenza tra “misura ideale” e “misura fisica” deve necessariamente ripartire dal notissimo **Paradosso di Zenone sul movimento**, noto come il “Paradosso di Achille e della Tartaruga”, secondo il quale Achille non potrà mai raggiungere la Tartaruga perché questo richiederebbe infiniti spostamenti nello Spazio e nel Tempo.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille è “più veloce”. Corre velocemente ed insegue la Tartaruga.....



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

... la **Tartaruga** invece è lenta.... Chi va piano va sano e va lontano, dice un'antica saggezza



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille raggiungerà la **Tartaruga** partita prima di lui.....?



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Esperienza e Senso Comune ci dicono che dopo un certo tempo Achille raggiungerà la Tartaruga.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Esperienza e Senso Comune ci dicono che **dopo un certo tempo Achille raggiungerà la Tartaruga.**



Zenone si accorge però che questa esperienza di “senso comune” pone il problema se Spazio e Tempo possano essere infinitamente divisi in parti sempre più piccole e con essi “misurate”.
In un certo senso – Zenone afferma – **se potessimo suddividere Spazio e Tempo all’infinito allora Achille non raggiungerebbe mai la Tartaruga.....**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Esperienza e Senso Comune ci dicono che **dopo un certo tempo Achille raggiungerà la Tartaruga.**

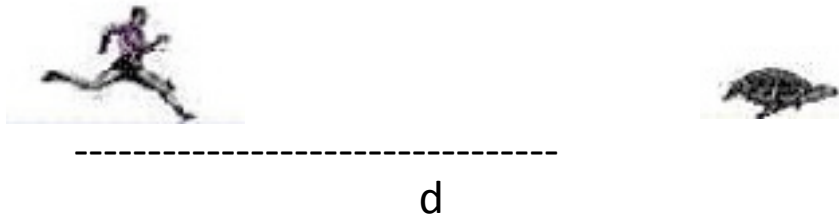


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

- 1) Al tempo $t=0$ Achille e la Tartaruga sono a distanza iniziale d
Achille inizia la sua corsa, ma parte anche la Tartaruga...**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

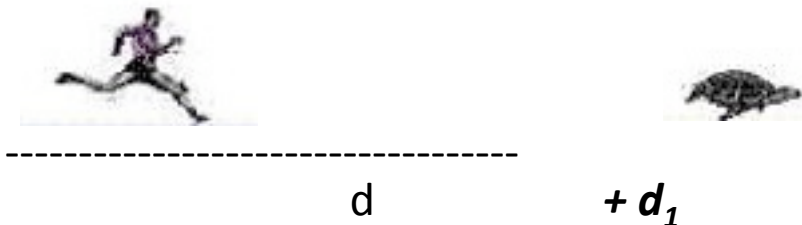
2) Al tempo $t=t_1$ Achille e la Tartaruga sono più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la posizione precedente della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è mossa un po' in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

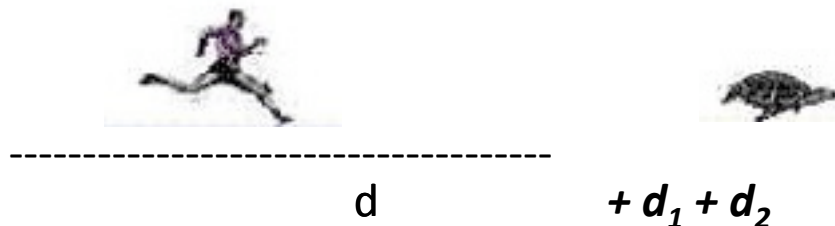
3) Al tempo $t=t_2$ Achille e la Tartaruga sono ancora più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la seconda posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

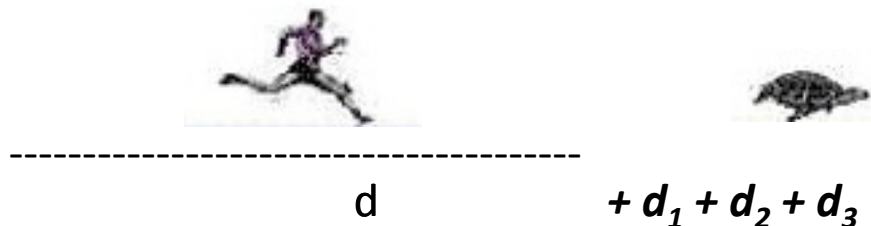
4) Al tempo $t=t_3$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la terza posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

5) Al tempo $t=t_4$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la quarta posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

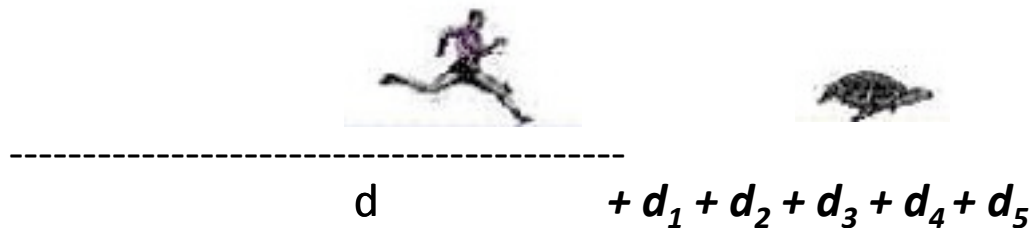
6) Al tempo $t=t_5$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la quinta posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

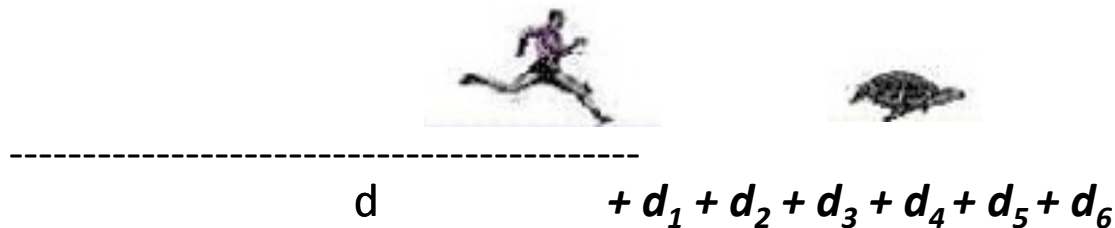
7) Al tempo $t=t_6$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la sesta posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

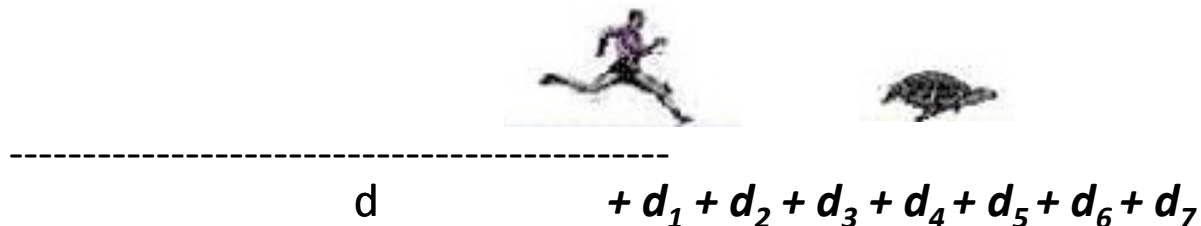
8) Al tempo $t=t_7$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la settima posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

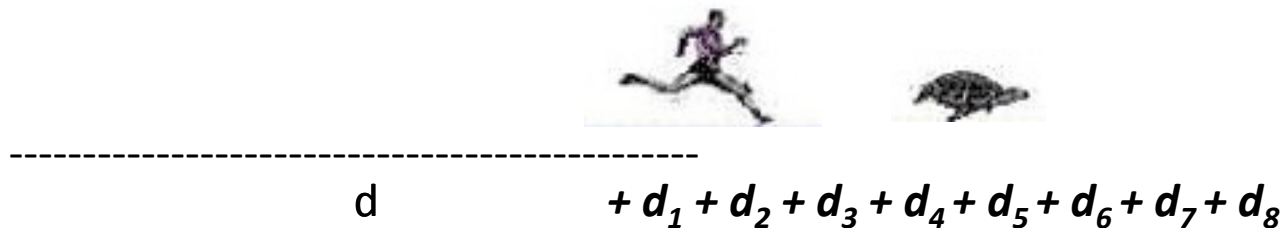
9) Al tempo $t=t_8$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto l'ottava posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

10) Al tempo $t=t_9$, Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la nona posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9$



d + $d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

11) Al tempo $t=t_{10}$ Achille e la Tartaruga sono sempre più vicini

Achille si è mosso in avanti e ha raggiunto la decima posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si è di nuovo mossa un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + \dots$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + \dots$



d

$+ d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + \dots$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

12) Il processo va avanti per un numero infinito di passi successivi

Achille si muove in avanti e raggiunge ogni ulteriore posizione della Tartaruga...

... ma la Tartaruga si muove ogni volta di un poco in avanti

La nuova posizione della Tartaruga adesso è $d + d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n + d_{n+1} + \dots$

Il tempo totale che è passato è $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n + t_{n+1} + \dots$



$$d \quad + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + \dots + d_n + d_{n+1} + \dots$$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

14) Zenone argomenta che Achille non raggiungerà mai la Tartaruga, perché è impossibile considerare un numero infinito di passi e non si possono sommare né infinite distanze né infiniti tempi



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

14) Zenone argomenta che Achille non raggiungerà mai la Tartaruga, perché è impossibile considerare un numero infinito di passi e non si possono sommare né infinite distanze né infiniti tempi

Nella cosiddetta "ipotesi del continuo" Zenone si sbaglia. In un mondo in cui valga l'ipotesi del continuo, infatti, Achille raggiunge la Tartaruga (e questo, a prima vista, soddisfa sia il senso comune sia la nostra percezione).



d

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

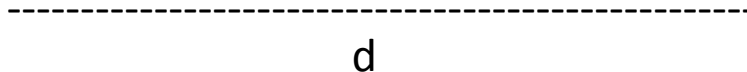
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

14) Zenone argomenta che Achille non raggiungerà mai la Tartaruga, perché è impossibile considerare un numero infinito di passi e non si possono sommare né infinite distanze né infiniti tempi

Nella cosiddetta "ipotesi del continuo" Zenone si sbaglia. In un mondo in cui valga l'ipotesi del continuo, infatti, Achille raggiunge la Tartaruga (e questo, a prima vista, soddisfa sia il senso comune sia la nostra percezione).

Quindi: Achille raggiunge la Tartaruga...!



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

14) Zenone argomenta che Achille non raggiungerà mai la Tartaruga, perché è impossibile considerare un numero infinito di passi e non si possono sommare né infinite distanze né infiniti tempi

Nella cosiddetta "ipotesi del continuo" Zenone si sbaglia. In un mondo in cui valga l'ipotesi del continuo, infatti, Achille raggiunge la Tartaruga (e questo, a prima vista, soddisfa sia il senso comune sia la nostra percezione).

La Matematica riuscirà infatti ad imparare che – differentemente da quanto affermato da Zenone – si può sommare un numero infinito di quantità finite sempre più piccole

Il tempo totale che è passato è quindi $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n + t_{n+1} + \dots = ?$

!



d

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

14) Zenone argomenta che Achille non raggiungerà mai la Tartaruga, perché è impossibile considerare un numero infinito di passi e non si possono sommare né infinite distanze né infiniti tempi

Nella cosiddetta "ipotesi del continuo" Zenone si sbaglia. In un mondo in cui valga l'ipotesi del continuo, infatti, Achille raggiunge la Tartaruga (e questo, a prima vista, soddisfa sia il senso comune sia la nostra percezione).

La Matematica riuscirà infatti ad imparare che – differentemente da quanto affermato da Zenone – si può sommare un numero infinito di quantità finite sempre più piccole

Il tempo totale che è passato è quindi $(0) + t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n + t_{n+1} + \dots = d/(V - v)$ se $V > v$ è la velocità di Achille e v è la velocità della Tartaruga, giacché un facile calcolo fornisce $t_n = dv^{n-1}/V^n$ e la serie è la "serie geometrica" di rapporto $V/v < 1$

$$T = \sum t_i = \sum dv^{i-1}/V^i = 1/v \sum dv^i/V^i = d/v \sum (v/V)^i = d/v [v/(V - v)] = d/(V - v)$$



 d

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: I Paradossi di Zenone sul Movimento

Achille tenta di raggiungere la Tartaruga di Zenone.....

15) Zenone argomenta che Achille non raggiungerà mai la Tartaruga, perché è impossibile considerare un numero infinito di passi e non si possono sommare né infinite distanze né infiniti tempi

Nella cosiddetta "ipotesi del continuo" Zenone si sbaglia. In un mondo in cui valga l'ipotesi del continuo, infatti, Achille raggiunge la Tartaruga (e questo, a prima vista, soddisfa sia il senso comune sia la nostra percezione).

Ovviamente il medesimo risultato può essere ottenuto più facilmente: se $V > v$ è la velocità di Achille e v è la velocità della Tartaruga, in un tempo T Achille si muove di uno spazio $x = VT$ e la Tartaruga si muove di $x = d + vT$. Uguagliando le due distanze percorse si ottiene $VT = d + vT$, che fornisce immediatamente

$$T = d/(V - v)$$

!



d

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.



Unità di Misura



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura

•
•
•



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.

Ma se ciò, invece, non si può fare, allora Zenone potrebbe avere ragione e Achille, forse, non raggiunge mai la Tartaruga.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.

Ma se ciò, invece, non si può fare, allora Zenone potrebbe avere ragione e Achille, forse, non raggiunge mai la Tartaruga.

Intendiamoci, questo non vuol dire che Achille non potrà mai passarle davanti... Questa e' un'altra storia...! Dire che Achille non raggiunge la Tartaruga vuol solamente dire che in un certo tempo Achille sarà ancora dietro la tartaruga

d + nΔ



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.

Ma se ciò, invece, non si può fare, allora Zenone potrebbe avere ragione e Achille, forse, non raggiunge mai la Tartaruga.

*Intendiamoci, questo non vuol dire che Achille non potrà mai passarle davanti... Questa e' un'altra storia...! Dire che Achille non raggiunge la Tartaruga vuol solamente dire che in un certo tempo Achille sarà ancora dietro la tartaruga ed in un altro le sarà già passato davanti. **Anche questo non contrasta con la nostra esperienza, ma NON richiede più l'ipotesi del continuo.***

d + $m\Delta$ $m > n + 1$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: dai Paradossi di Zenone alla Misura Ideale

Allora, dov'è – in realtà – il problema.....?

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se ciò si può fare, allora Zenone ha torto ed il problema sollevato è solo un problema di calcolabilità di una serie. Problema – come si è detto – risolto dalla Matematica del '700 e degli “infinitesimi”.

Ma se ciò, invece, non si può fare, allora Zenone potrebbe avere ragione e Achille, forse, non raggiunge mai la Tartaruga.

*Intendiamoci, questo non vuol dire che Achille non potrà mai passarle davanti... Questa e' un'altra storia...! Dire che Achille non raggiunge la Tartaruga vuol solamente dire che in un certo tempo Achille sarà ancora dietro la tartaruga ed in un altro le sarà già passato davanti. **Anche questo non contrasta con la nostra esperienza, ma NON richiede più l'ipotesi del continuo.***

Chi ha ragione.....?

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Come si è detto, il problema risiede nell'effettiva **possibilità di "misurare" all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Questo problema, si mescola sottilmente, con il problema della divisione Pitagorica tra numeri interi e, quindi, con il problema dell'esistenza di "Numeri Irrazionali".



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Come si è detto, il problema risiede nell'effettiva **possibilità di "misurare" all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

Se, date due grandezze lineari A e B non esiste un sottomultiplo né dell'una né dell'altra che stia esattamente un numero finito di volte nell'altra allora si dice che le due grandezze A e B sono "incommensurabili".



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Come si è detto, il problema risiede nell'effettiva **possibilità di "misurare" all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

È facile convincersi che, in altre parole, questo vuol dire che il rapporto tra le due lunghezze di A e di B NON può essere espresso da un "Numero Razionale", ovvero dal rapporto tra due Numeri Interi.



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Supponiamo di dover dividere un Numero Intero n per un Numero Intero m .



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Supponiamo di dover dividere un Numero Intero n per un Numero Intero m .
Non è restrittivo supporre che n sia più grande di m ; allora esistono un solo Numero Intero q (detto QUOZIENTE) e un solo Numero Intero r (detto RESTO) tali che si abbia esattamente

$$n = qm + r$$

e si dice che m sta q volte in n con resto r .



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Supponiamo di dover dividere un Numero Intero n per un Numero Intero m .
Non è restrittivo supporre che n sia più grande di m ; allora esistono un solo Numero Intero q (detto QUOZIENTE) e un solo Numero Intero r (detto RESTO) tali che si abbia esattamente

$$n = qm + r$$

e si dice che m sta q volte in n con resto r .

Se il resto r è zero allora la divisione è “esatta” ed n è multiplo di m .



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Supponiamo di dover dividere un Numero Intero n per un Numero Intero m .
Non è restrittivo supporre che n sia più grande di m ; allora esistono un solo Numero Intero q (detto QUOZIENTE) e un solo Numero Intero r (detto RESTO) tali che si abbia esattamente

$$n = qm + r$$

e si dice che m sta q volte in n con resto r .

Se il resto r è zero allora la divisione è “esatta” ed n è multiplo di m .
Se la divisione non è esatta allora il resto r può assumere solo m valori, da zero a $m-1$ compresi.



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Dal fatto che nella divisione tra n ed m il resto r possa assumere solo un numero finito m di valori, da zero a $m-1$ compresi, comporta che – nella cosiddetta “rappresentazione decimale” – il Numero Razionale che indichiamo con la notazione n/m abbia, da un certo punto in poi, un gruppo finito di cifre decimali che si ripetono infinite volte (il cosiddetto “periodo”).



Unità di Misura



Unità di Misura Suddivisa



Sottounità di Misura

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Dal fatto che nella divisione tra n ed m il resto r possa assumere solo un numero finito m di valori, da zero a $m-1$ compresi, comporta che – nella cosiddetta “rappresentazione decimale” – il Numero Razionale che indichiamo con la notazione n/m abbia, da un certo punto in poi, un gruppo finito di cifre decimali che si ripetono infinite volte (il cosiddetto “periodo”).

La “rappresentazione decimale” corrisponde infatti all’idea di scrivere il Numero Razionale che ci interessa come una somma (eventualmente infinita) di multipli interi dell’Unità e dei suoi sottomultipli “in base 10” (ovvero $1/10$, $1/100$, $1/1000$, eccetera...). Questa rappresentazione, a sua volta, corrisponde all’idea di dividere un qualunque Numero Intero assegnato per 10 e chiedersi se e quando si ripeterà un resto uguale ad un resto precedente.



Unità di Misura **1**



**Unità di Misura Suddivisa
in 10 parti**



Sottounità di Misura **1/10**

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Dal fatto che nella divisione tra n ed m il resto r possa assumere solo un numero finito m di valori, da zero a $m-1$ compresi, comporta che – nella cosiddetta “rappresentazione decimale” – il Numero Razionale che indichiamo con la notazione n/m abbia, da un certo punto in poi, un gruppo finito di cifre decimali che si ripetono infinite volte (il cosiddetto “periodo”).

Un Numero che nella sua “rappresentazione decimale” ammetta un “periodo” è quindi un Numero Razionale e viceversa. Tutti i Numeri Razionali si scrivono sotto forma di Numeri Periodici e – una volta che si siano introdotti i Numeri Reali, per esempio come somme infinite di sottomultipli di 10 – un Numero Periodico è sempre esprimibile come rapporto di due Numeri Interi (ovvero esso è un Numero Razionale).



Unità di Misura **1**



*Unità di Misura Suddivisa
in 10 parti*



Sottounità di Misura **1/10**

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Dal fatto che nella divisione tra n ed m il resto r possa assumere solo un numero finito m di valori, da zero a $m-1$ compresi, comporta che – nella cosiddetta “rappresentazione decimale” – il Numero Razionale che indichiamo con la notazione n/m abbia, da un certo punto in poi, un gruppo finito di cifre decimali che si ripetono infinite volte (il cosiddetto “periodo”).

Un Numero che nella sua “rappresentazione decimale” ammetta un “periodo” è quindi un Numero Razionale e viceversa. Vi è quindi piena equivalenza tra “Numeri Razionali” e “Numeri Periodici” (in rappresentazione decimale).



Unità di Misura **1**



*Unità di Misura Suddivisa
in 10 parti*



Sottounità di Misura **1/10**

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Per calcolare un **Numero Periodico** a partire da una frazione occorre eseguire una divisione decimale tra numeratore e denominatore, che si dovrà interrompere solo quando si otterrà come resto un valore già individuato in una delle divisioni precedenti: a questo punto infatti, calcolando le successive cifre decimali, non si farà altro che ripetere le stesse divisioni eseguite in precedenza fino ad ottenere di nuovo lo stesso resto, e questa sequenza di calcoli si ripeterà all'infinito. Si può quindi terminare la divisione decimale e individuare le cifre del periodo e dell'antiperiodo in base alla posizione dei resti coincidenti.



Esempio di divisione decimale per trovare un numero periodico ($43/42$)

$$\begin{array}{r}
 43 \overline{) 42} \\
 \underline{42} \\
 10 \\
 0 \\
 100 \\
 \underline{84} \\
 160 \\
 \underline{126} \\
 340 \\
 \underline{336} \\
 40 \\
 0 \\
 400 \\
 \underline{378} \\
 220 \\
 \underline{210} \\
 10
 \end{array}$$

Antiperiodo [10, 0]

Periodo (resto che si ripete) [100, 84, 160, 126, 340, 336, 40, 0, 400, 378, 220, 210]

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Viceversa, ogni Numero Decimale Periodico è un Numero Razionale. Esso infatti ammette una **“Frazione Generatrice”** di facile calcolo. Ovviamente non è restrittivo dimostrarlo per i Numeri Decimali compresi tra **zero** e **uno**, ovvero della forma decimale $0,a_1a_2a_3\dots$

Se il Numero che ci interessa ha un Periodo formato da n cifre si scrive

$$x = 0, \overline{a_1 \dots a_n}$$

Detto A il numero formato dalla giustapposizione delle cifre, ovvero

$$A = 10^{n-1}a_1 + 10^{n-2}a_2 + \dots + 10a_{n-1} + a_n$$

allora possiamo scrivere il nostro Numero come

$$x = \frac{A}{10^n} + \frac{A}{10^{2n}} + \frac{A}{10^{3n}} + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{A}{(10^n)^i} = \frac{A}{10^n(1 - \frac{1}{10^n})} = \frac{a_1 \dots a_n}{99 \dots 9}$$

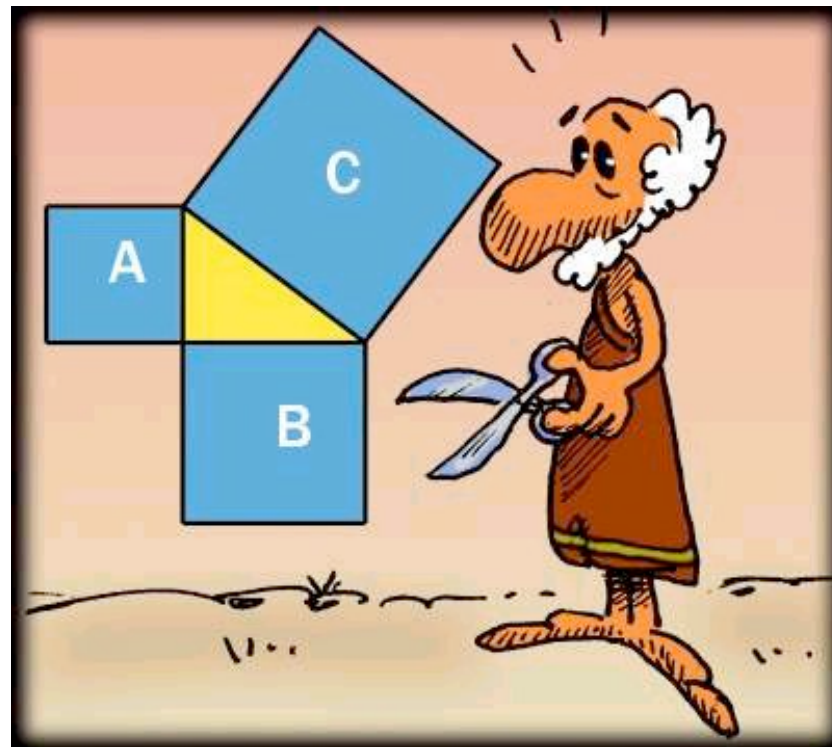
dove, nell'ultima frazione, il numeratore è una giustapposizione di cifre e al denominatore vi sono n cifre **nove**.

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

Il “Teorema di Pitagora” afferma che in OGNI triangolo rettangolo il quadrato costruito sull’ipotenusa è la somma dei due quadrati costruiti sui Cateti

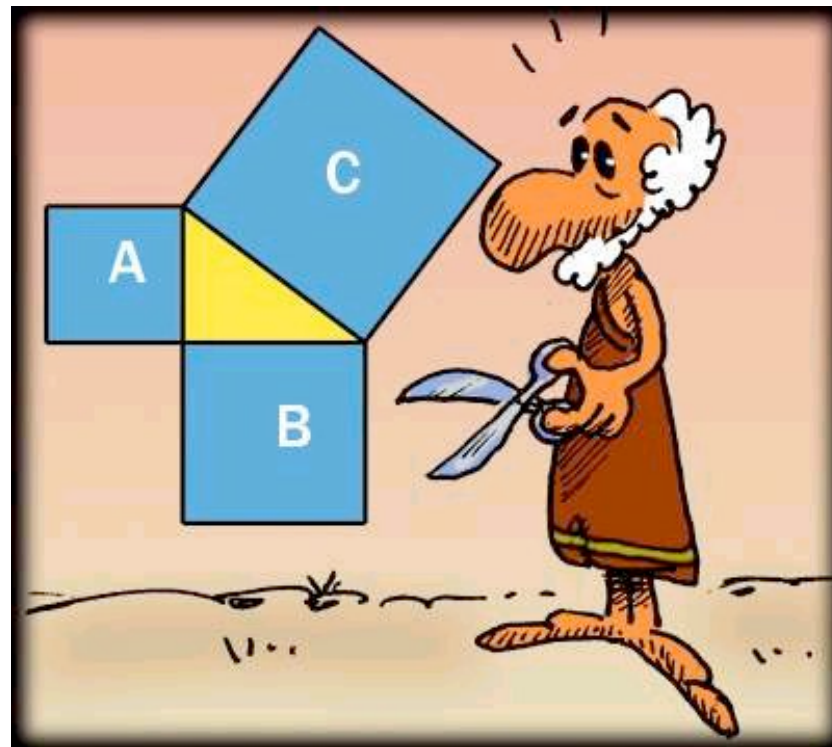


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

Il “Teorema di Pitagora” afferma che in OGNI triangolo rettangolo il quadrato costruito sull’ipotenusa è la somma dei due quadrati costruiti sui Cateti:



$$C^2 = A^2 + B^2$$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

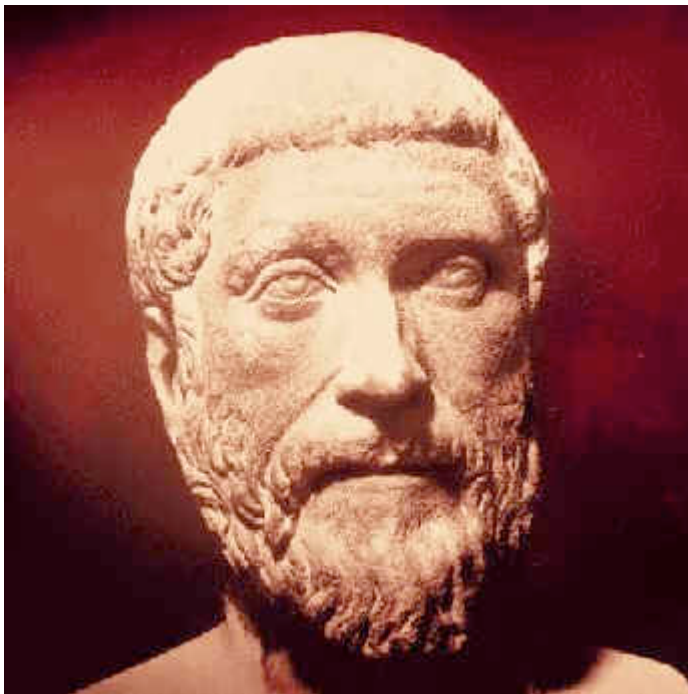
Il “Teorema di Pitagora” afferma che in OGNI triangolo rettangolo il quadrato costruito sull’ipotenusa è la somma dei due quadrati costruiti sui Cateti:

$$C^2 = A^2 + B^2$$

Questo è certamente vero per una particolare **Terna Pitagorica** formata da Numeri Interi

3, 4 e 5

Infatti 5 (il cui quadrato è 25) è l’ipotenusa di un triangolo rettangolo i cui cateti misurano rispettivamente 3 e 4 (i cui quadrati sono infatti 9 e 16)-



Pitagora di Samo

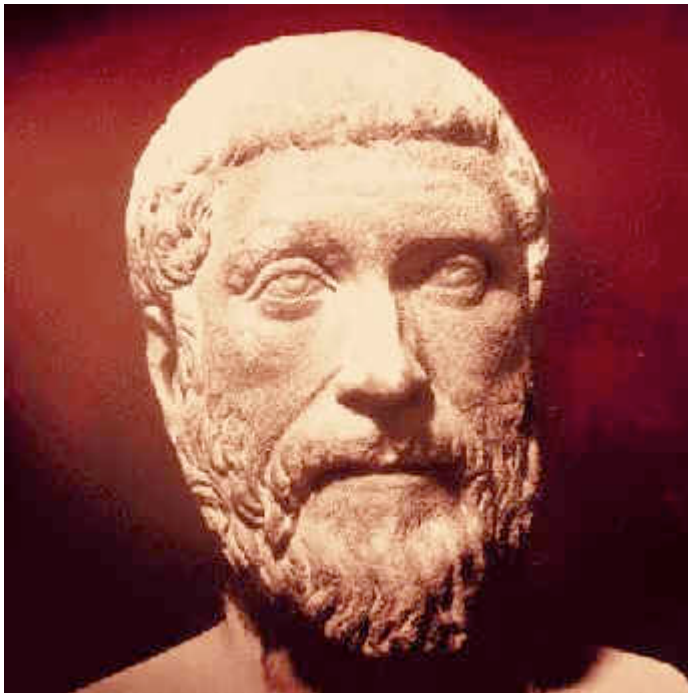
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

Il “Teorema di Pitagora” afferma che in OGNI triangolo rettangolo il quadrato costruito sull’ipotenusa è la somma dei due quadrati costruiti sui Cateti:

$$C^2 = A^2 + B^2$$



Pitagora di Samo



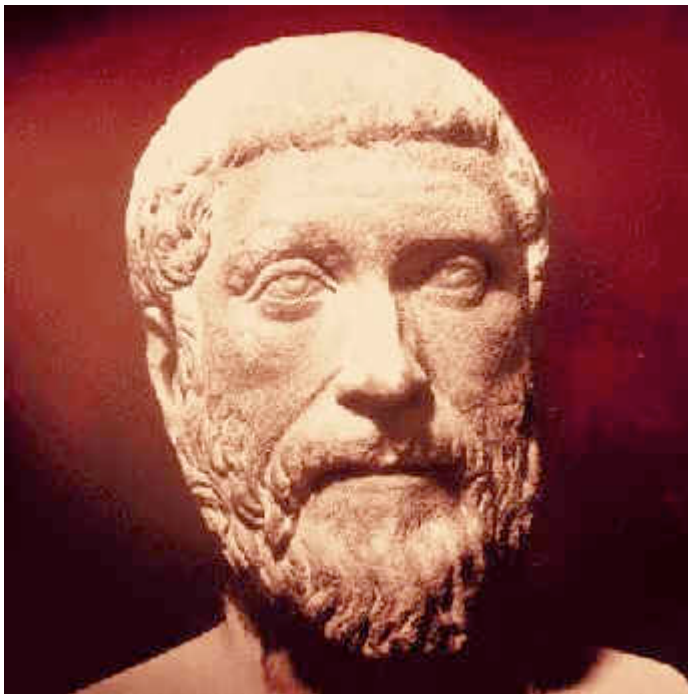
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

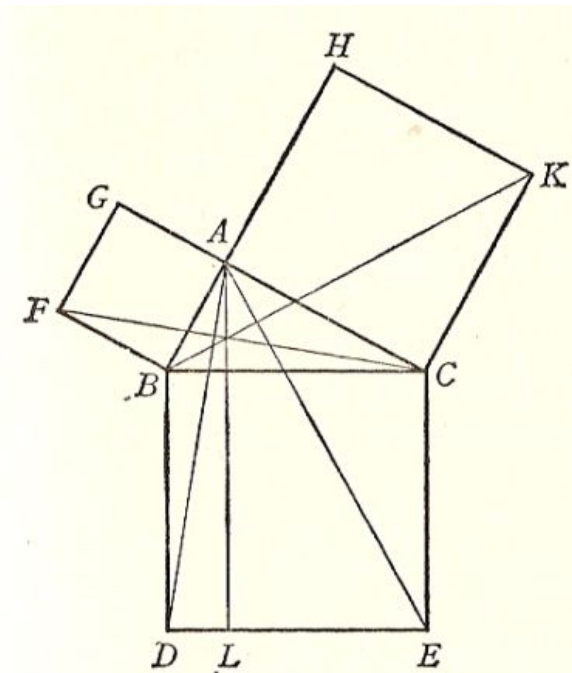
Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

Il “Teorema di Pitagora” afferma che in OGNI triangolo rettangolo il quadrato costruito sull’ipotenusa è la somma dei due quadrati costruiti sui Cateti:

$$C^2 = A^2 + B^2$$



Pitagora di Samo



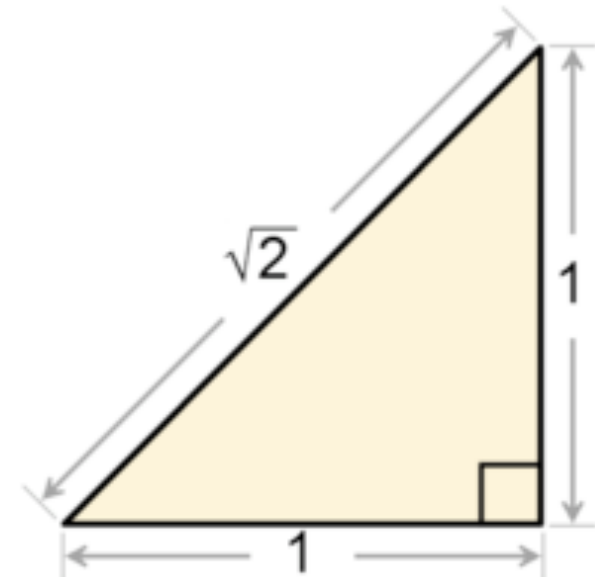
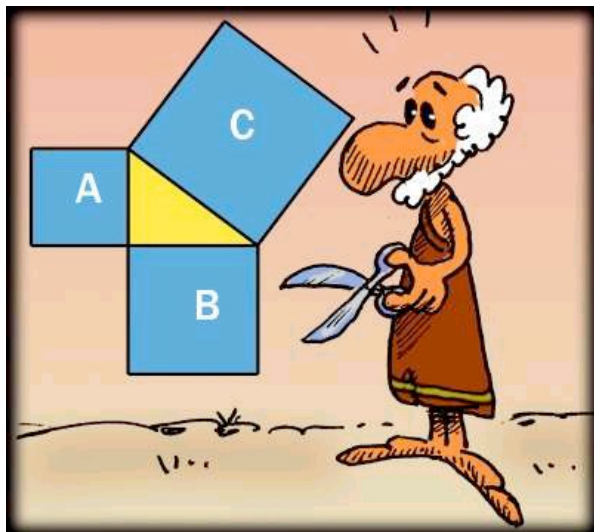
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

Dal “Teorema di Pitagora” segue, allora, che la diagonale e il lato di un quadrato sono tra loro incommensurabili. Detta d la diagonale si ha:

$$d^2 = 1^2 + 1^2 = 1 + 1 = 2$$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

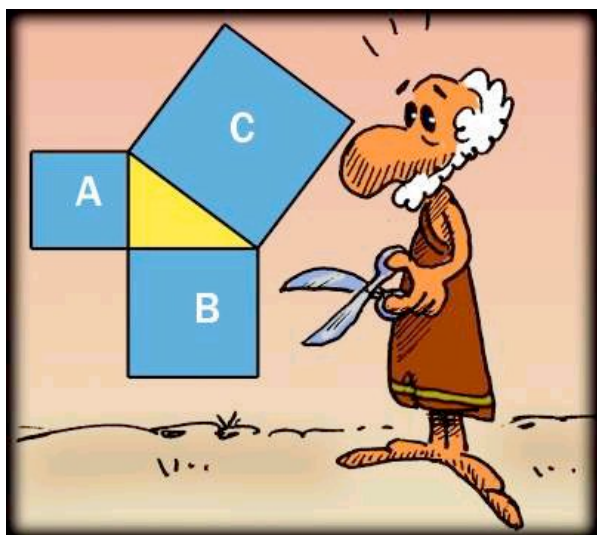
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

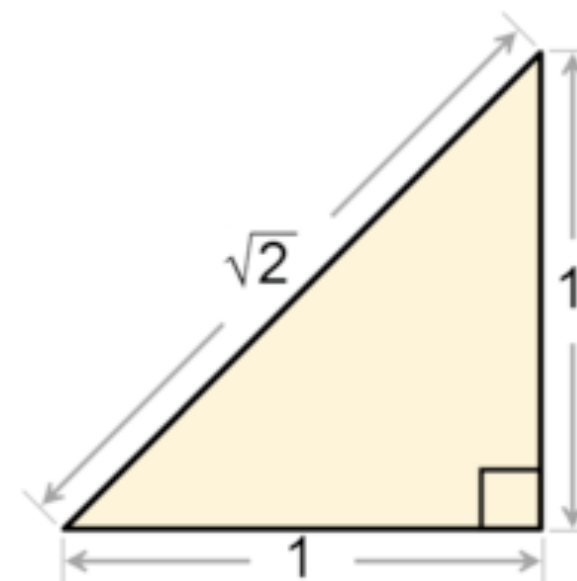
Dal “Teorema di Pitagora” segue, allora, che la diagonale e il lato di un quadrato sono tra loro incommensurabili. Detta d la diagonale si ha:

$$d^2 = 1^2 + 1^2 = 1 + 1 = 2$$

Se d è un Numero Razionale, allora esistono due Numeri Interi m ed n tali che



$$n^2 = 2m^2$$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

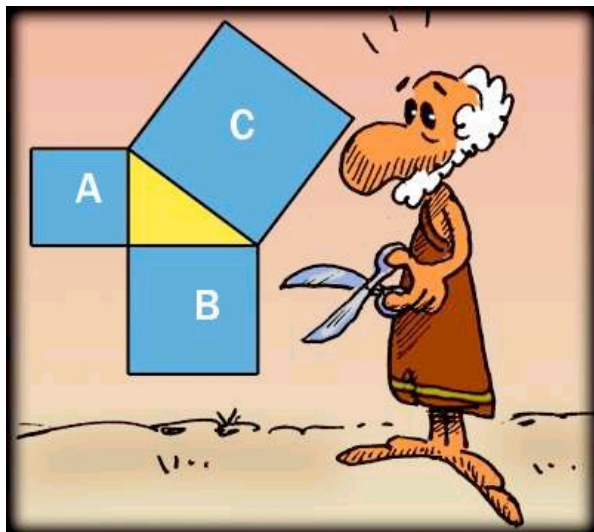
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Se è vera la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” e se la Retta Euclidea è priva di “lacune” la Geometria Euclidea ci dice che esistono grandezze (lineari) incommensurabili.

Dal “Teorema di Pitagora” segue, allora, che la diagonale e il lato di un quadrato sono tra loro incommensurabili. Detta d la diagonale si ha:

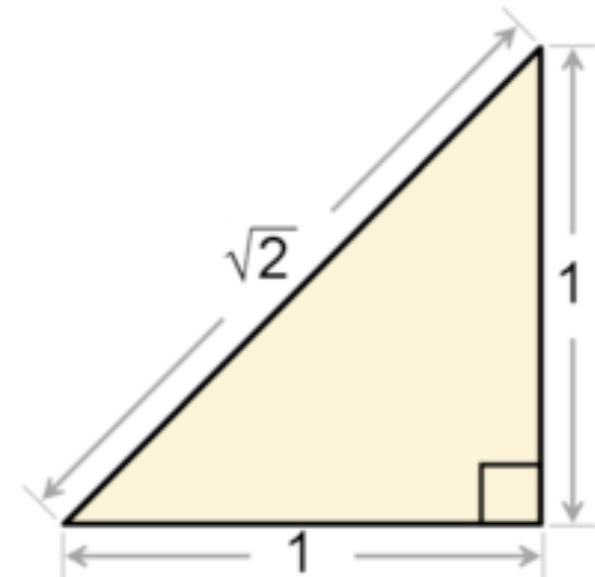
$$d^2 = 1^2 + 1^2 = 1 + 1 = 2$$

Se d è un Numero Razionale, allora esistono due Numeri Interi m ed n tali che



$$n^2 = 2m^2$$

Ma è facilissimo dimostrare che ciò non è possibile!

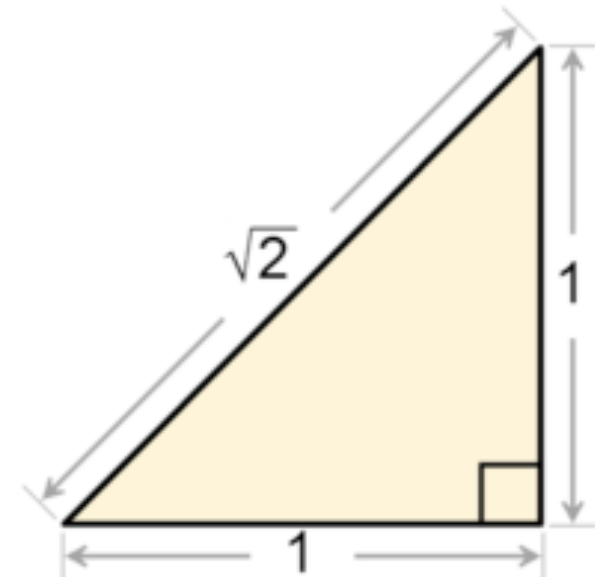
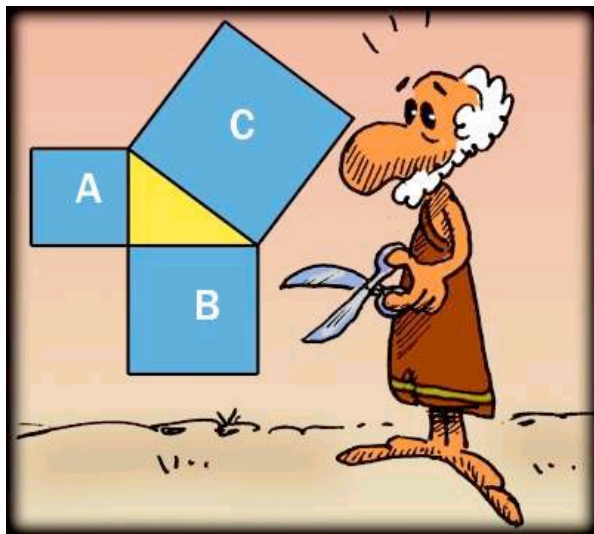


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

$$n^2 = 2m^2$$

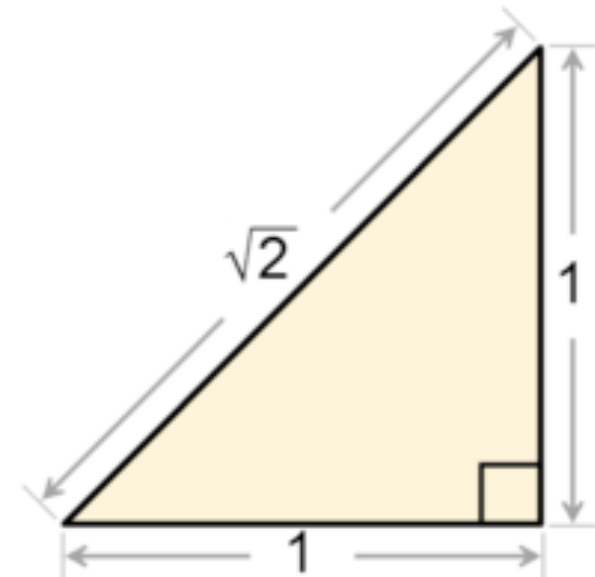
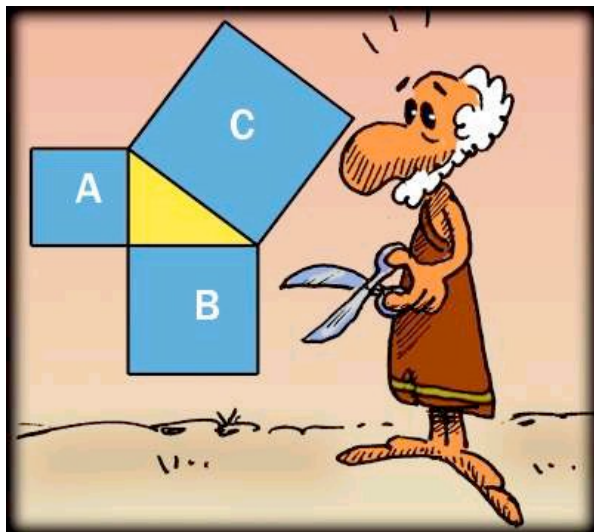
Infatti, se n è dispari il suo quadrato n^2 è anche dispari, mentre $2m^2$ è sicuramente un numero pari. Se, invece, n è pari, allora il suo quadrato n^2 (scomposto in fattori primi) contiene necessariamente un numero pari di fattori 2, mentre $2m^2$ (sia che m sia dispari sia che m sia pari) ne contiene necessariamente un numero dispari (perché il quadrato m^2 o non ne contiene nessuno o ne contiene un numero pari).



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Allora ne segue che la “Radice di Due” non è un Numero Razionale, ovvero non si può esprimere come rapporto di due Numeri Interi.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Allora ne segue che la “Radice di Due” non è un Numero Razionale, ovvero non si può esprimere come rapporto di due Numeri Interi.

Quindi, se essa viene scritta in forma di Numero Decimale, essa avrà una rappresentazione infinita del tipo

$$0,a_1a_2a_3\dots$$

dove la sequenza delle cifre decimali non presenta MAI una ripetizione periodica; ovvero non esiste alcun Numero Intero n per cui dopo l'ennesima cifra decimale a_n si ripeta indefinitamente la stessa sequenza di cifre precedenti

$$a_1a_2a_3\dots a_{n-2}a_{n-1}a_n$$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

Allora ne segue che la “Radice di Due” non è un Numero Razionale, ovvero non si può esprimere come rapporto di due Numeri Interi.

Quindi, se essa viene scritta in forma di Numero Decimale, essa avrà una rappresentazione infinita del tipo

$$0,a_1a_2a_3\dots$$

dove la sequenza delle cifre decimali non presenta MAI una ripetizione periodica; ovvero non esiste alcun Numero Intero n per cui dopo l'ennesima cifra decimale a_n si ripeta indefinitamente la stessa sequenza di cifre precedenti

$$a_1a_2a_3\dots a_{n-2}a_{n-1}a_n$$

In altre parole, il nostro Numero NON ammette una forma del tipo

$$0, a_1a_2a_3\dots a_{n-2}a_{n-1}a_n a_1a_2a_3\dots a_{n-2}a_{n-1}a_n a_1a_2a_3\dots a_{n-2}a_{n-1}a_n \dots$$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

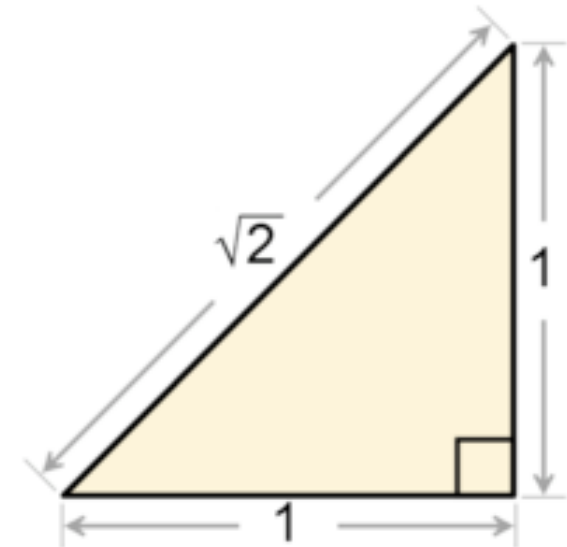
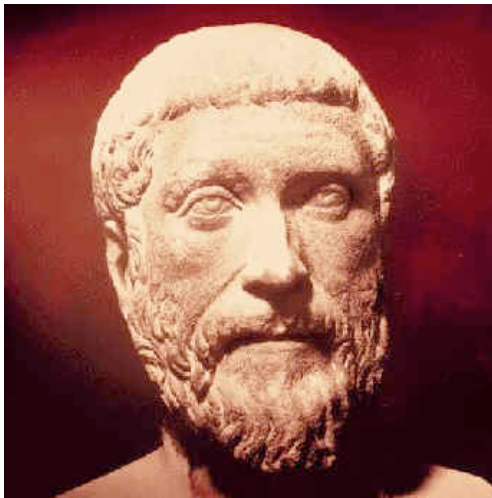
Allora ne segue che la “Radice di Due” non è un Numero Razionale, ovvero non si può esprimere come rapporto di due Numeri Interi.

Quindi, se essa viene scritta in forma di Numero Decimale, essa avrà una rappresentazione infinita del tipo

$$0,a_1a_2a_3\dots$$

dove la sequenza delle cifre decimali non presenta MAI una ripetizione periodica; più precisamente

$$\sqrt{2} = 0,14142\dots$$



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

□ La “Sezione Aurea”

Sia dia un segmento AB e lo si divida in due parti AC e CB , in modo che tutto il segmento AB contenga la parte più grande AC tante volte quanto la parte più grande AC contiene la parte più piccola CB

$$AB : AC = AC : CB$$

$$AB = AC + CB$$

implica

$$(AC + CB) : AC = AC : CB$$



$$(AC + CB)/AC = AC/CB$$

ponendo $AC/CB = \Phi$

$$1 + 1/\Phi = \Phi$$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

□ La “Sezione Aurea”

Sia dia un segmento AB e lo si divida in due parti AC e CB , in modo che tutto il segmento AB contenga la parte più grande AC tante volte quanto la parte più grande AC contiene la parte più piccola CB

□ Questo “Rapporto Armonico” fu chiamato “Sezione Aurea” da Luca Pacioli

$$AB : AC = AC : CB$$

$$AB = AC + CB$$

implica

$$(AC + CB) : AC = AC : CB$$



$$(AC + CB)/AC = AC/CB$$

ponendo $AC/CB = \Phi$

$$1 + 1/\Phi = \Phi$$

Luca Pacioli disse: la Sezione Aurea è “Divina Proportione”

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

□ La “Sezione Aurea”

Sia dia un segmento AB e lo si divida in due parti AC e CB , in modo che tutto il segmento AB contenga la parte più grande AC tante volte quanto la parte più grande AC contiene la parte più piccola CB

□ Questo “Rapporto Armonico” fu chiamato “Sezione Aurea” da Luca Pacioli

$$AB : AC = AC : CB$$

$$AB = AC + CB$$

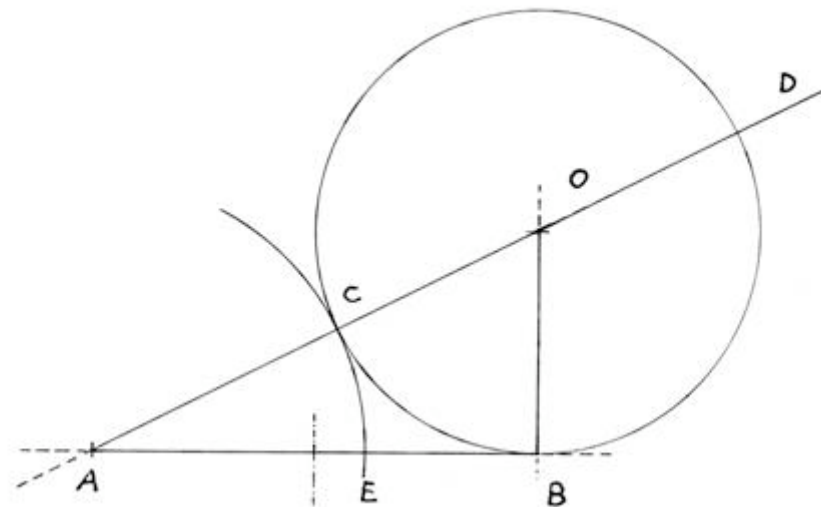
implica

$$(AC + CB) : AC = AC : CB$$

$$(AC + CB)/AC = AC/CB$$

ponendo $AC/CB = \Phi$

$$1 + 1/\Phi = \Phi \quad \implies \quad \Phi = (1 + \sqrt{5})/2$$





MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

□ La “Sezione Aurea”

Sia dia un segmento AB e lo si divida in due parti AC e CB , in modo che tutto il segmento AB contenga la parte più grande AC tante volte quanto la parte più grande AC contiene la parte più piccola CB

□ Questo “Rapporto Armonico” fu chiamato “Sezione Aurea” da Luca Pacioli

$$AB : AC = AC : CB$$

$$AB = AC + CB$$

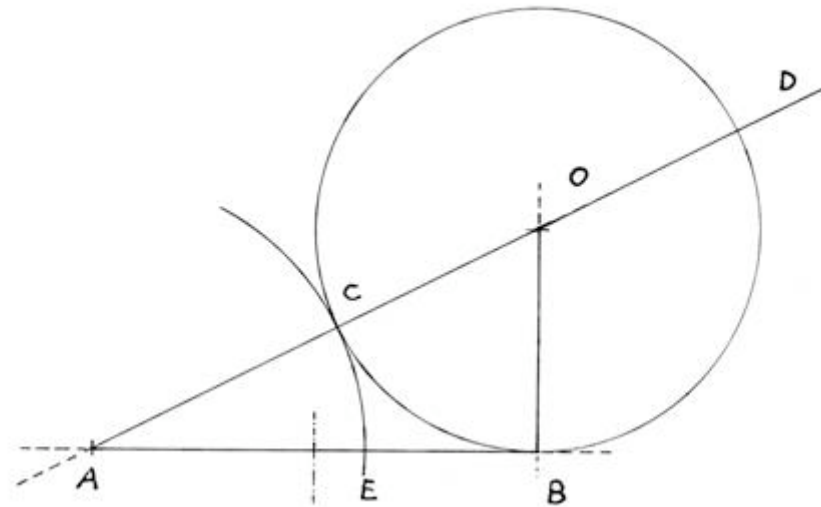
implica

$$(AC + CB) : AC = AC : CB$$

$$(AC + CB)/AC = AC/CB$$

ponendo $AC/CB = \Phi$

$$1 + 1/\Phi = \Phi \quad \implies \quad \Phi = (1 + \sqrt{5})/2 = 1,6718.....$$

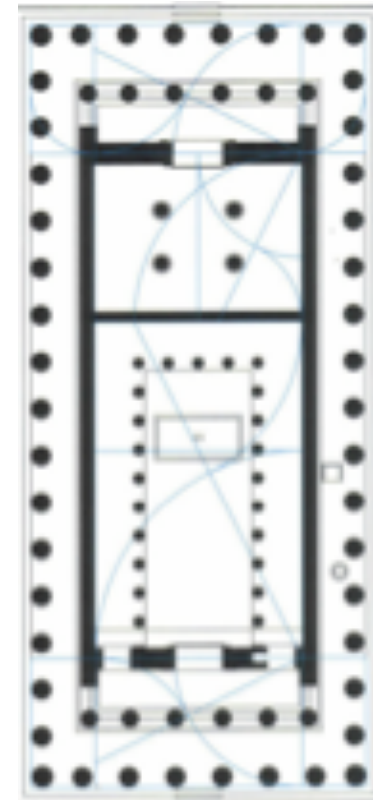


Anche la sezione Aurea è un Numero Irrazionale

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Commensurabile e Incommensurabile

- La “Sezione Aurea” nell’Arte
... e quale canone di bellezza non è difficile incontrarla nelle opere d’Arte antica, soprattutto in Architettura.



Atene (Grecia) - Il Partenone

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Torniamo, quindi, al problema da cui eravamo partiti...

Il problema risiede nell'effettiva possibilità di "misurare" all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Torniamo, quindi, al problema da cui eravamo partiti...

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

La **“soluzione matematica” a questo problema** – in sostanza la stessa che soggiace alla confutazione del “Paradosso di Zenone” conseguente all'accettazione di un modello che accetta la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” – **afferma che questo è, almeno teoricamente, possibile. Pur tenendo conto del fatto che gli strumenti sono imprecisi e rendono sempre “Misure Approssimate”**

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

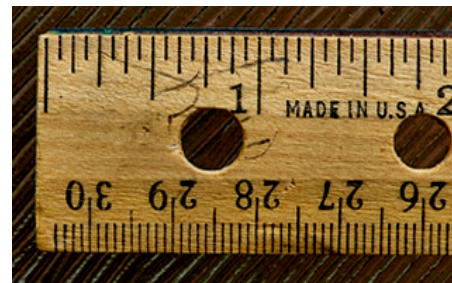
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Torniamo, quindi, al problema da cui eravamo partiti...

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di “misurare” all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

La **“soluzione matematica” a questo problema** – in sostanza la stessa che soggiace alla confutazione del “Paradosso di Zenone” conseguente all'accettazione di un modello che accetta la cosiddetta “Ipotesi del Continuo” – **afferma che questo è, almeno teoricamente, possibile. Pur tenendo conto del fatto che gli strumenti sono imprecisi e rendono sempre “Misure Approssimate”**

Questo riguarda sia la misurazione dello **Spazio**,



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

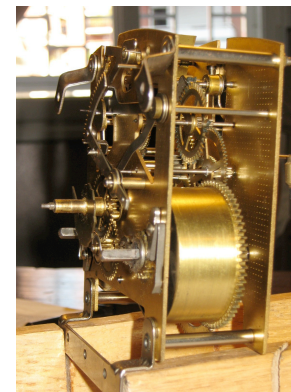
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Torniamo, quindi, al problema da cui eravamo partiti...

Il problema risiede nell'effettiva **possibilità di "misurare" all'infinito e di suddividere, all'infinito, un'unità di misura in sotto-unità di misura sempre più piccole.**

La **"soluzione matematica" a questo problema** – in sostanza la stessa che soggiace alla confutazione del "Paradosso di Zenone" conseguente all'accettazione di un modello che accetta la cosiddetta "Ipotesi del Continuo" – **afferma che questo è, almeno teoricamente, possibile. Pur tenendo conto del fatto che gli strumenti sono imprecisi e rendono sempre "Misure Approssimate"**

Questo riguarda sia la misurazione dello **Spazio**, sia la misurazione del **Tempo**

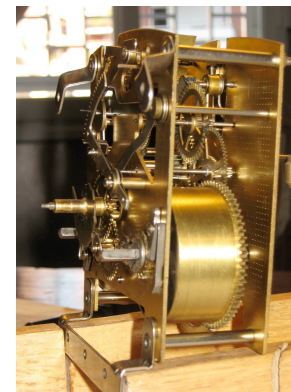
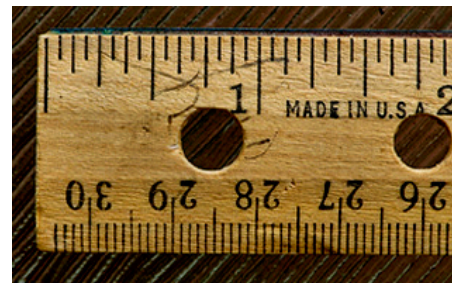


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fische di Spazio e di Tempo

Fino al XIX Secolo compreso la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” separate.

La misurazione dello **Spazio** e la la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti separati: Metri (corde, righelli, sestanti, etc..) per misurare lo Spazio e Orologi (orologi “naturali” di tipo cosmico, Clessidre, Orologi Meccanici, Orologi Atomici, etc..)

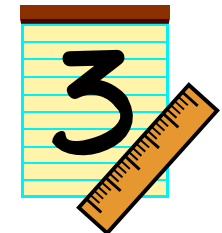
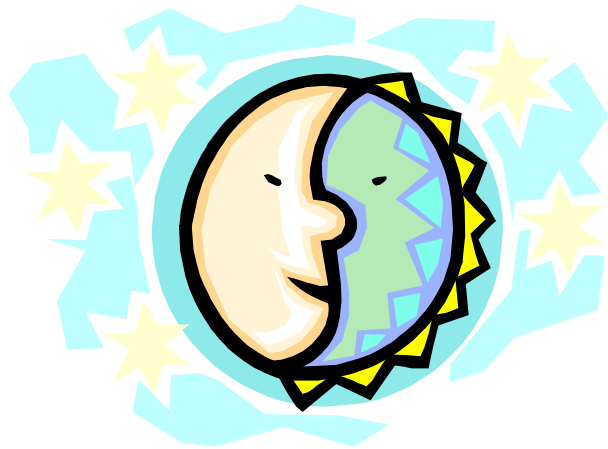


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- Sin dagli albori della civiltà l'Umanità ha basato la misurazione del Tempo basandosi sull'osservazione del Cosmo e, in particolare, sui cicli fondamentali della Natura

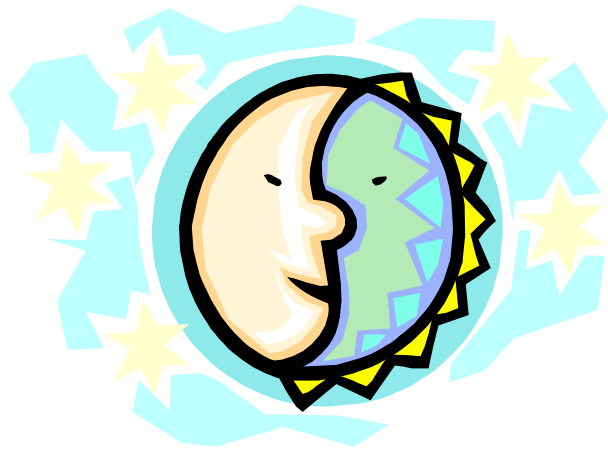


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- ❑ I cicli fondamentali della Natura sono **Tre**: il **Ciclo Diurno** (la cui unità di tempo è il “**Giorno**”, che oggi sappiamo corrispondere alla rotazione della Terra su sé stessa, ma che – nella “visione geocentrica” - gli Antichi attribuivano invece alla rotazione del Sole intorno alla Terra);

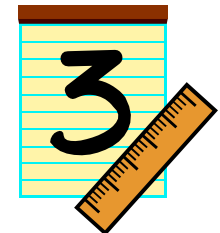
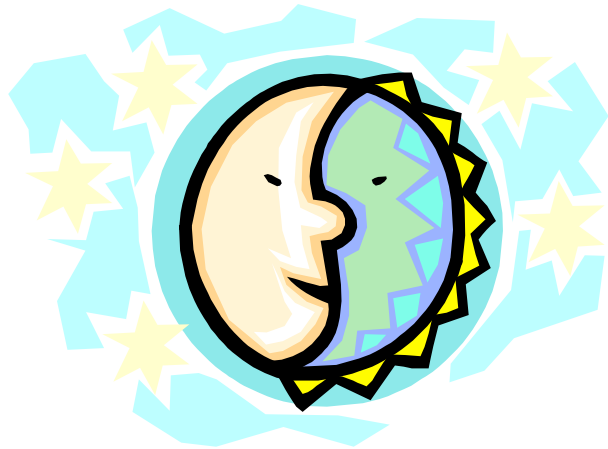


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- ❑ I cicli fondamentali della Natura sono **Tre**: il **Ciclo Diurno** (la cui unità di tempo è il “**Giorno**”, che oggi sappiamo corrispondere alla rotazione della Terra su sé stessa, ma che – nella “visione geocentrica” - gli Antichi attribuivano invece alla rotazione del Sole intorno alla Terra); il **Ciclo Lunare** (che definisce il “**Mese Lunare**”, periodo della rotazione della Luna attorno alla Terra)



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- I cicli fondamentali della Natura sono **Tre**: il **Ciclo Diurno** (la cui unità di tempo è il “**Giorno**”, che oggi sappiamo corrispondere alla rotazione della Terra su sé stessa, ma che – nella “visione geocentrica” - gli Antichi attribuivano invece alla rotazione del Sole intorno alla Terra); il **Ciclo Lunare** (che definisce il “**Mese Lunare**”, periodo della rotazione della Luna attorno alla Terra); e il **Ciclo Annuale** (detto “**Anno**”, ovvero la periodicità dei cicli stagionali, che oggi sappiamo corrispondere al moto di rotazione della Terra intorno al Sole).

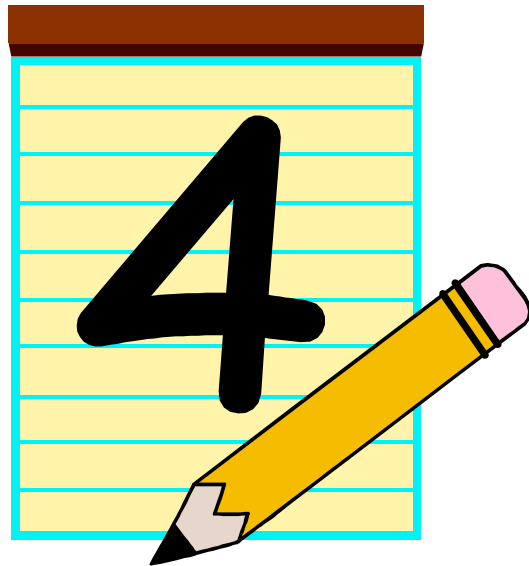
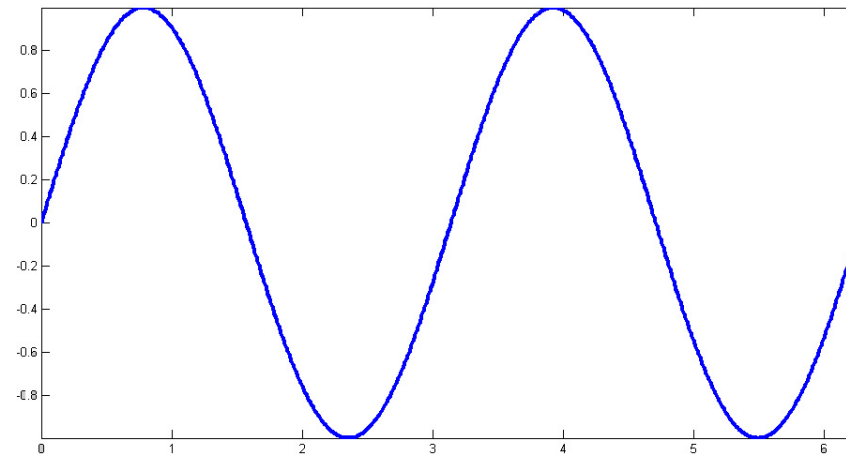


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo

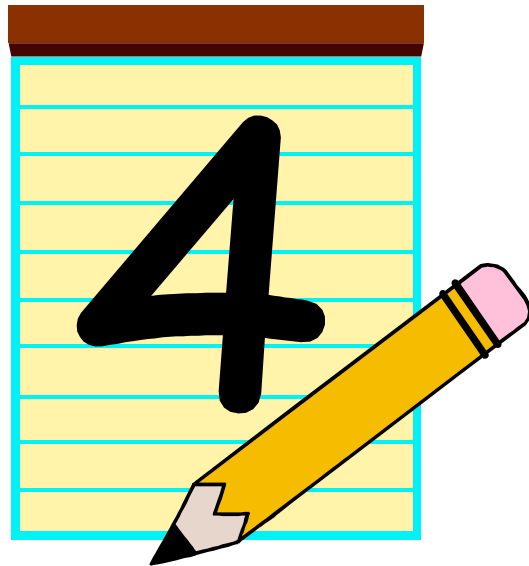


- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente.

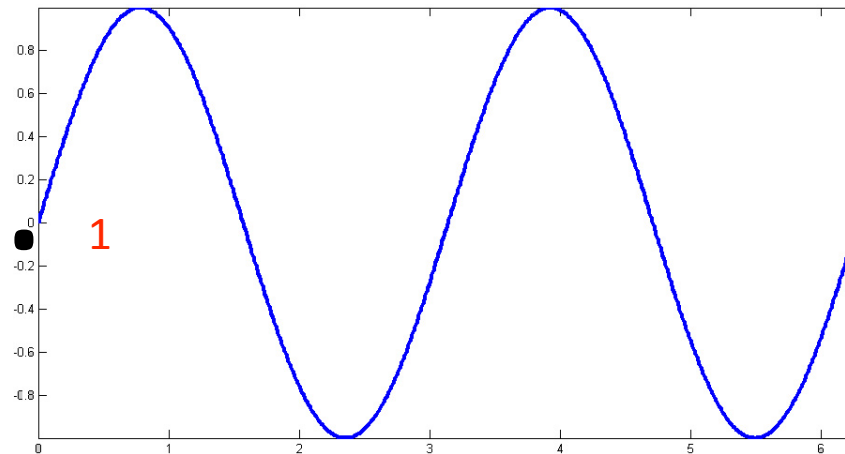


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente.

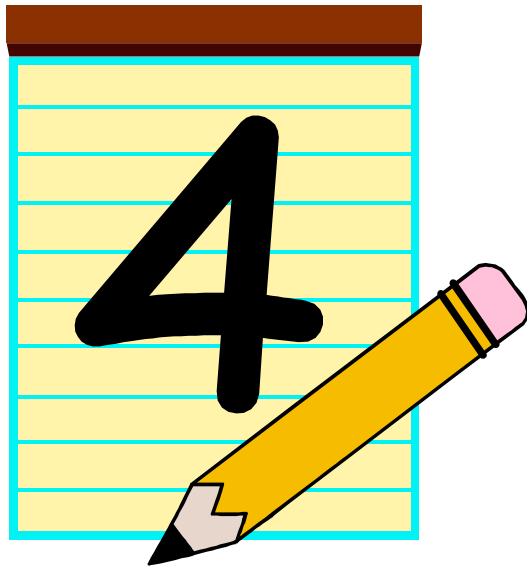
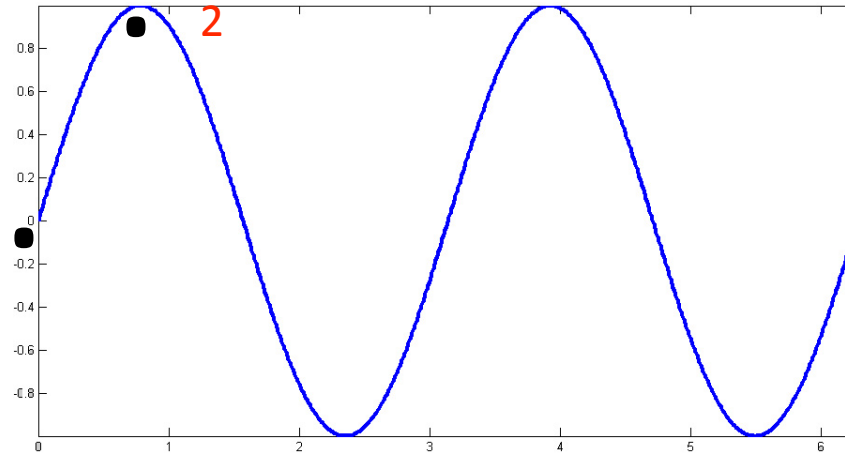


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo

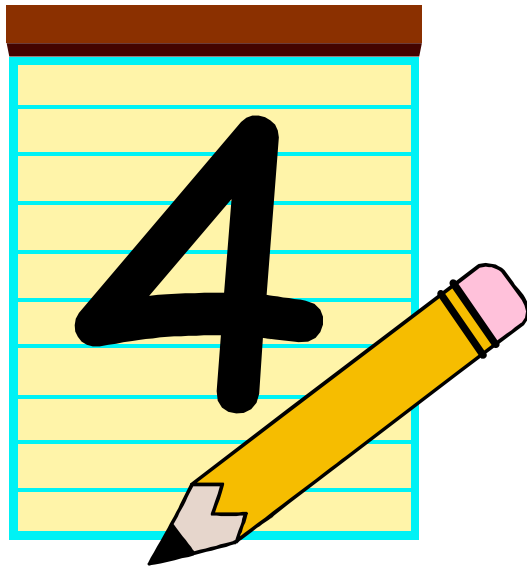


- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente.

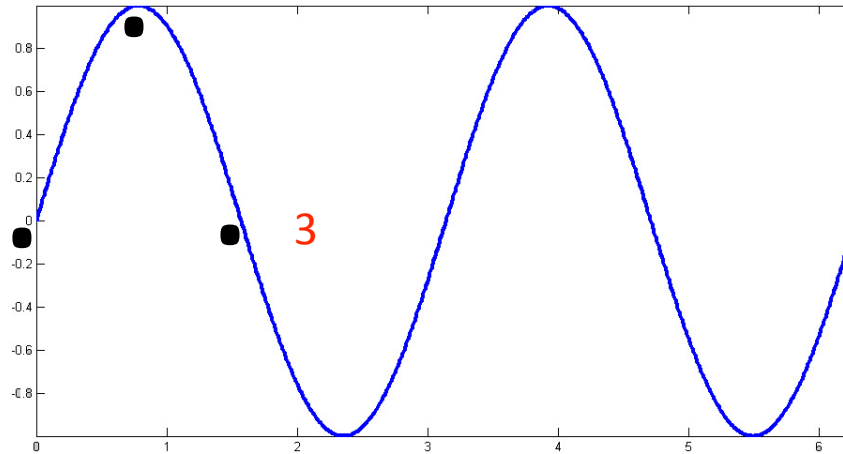


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo

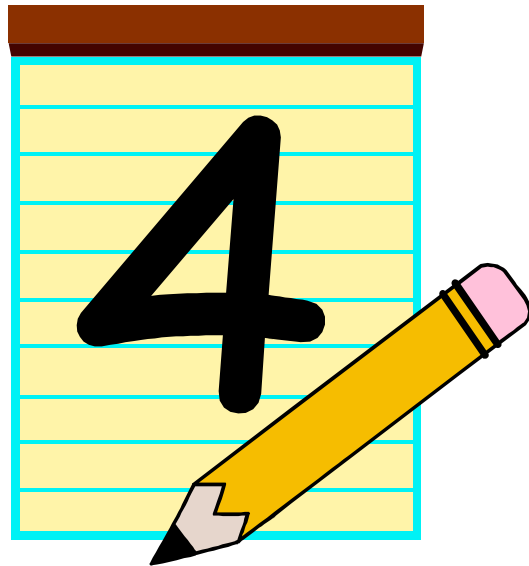


- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente.

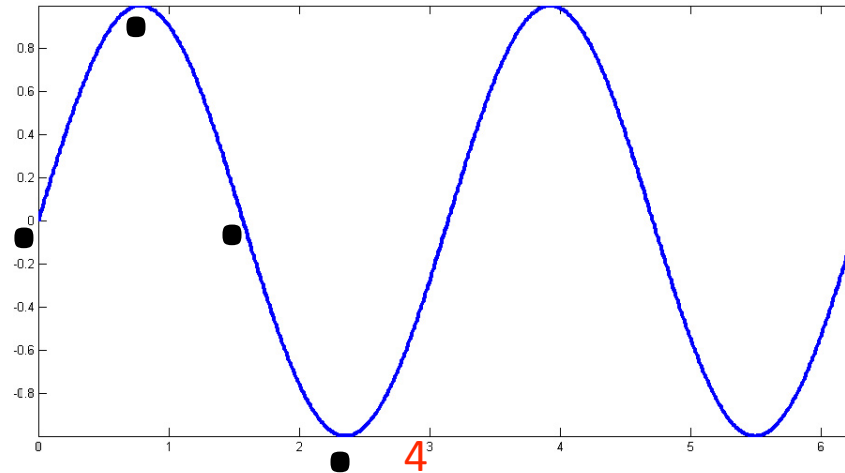


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo

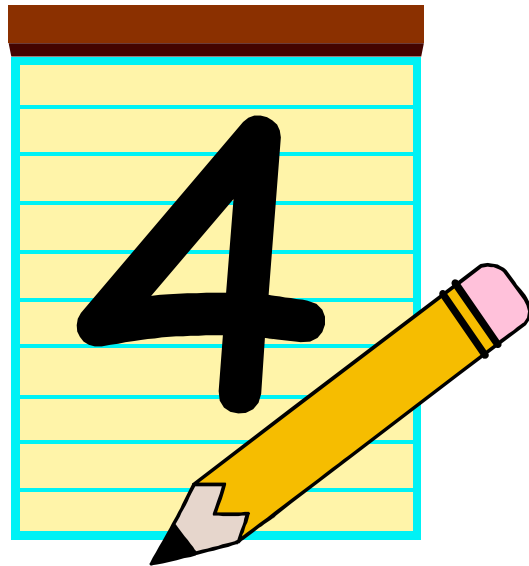


- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente.

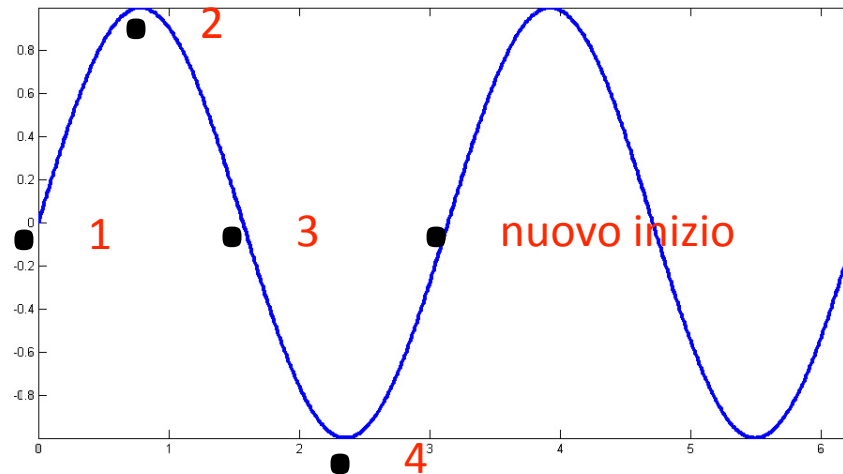


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo

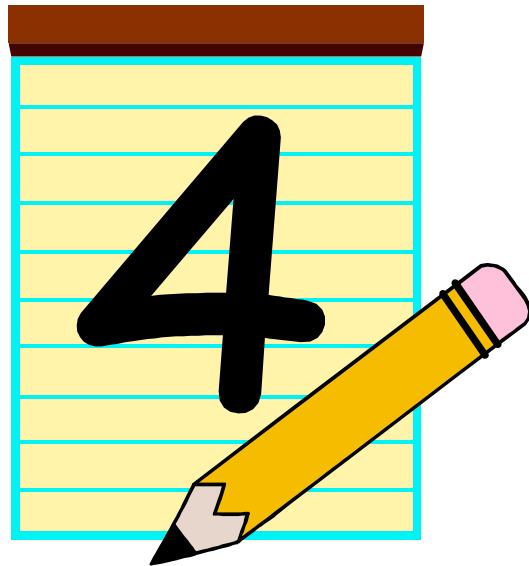


- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- Compare quindi – innanzitutto – il Numero **Quattro**, perché ogni fenomeno ciclico e periodico è regolarmente suddiviso in quattro parti esattamente. Dal punto di inizio al culmine del ciclo (lo “*Zenith*”, il punto posto più in alto), da questo culmine al ritorno ad un nuovo punto posto sullo stesso piano del punto di inizio (la metà del ciclo), da questo terzo punto al punto più basso (il “*Nadir*”, opposto allo Zenith) e da questo, infine, ad un nuovo inizio nel medesimo punto di partenza. Un Quattro che si ritrova nell’alternanza delle quattro **Stagioni** annuali, nelle quattro **Fasi Lunari**, nell’alternanza di Giorno e Notte, con Zenith al **Mezzogiorno** e Nadir a **Mezzanotte**.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo



- Un conto approssimativo (anche se errato) portava a riconoscere che nel corso di un ciclo annuale cadono **Dodici** cicli lunari (in realtà sono poco meno di tredici...) e che nel corso di un ciclo lunare cadono all'incirca **Ventotto** cicli diurni (anche qui sono un po' meno di ventinove). Di qui la nascita dei “*Calendari Lunari*” – con mesi di ventotto giorni, di cui resta traccia nel solo mese di Febbraio. La periodicità delle quattro fasi lunari conduce quindi, per divisione di ventotto in quattro parti uguali, alla Settimana (periodo di **Sette** giorni), così come i dodici mesi conducono alla suddivisione in altrettante parti della **Sfera Celeste**, cioè allo **Zodiaco**.



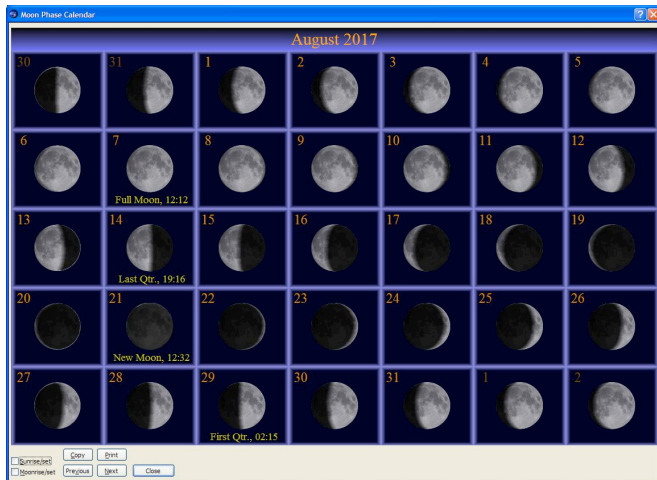
12

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Astronomiche di Tempo

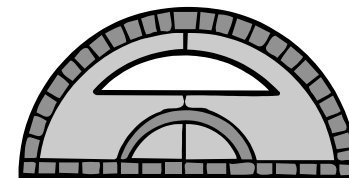


- Ancora più approssimativo il conto che porta a riconoscere l'esistenza di **Trecentosessanta** giorni nel Ciclo Annuale, da cui la divisione dell'*angolo giro* in altrettante parti; l'arco di un grado – quindi – dovrebbe corrispondere al percorso fatto dal Sole sulla Sfera Celeste nello scorrere di un giorno..... I primi "*Calendari Solari*" degli Egiziani furono quindi di 360 giorni (quelli Aztechi lo rimasero per lungo tempo), con dodici "*Mesi Solari*" convenzionali, di trenta giorni ciascuno. Ben presto rimpiazzati dal meno accattivante 365, con l'aggiunta di cinque giorni all'Anno, distribuiti variamente sui mesi (lasciandone comunque uno di ventotto) – conducendo così alla struttura calendariale che tutt'oggi utilizziamo nel mondo occidentale.



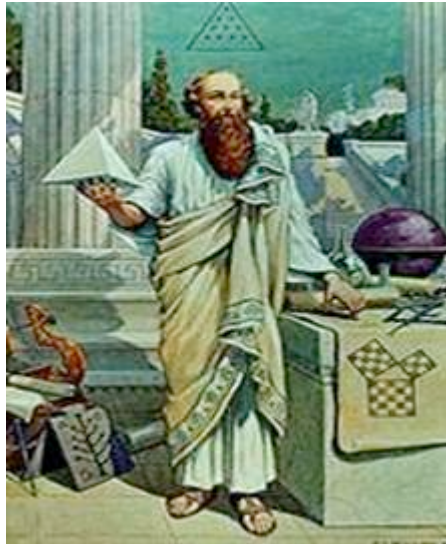
28

360



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

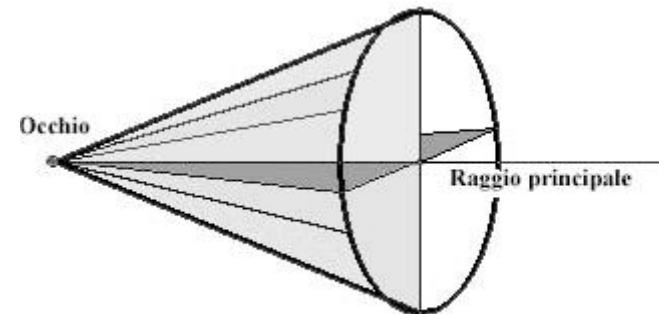
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio



- Euclide scrive anche un famoso trattato di **Ottica**. Si tratta di un libro di grande modernità, che l'analisi epistemologica recente vuole, in un certo senso, anticipatore del più moderno concetto di Geometria Proiettiva. In esso Euclide si pone il problema di come vengono realmente viste le cose; introduce anche il concetto di **cono di visione**, nel quale risolve il paradosso delle *"parallele che si vedono convergere"*.



Euclide di Gela



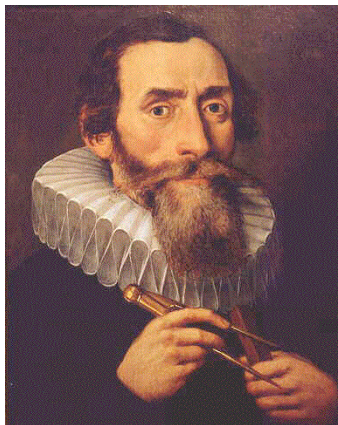
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Fino al XIX Secolo compreso la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” separate.

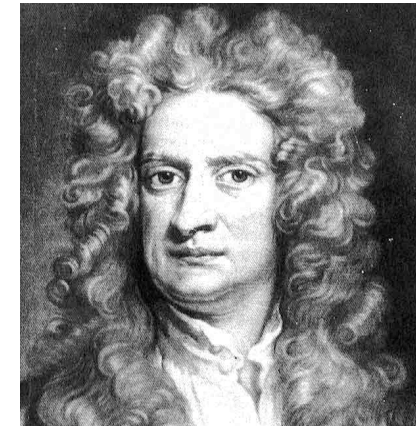
La misurazione dello **Spazio** e la la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti separati: Metri (corde, righelli, sestanti, etc..) per misurare lo Spazio e Orologi (orologi “naturalì” di tipo cosmico, Clessidre, Orologi Meccanici, Orologi Atomici, etc..)

J. Kepler



Euclide

I. Newton



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Fino al XIX Secolo compreso la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” separate.

La misurazione dello **Spazio** e la la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti separati: Metri (corde, righelli, sestanti, etc..) per misurare lo Spazio e Orologi (orologi “naturali” di tipo cosmico, Clessidre, Orologi Meccanici, Orologi Atomici, etc..)



Galileo Galilei (XVI Secolo, “Il Saggiatore”)

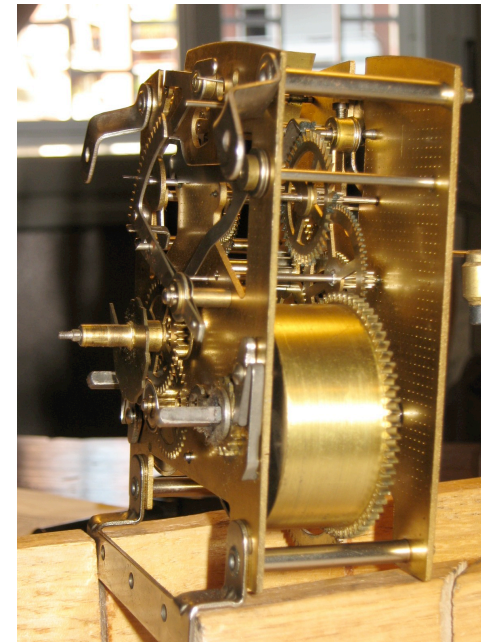
Questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non si impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, né quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure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

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fische di Spazio e di Tempo

Dopo il XIX Secolo la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” congiunte.

La misurazione dello **Spazio** e la la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti solo apparentemente separati: Metri e Orologi divengono aspetti di una stessa esigenza di misurazione, che secondo la “Nuova Fisica” del XX Secolo passa attraverso l’uso di misurazioni dirette e indirette fatte utilizzando come strumento le Onde Elettromagnetiche (in particolare, la **Luce**)



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Dopo il XIX Secolo la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” congiunte.

La misurazione dello **Spazio** e la la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti solo apparentemente separati: Metri e Orologi divengono aspetti di una stessa esigenza di misurazione, che secondo la “Nuova Fisica” del XX Secolo passa attraverso l’uso di misurazioni dirette e indirette fatte utilizzando come strumento le Onde Elettromagnetiche (in particolare, la **Luce**)



K. F. Gauss
(1827, “Disquisitiones
supra Superficies Curvas”)

$$\chi = \frac{1}{2\pi} \int R$$

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Dopo il XIX Secolo la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” congiunte.

La misurazione dello **Spazio** e la la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti solo apparentemente separati: Metri e Orologi divengono aspetti di una stessa esigenza di misurazione, che secondo la “Nuova Fisica” del XX Secolo passa attraverso l’uso di misurazioni dirette e indirette fatte utilizzando come strumento le Onde Elettromagnetiche (in particolare, la **Luce**)



B. Riemann (1854, “Sulle Ipotesi che Giacciono alla Base della Geometria”, pubblicato postumo nel 1866)

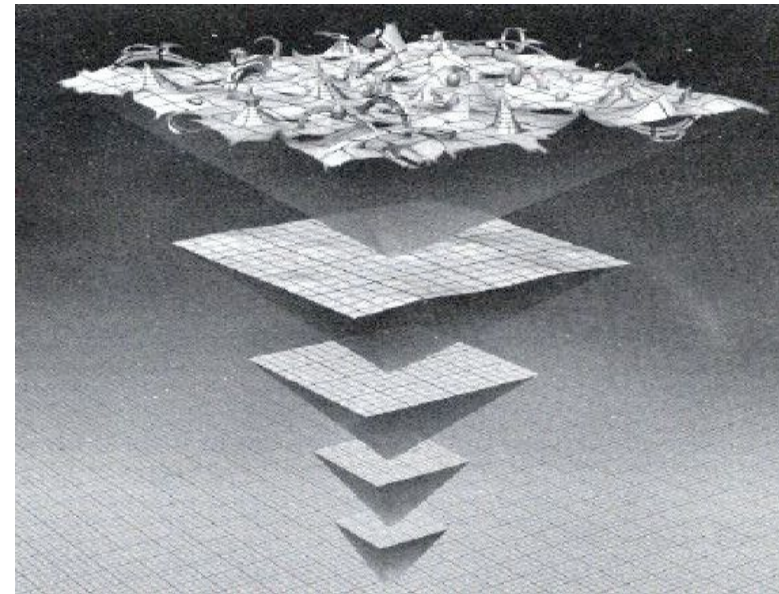
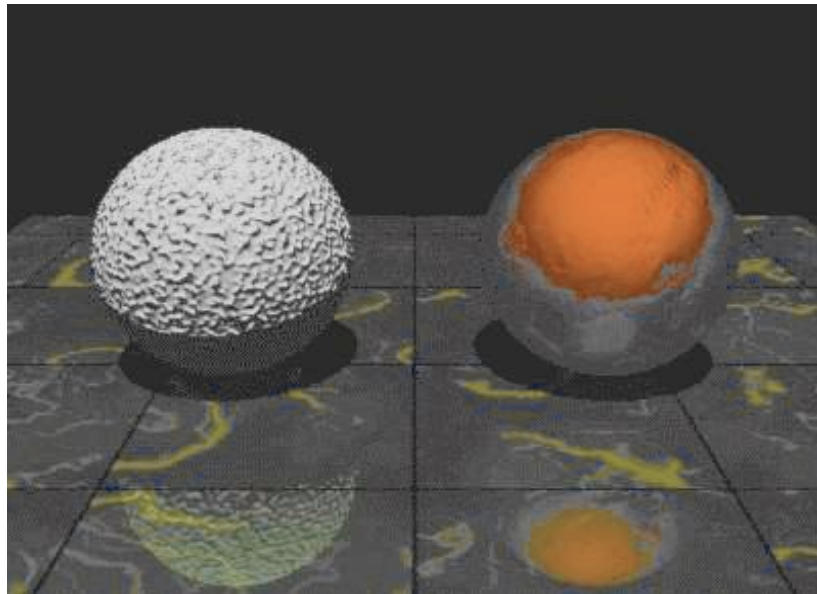
If the independence of bodies from position does not exist, we cannot draw conclusions from metric relations of the great to those of the infinitely small; in that case the curvature at each point may have an arbitrary value in three directions, provided that the total curvature of every measurable portion of space does not differ sensibly from zero [...] The question of the validity of the hypotheses of geometry in the infinitely small is bound up with the question of the ground of the metric relations of space.

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

Dopo il XIX Secolo la Fisica è stata dominata da una visione in cui Spazio e Tempo sono entità “filosoficamente” e “fisicamente” congiunte.

La misurazione dello **Spazio** e la misurazione del **Tempo** vengono fatte utilizzando strumenti solo apparentemente separati: Metri e Orologi divengono aspetti di una stessa esigenza di misurazione, che secondo la “Nuova Fisica” del XX Secolo passa attraverso l’uso di misurazioni dirette e indirette fatte utilizzando come strumento le Onde Elettromagnetiche (in particolare, la **Luce**)

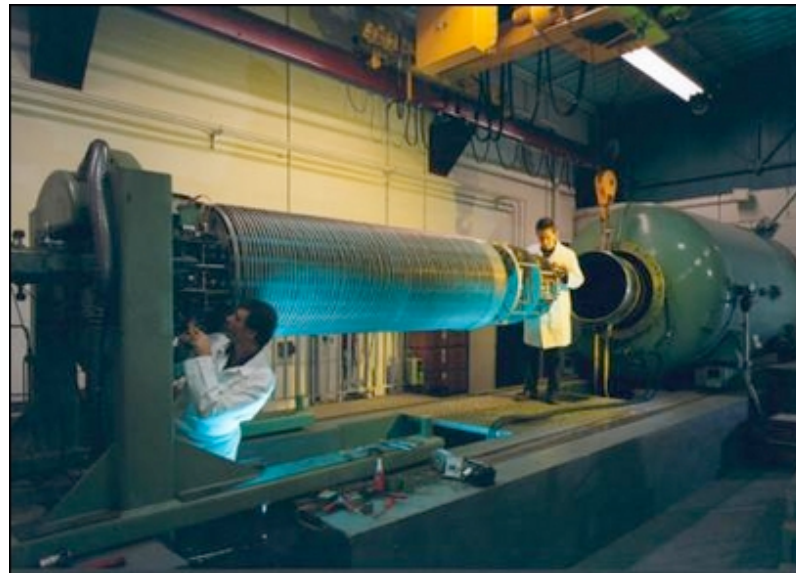


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo



1905 Albert Einstein pubblica la sua **Teoria della Relatività Speciale (RS)**. Nella RS Spazio e Tempo risultano fusi in un'unica entità (lo SpazioTempo di Minkowski), la cui struttura geometrica è dettata dall'esistenza di **una costante fisica "assoluta": la velocità della Luce nel vuoto, indicata comunemente con la lettera c .**

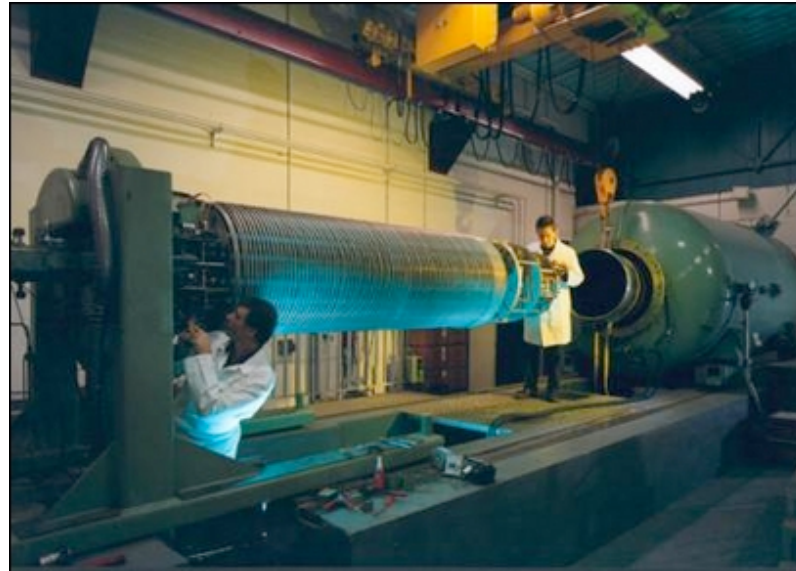


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fische di Spazio e di Tempo



1905 Albert Einstein pubblica la sua **Teoria della Relatività Speciale (RS)**. **L'esistenza di una "velocità assoluta" indipendente dalla scelta dell'osservatore e della sorgente fa sì che esista un rapporto assoluto tra le misure (a priori indipendenti nella Fisica precedente) di Spazio e di Tempo.**

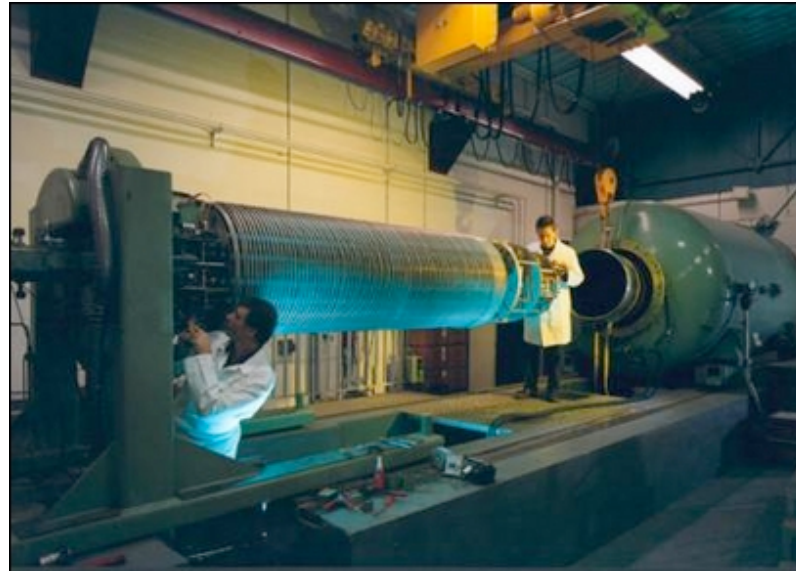


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo



1905 Albert Einstein pubblica la sua **Teoria della Relatività Speciale (RS)**. **L'esistenza di una "velocità assoluta" indipendente dalla scelta dell'osservatore e della sorgente fa sì che esista un rapporto assoluto tra le misure (a priori indipendenti nella Fisica precedente) di Spazio e di Tempo. Orologi e Righelli serviranno, contemporaneamente, come strumenti di misura del Tempo e/o dello Spazio.**

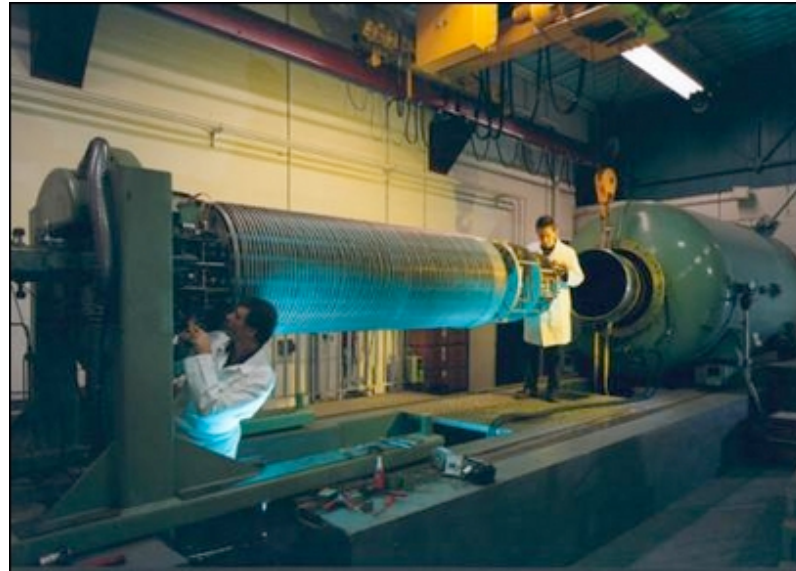


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo

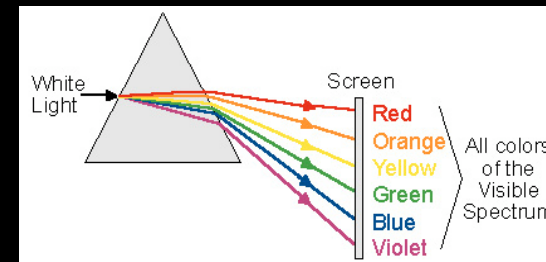
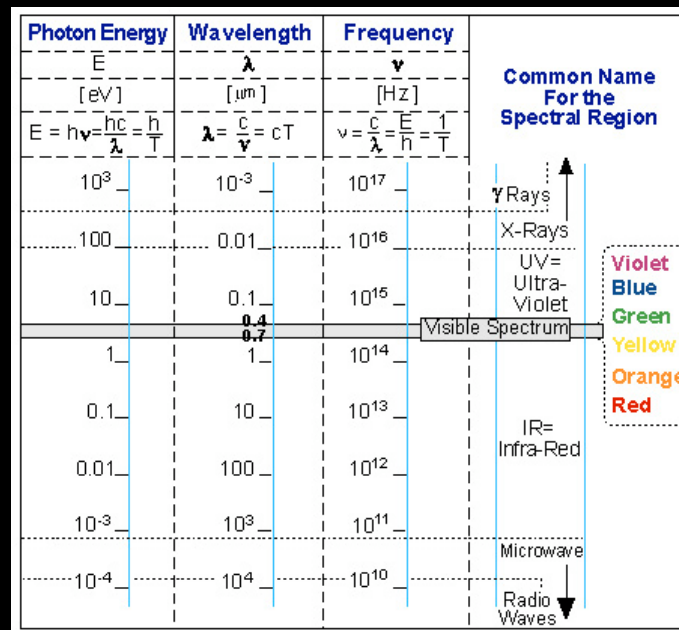


1905 Albert Einstein pubblica la sua **Teoria della Relatività Speciale (RS)**. **In questa nuova Teoria, quindi, un ruolo privilegiato spetta al Campo Elettromagnetico. Le Onde con cui esso si propaga – oppure i “Fotoni” che ne costituiscono l’aspetto corpuscolare – divengono, come del resto avviene con i moderni strumenti di misura, i veicoli principali ed in certo senso unici di ogni possibile misurazione fisica.**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Lo spettro dell'energia radiante viene solitamente diviso in famiglie, che si sovrappongono agli estremi, dette microonde, ultravioletto, infrarosso, eccetera. La retina umana è sensibile alle onde elettromagnetiche in un piccolo intervallo; il termine "Luce" è di solito riservato alle frequenze elettromagnetiche che compongono questo piccolo intervallo di frequenze.



Un'onda luminosa, che si irraggia nello spazio ad una velocità costante di circa 300.000 chilometri al secondo, può quindi interagire in modo energetico con un rivelatore, che può essere una pellicola sensibile, la retina dell'occhio, uno strumento fotoelettrico, eccetera...

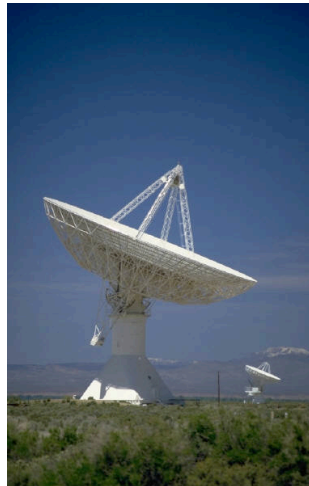
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misure Fisiche di Spazio e di Tempo



B. Riemann

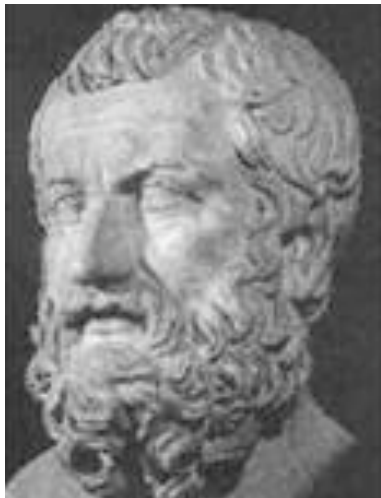
La curvatura dello Spazio deve essere determinata sulla base delle osservazioni astronomiche



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

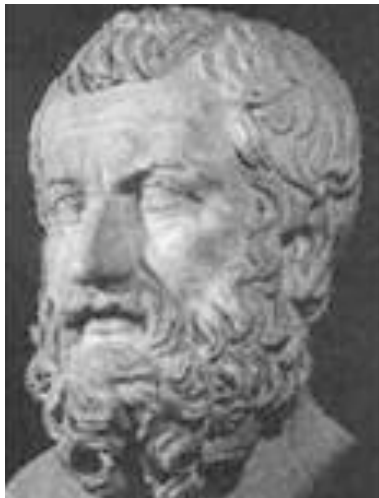
Il Paradosso di Zenone, insieme con altre questioni riguardanti l'Atomismo di Democrito e la natura della Materia, dello Spazio e del Tempo, fu risolto dalla Matematica e dalla Fisica illuminista e positivista sulla base di una sapiente miscela di idee separate:



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

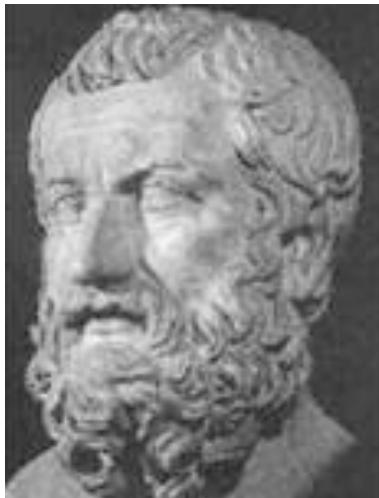
Il Paradosso di Zenone, insieme con altre questioni riguardanti l'Atomismo di Democrito e la natura della Materia, dello Spazio e del Tempo, fu risolto dalla Matematica e dalla Fisica illuminista e positivista sulla base di una sapiente miscela di idee separate: **1) Lo Spazio è un continuo, regolato da Numeri Reali piuttosto che da Numeri Razionali;**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

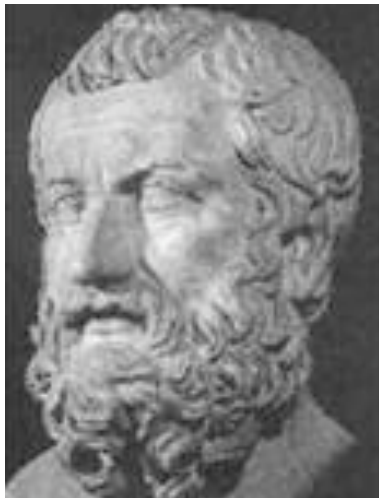
Il Paradosso di Zenone, insieme con altre questioni riguardanti l'Atomismo di Democrito e la natura della Materia, dello Spazio e del Tempo, fu risolto dalla Matematica e dalla Fisica illuminista e positivista sulla base di una sapiente miscela di idee separate: **1) Lo Spazio è un continuo, regolato da Numeri Reali piuttosto che da Numeri Razionali; 2) La Geometria Euclidea è basata sulla continuità dello Spazio;**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

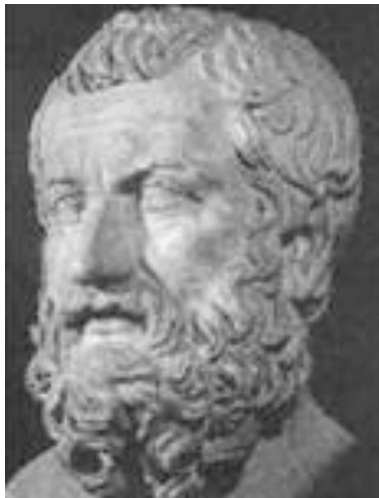
Il Paradosso di Zenone, insieme con altre questioni riguardanti l'Atomismo di Democrito e la natura della Materia, dello Spazio e del Tempo, fu risolto dalla Matematica e dalla Fisica illuminista e positivista sulla base di una sapiente miscela di idee separate: **1) Lo Spazio è un continuo, regolato da Numeri Reali piuttosto che da Numeri Razionali; 2) La Geometria Euclidea è basata sulla continuità dello Spazio; 3) il Movimento può essere decomposto in una successione non-numerabile di posizioni di equilibrio (il cosiddetto "Principio di d'Alembert");**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Il Paradosso di Zenone, insieme con altre questioni riguardanti l'Atomismo di Democrito e la natura della Materia, dello Spazio e del Tempo, fu risolto dalla Matematica e dalla Fisica illuminista e positivista sulla base di una sapiente miscela di idee separate: **1) Lo Spazio è un continuo, regolato da Numeri Reali piuttosto che da Numeri Razionali; 2) La Geometria Euclidea è basata sulla continuità dello Spazio; 3) il Movimento può essere decomposto in una successione non-numerabile di posizioni di equilibrio (il cosiddetto "Principio di d'Alembert"); 4) si possono sommare successioni numerabili di quantità infinitesime, fino ad ottenere "Serie Convergenti".**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Il Paradosso di Zenone, insieme con altre questioni riguardanti l'Atomismo di Democrito e la natura della Materia, dello Spazio e del Tempo, fu risolto dalla Matematica e dalla Fisica illuminista e positivista sulla base di una sapiente miscela di idee separate: **1) Lo Spazio è un continuo, regolato da Numeri Reali piuttosto che da Numeri Razionali; 2) La Geometria Euclidea è basata sulla continuità dello Spazio; 3) il Movimento può essere decomposto in una successione non-numerabile di posizioni di equilibrio (il cosiddetto "Principio di d'Alembert"); 4) si possono sommare successioni numerabili di quantità infinitesime, fino ad ottenere "Serie Convergenti".**



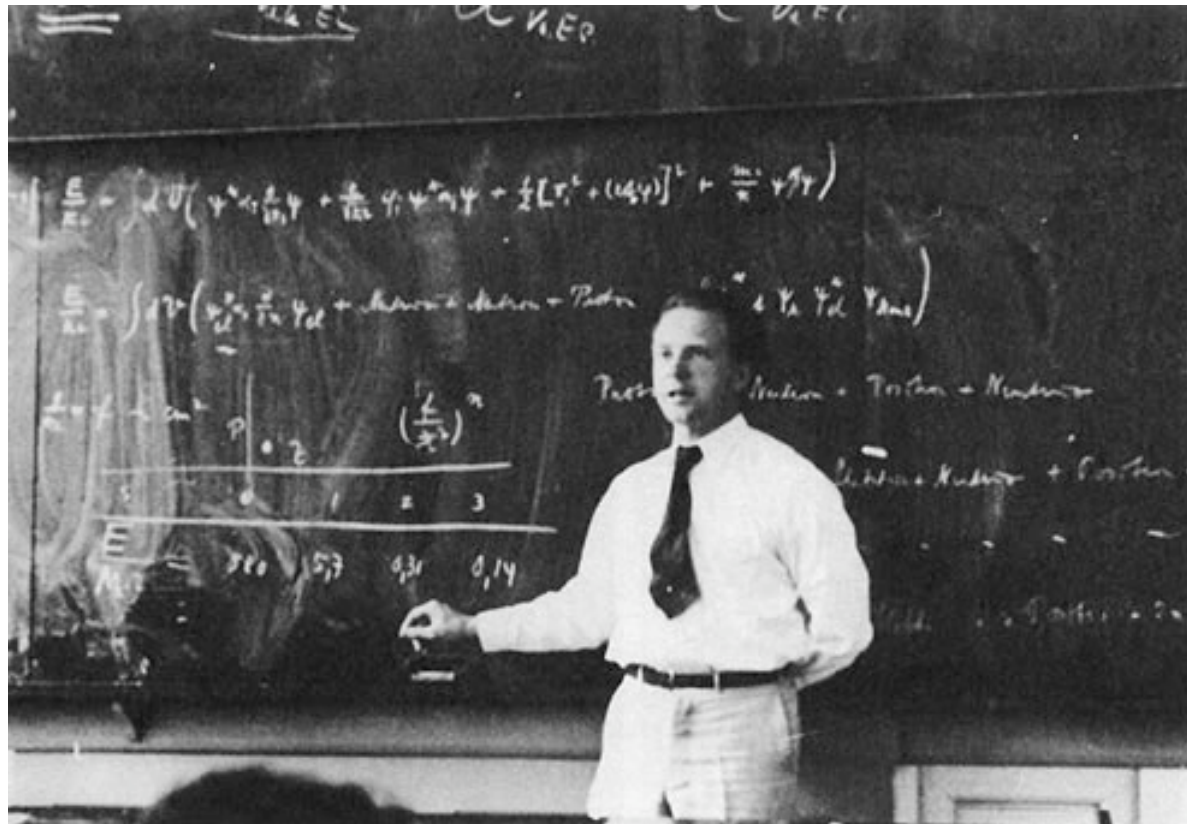
Con la visione euclidea e la convinzione che la Natura sia regolata da Numeri Reali, dal tempo dei Greci il nostro modo di rapportarci con la Natura ha quindi progressivamente abbandonato l'idea che il mondo fisico possa avere una natura discreta ed ogni metodo di indagine ha progressivamente privilegiato il "paradigma della continuità".



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

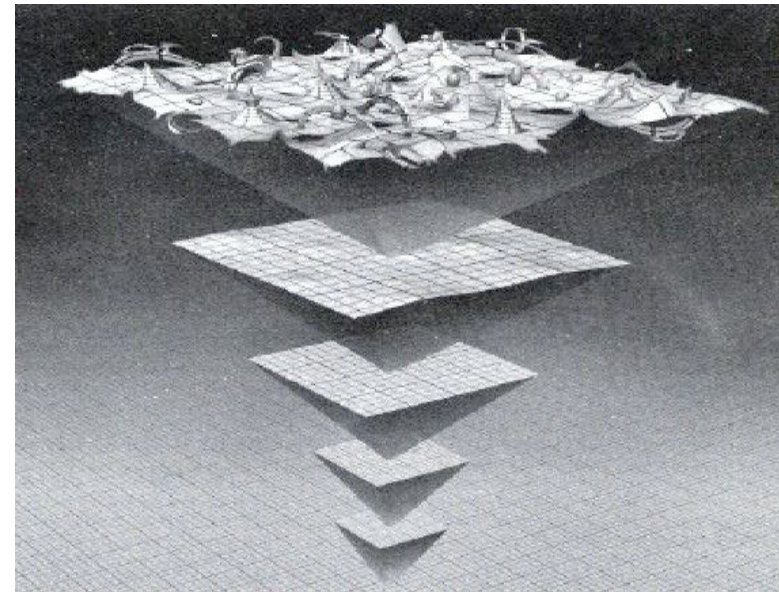
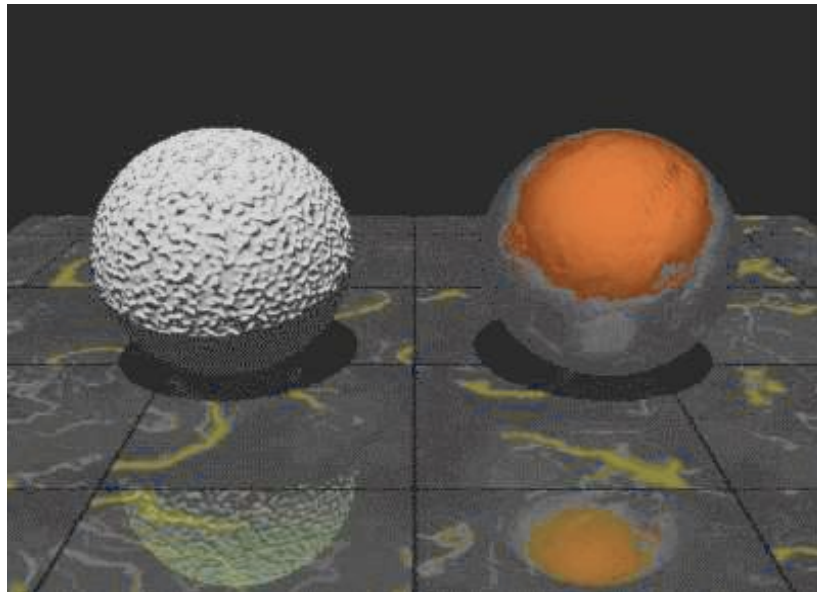
La Meccanica Quantistica – nata agli inizi del XX Secolo sulla base di nuove idee di A. Einstein, L. De Broglie, W. Heisenberg e I. Schrödinger – ha nuovamente cambiato il nostro modo di rapportarci con la Natura.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

La Meccanica Quantistica – nata agli inizi del XX Secolo sulla base di nuove idee di A. Einstein, L. De Broglie, W. Heisenberg e I. Schrödinger – ha nuovamente cambiato il nostro modo di rapportarci con la Natura. **Attraverso la scoperta del cosiddetto “Principio di Indeterminazione” di Heisenberg l’idea che il mondo fisico possa avere una natura discreta (per appoggiare invece ogni indagine sul “paradigma della continuità”) è stata rimessa in discussione.**



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

La Meccanica Quantistica – nata agli inizi del XX Secolo sulla base di nuove idee di A. Einstein, L. De Broglie, W. Heisenberg e I. Schrödinger – ha nuovamente cambiato il nostro modo di rapportarci con la Natura. **Attraverso la scoperta del cosiddetto “Principio di Indeterminazione” di Heisenberg l’idea che il mondo fisico possa avere una natura discreta (per appoggiare invece ogni indagine sul “paradigma della continuità”) è stata rimessa in discussione.**

L’antico dilemma:

“Il mondo ha natura Continua o Discreta...?”

che la Fisica e la Matematica del ‘700 e dell’800 avevano risolto a favore della “Continuità” vincente sul “Discreto” si ripropone allora con tutta la sua forza e pone pressanti interrogativi su cosa veramente intendersi per “misurare”.

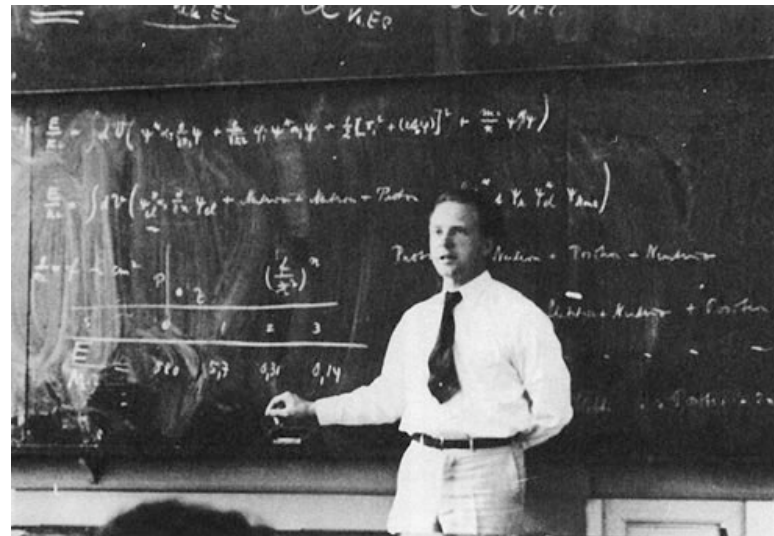
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Il Principio di Indeterminazione di Heisenberg afferma che non si possono misurare e calcolare con precisione infinita sia la posizione sia la velocità di una “particella quantistica”...

*La velocità x e il momento p subiscono un errore; il loro prodotto non può essere più piccolo di una quantità che dipende da una nuova costante fisica fondamentale, chiamata **Costante di Planck***

$$\Delta \hat{x} \Delta \hat{p} \geq \frac{\hbar}{2}$$



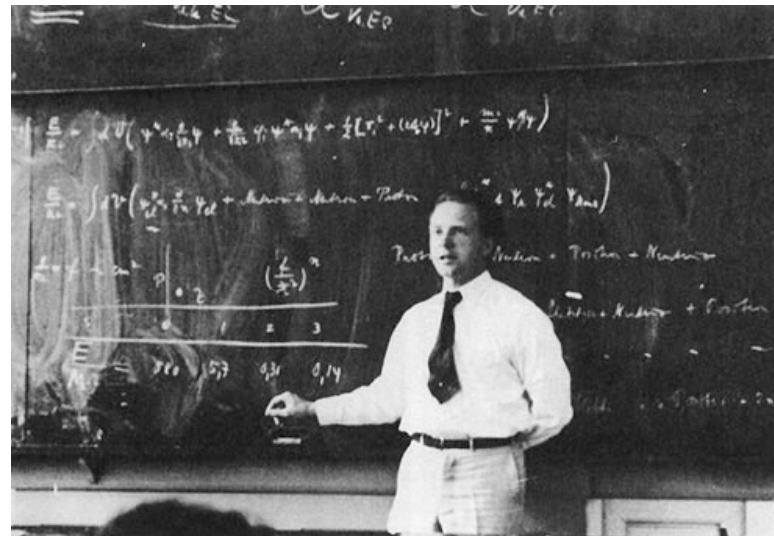
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Il Principio di Indeterminazione di Heisenberg afferma che non si possono misurare e calcolare con precisione infinita sia la posizione sia la velocità di una “particella quantistica”...

Un fatto analogo vale anche per le misure fisiche del Tempo e dell’Energia alla quale si svolge il processo fisico

$$\Delta E \geq \frac{\hbar}{2\Delta t}$$

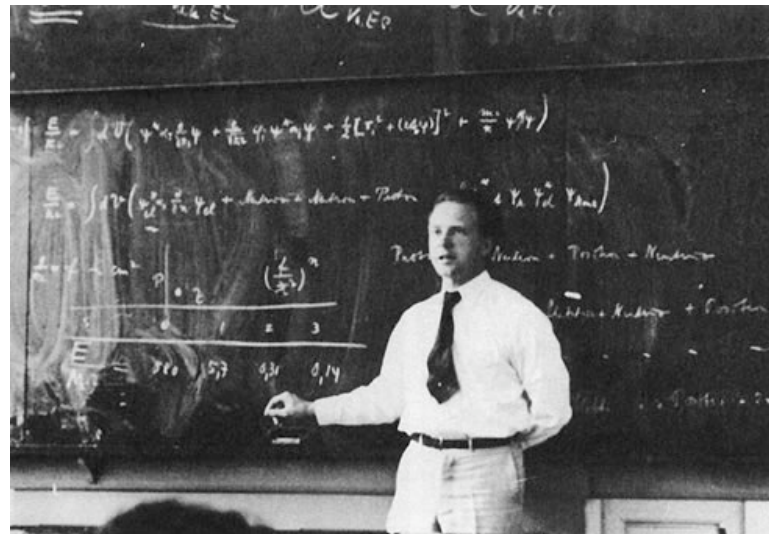
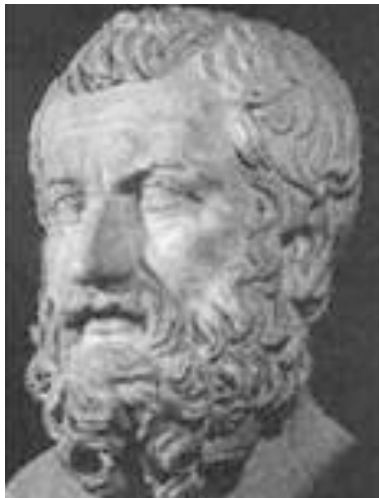


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Cosa succede se Heisenberg si siede tra Zenone e Achille...?

La Fisica Quantistica ci dice che non è possibile misurare lo Spazio e il Tempo con una precisione infinita. Ci sono dei limiti fisici sotto i quali nessun esperimento è possibile. Lo Spazio e il Tempo sono allora divisi in "quanti" (simili, per natura filosofica, agli "atomi" di Democrito).



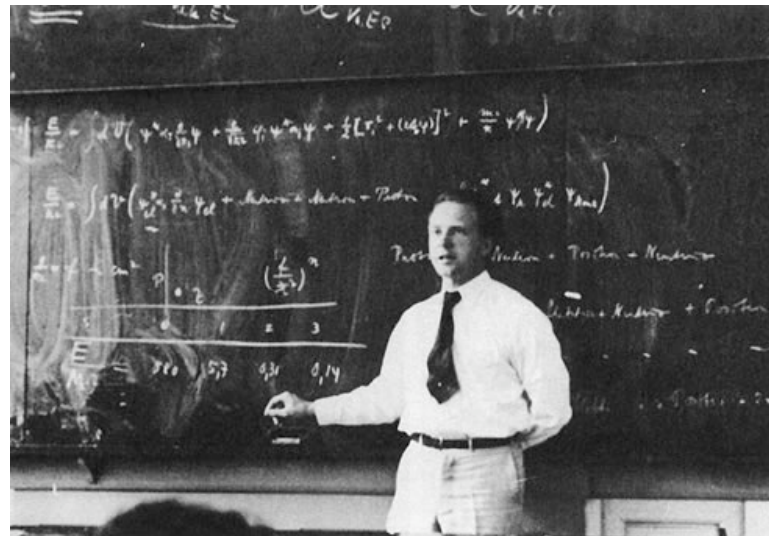
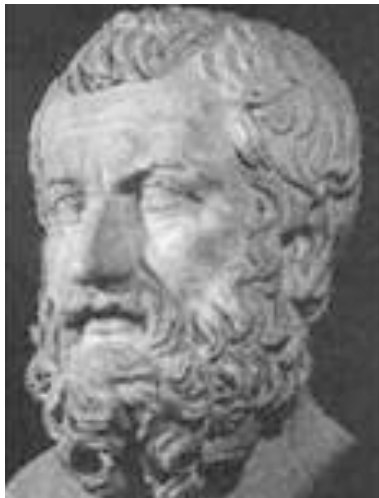
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Cosa succede se Heisenberg si siede tra
Zenone e Achille...?

*La Fisica Quantistica ci dice che non è possibile misurare lo Spazio e il Tempo con una precisione infinita. Ci sono dei limiti fisici sotto i quali nessun esperimento è possibile. Lo Spazio e il Tempo sono allora divisi in “**quanti**” (simili, per natura filosofica, agli “atomi” di Democrito).*

Allora sia Achille sia la Tartaruga saranno costretti a muoversi per “passi quantistici”



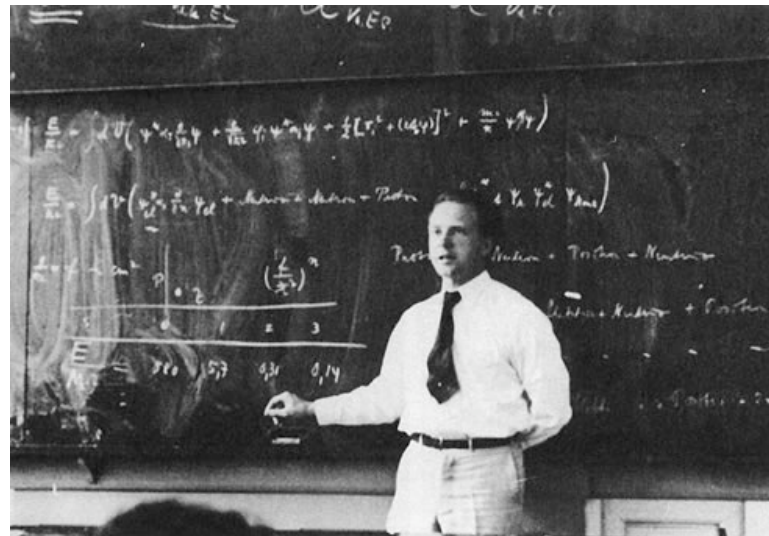
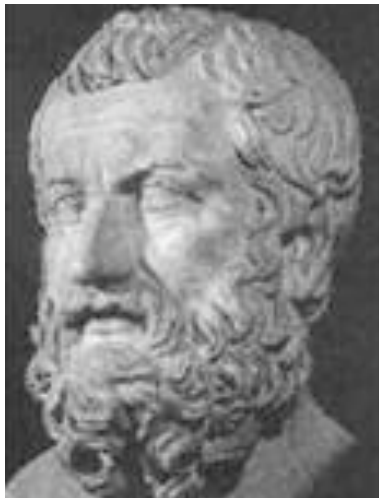
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Meccanica Quantistica

Cosa succede se Heisenberg si siede tra
Zenone e Achille...?

La Fisica Quantistica ci dice che non è possibile misurare lo Spazio e il Tempo con una precisione infinita. Ci sono dei limiti fisici sotto i quali nessun esperimento è possibile. Lo Spazio e il Tempo sono allora divisi in "quanti" (simili, per natura filosofica, agli "atomi" di Democrito).

Alla fine, Achille raggiungerà la Tartaruga di Heisenberg...?



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

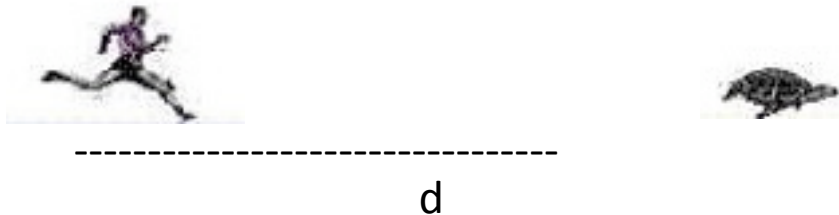
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

1) Al tempo $t=0$ Achille e la Tartaruga stanno a distanza d (data a meno di un errore)

Achille parte, ma anche la Tartaruga si avvia...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per "passi quantistici".....



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

2) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per “passi quantistici”



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

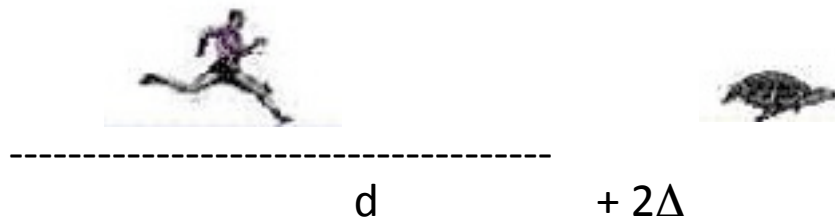
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

3) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per “passi quantistici”



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

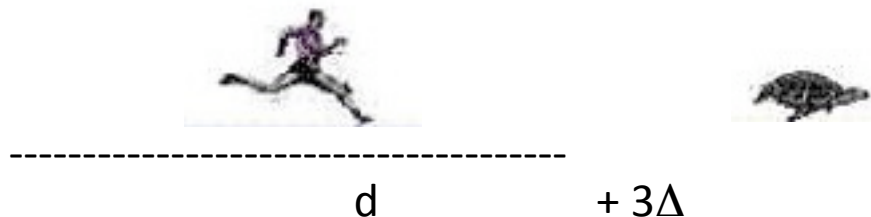
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

4) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per "passi quantistici"



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

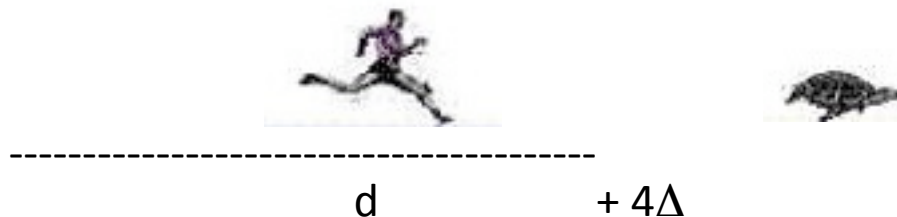
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

5) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per “passi quantistici”



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

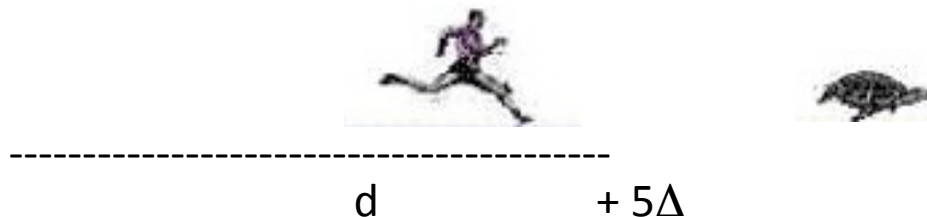
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

6) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per "passi quantistici"



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

7) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per "passi quantistici"



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

8) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per "passi quantistici"



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

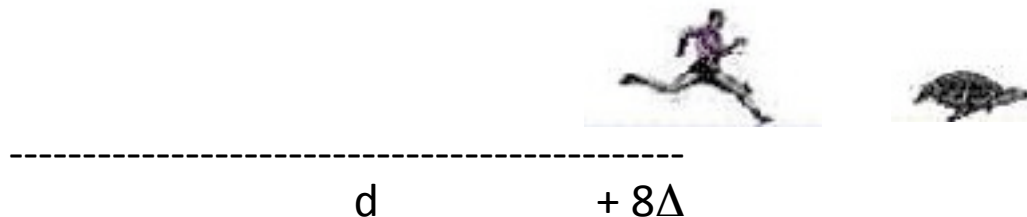
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

9) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per "passi quantistici"



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

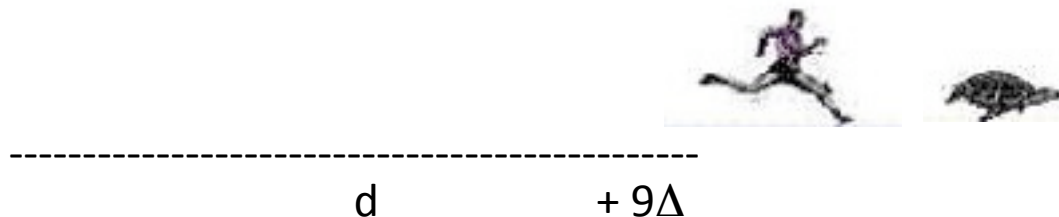
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

10) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per “passi quantistici”..... *Achille ha quasi raggiunto la Tartaruga...!*



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

11) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille continua la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo fa ...

Sia Achille sia la Tartaruga si muovono per “passi quantistici”.... Ora Achille è molto vicino, così vicino che la distanza tra lui e la Tartaruga si sta rapidamente avvicinando al “limite di Planck”....! Achille è molto contento, raggiungerà certamente la Tartaruga in breve tempo. Forse al prossimo “salto quantistico”....



d + 10Δ

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille cerca di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

12) A un tempo quantistico successivo Achille e la Tartaruga sono separati da una nuova distanza quantistica

Achille ha continuato la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per "passi quantistici"

... ma, ... ora..., dove è finita la Tartaruga...?

d + n Δ ?



?

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

12) A quel tempo quantistico t_q Achille e la Tartaruga si trovavano a nuova distanza quantistica d_q ; c'era ovviamente un errore, dettato dal limite di Planck. Supponendo che Achille si stesse muovendo in modo uniforme in n salti di lunghezza Δ egli avrebbe raggiunto la distanza $d + n\Delta$

Achille ha continuato la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per "passi quantistici"

... ma, ... ora..., dove è finita la Tartaruga...?

d + n Δ ?



?

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

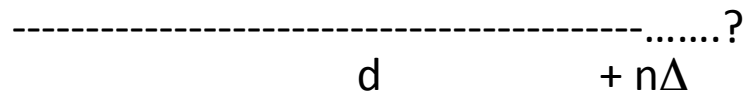
12) A quel tempo quantistico t_q Achille e la Tartaruga si trovavano a nuova distanza quantistica d_q ; c'era ovviamente un errore, dettato dal limite di Planck. Supponendo che Achille si stesse muovendo in modo uniforme in n salti di lunghezza Δ egli avrebbe raggiunto la distanza $d + n\Delta$

Achille ha continuato la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per "passi quantistici"

Achille non vede più la Tartaruga. La Tartaruga è scomparsa...!

??



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

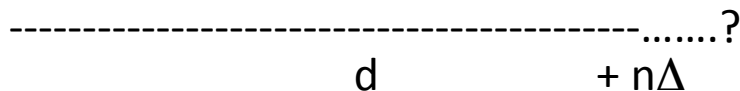
13) A quel tempo quantistico t_q Achille e la Tartaruga si trovavano a nuova distanza quantistica d_q ; c'era ovviamente un errore, dettato dal limite di Planck. Supponendo che Achille si stesse muovendo in modo uniforme in n salti di lunghezza Δ egli avrebbe raggiunto la distanza $d + n\Delta$

Achille ha continuato la sua "corsa quantistica", ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per "passi quantistici".....

Achille non vede più la Tartaruga. La Tartaruga è scomparsa dalla sua vista...! Achille fa un nuovo "salto quantistico"....

???



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

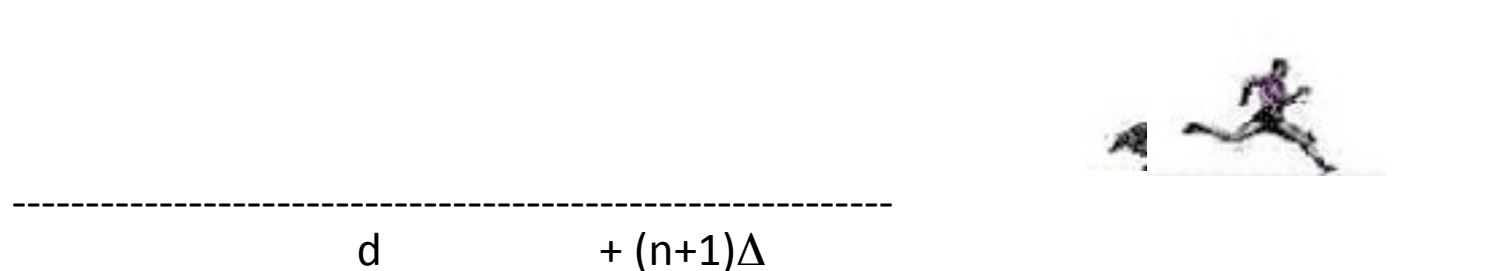
Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

14) Al tempo quantizzato immediatamente successivo $t_q + nT_t$ (anche il Tempo è quantizzato secondo i limiti di Planck e questo è il Tempo più piccolo che lui possa misurare) Achille è al suo $(n+1)$ -esimo salto di lunghezza Δ , così che si è mosso sino a distanza $d + (n+1)\Delta$

Achille ha continuato la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per “passi quantistici”.....

... ma, ... ora..., la Tartaruga è dietro Achille...! Achille non vede più la Tartaruga, che è scomparsa dalla sua vista...! Ma un osservatore esterno può notare che ora Achille è davanti e la Tartaruga è dietro di lui.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

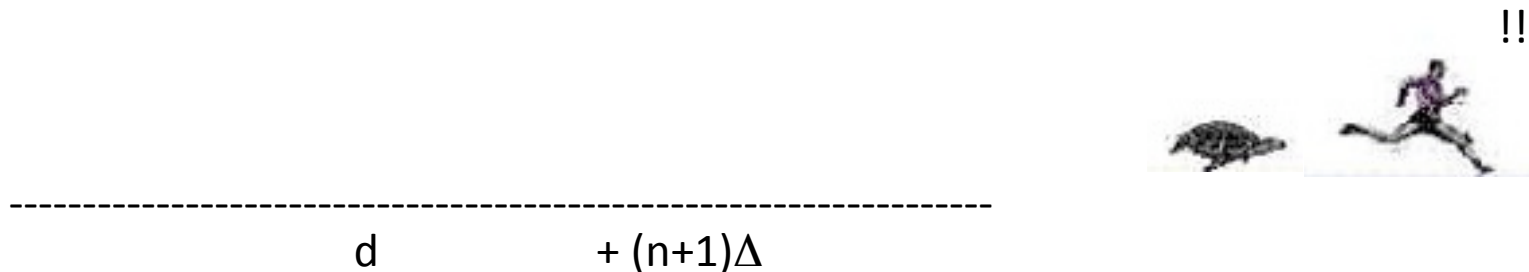
Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg

15) Al tempo quantizzato immediatamente successivo $t_q + nT_t$ (anche il Tempo è quantizzato secondo i limiti di Planck e questo è il Tempo più piccolo che lui possa misurare) Achille è al suo $(n+1)$ -esimo salto di lunghezza Δ , così che si è mosso sino a distanza $d + (n+1)\Delta$

Achille ha continuato la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per “passi quantistici”

... ma, ... ora..., la Tartaruga è dietro Achille... ed è destinata a restarci...! Achille non vede più la Tartaruga, che è scomparsa dalla sua vista...! Ma un osservatore esterno può notare che ora Achille è davanti e la Tartaruga è dietro di lui..



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg **Ma ha fallito!**

15) Al tempo quantizzato immediatamente successivo $t_q + nT_t$ (anche il Tempo è quantizzato secondo i limiti di Planck e questo è il Tempo più piccolo che lui possa misurare) Achille è al suo $(n+1)$ -esimo salto di lunghezza Δ , così che si è mosso sino a distanza $d + (n+1)\Delta$

Achille ha continuato la sua “corsa quantistica”, ma anche la Tartaruga lo ha fatto ...

Sia Achille sia la Tartaruga si sono mossi per “passi quantistici”.....

... ma, ... ora..., la Tartaruga è dietro Achille... ed è destinata a restarci...! Achille non vede più la Tartaruga, che è scomparsa dalla sua vista...! Ma un osservatore esterno può notare che ora Achille è davanti e la Tartaruga è dietro di lui..



d + (n+1) Δ

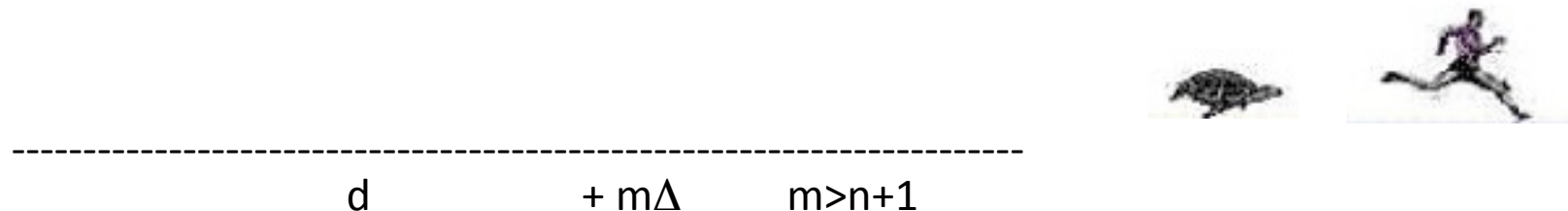
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg **l'ha SORPASSATA!**

15) Al tempo quantizzato immediatamente successivo $t_q + nT_t$ (anche il Tempo è quantizzato secondo i limiti di Planck e questo è il Tempo più piccolo che lui possa misurare) Achille è al suo $(n+1)$ -esimo salto di lunghezza Δ , così che si è mosso sino a distanza $d + (n+1)\Delta$. Questo è più grande di $d + (n+1)\delta$, ovvero la distanza che la Tartaruga ha percorso a partire da d , nello stesso tempo, ma con i suoi passi quantistici

Achille non vede più la Tartaruga, che è scomparsa dalla sua vista...! Ma un osservatore esterno può notare che ora Achille è davanti e la Tartaruga è dietro di lui..



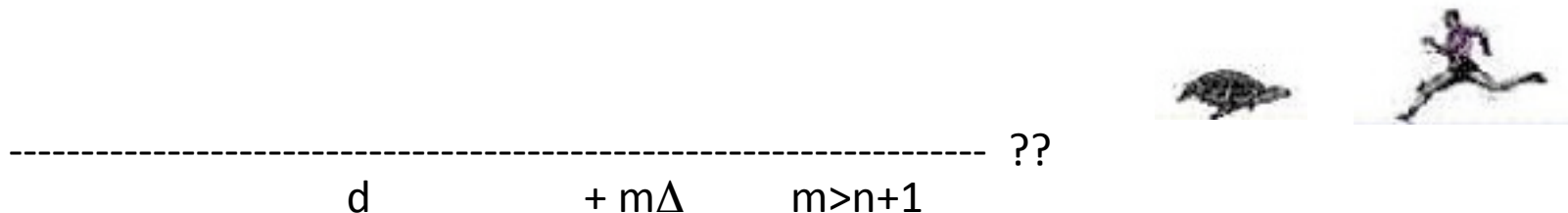
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

Achille stava cercando di raggiungere la Tartaruga di Heisenberg **l'ha SORPASSATA!**

16) Dov'è la Tartaruga...?

Per vedere la Tartaruga che è scomparsa dalla sua Achille ha una sola possibilità. Deve girare all'incontrario i suoi sensori. Deve guardare indietro, dove era prima. Può solamente rovesciare la "Freccia del Tempo" e mandare un segnale elettromagnetico all'indietro, nel suo passato. Oppure credere che la Tartaruga sia dietro di lui solo basandosi sulle informazioni di un osservatore esterno. Ma non può fare un esperimento personale senza cambiare il segno del Tempo. Per lui, infatti, la Tartaruga è scomparsa per sempre....!



MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

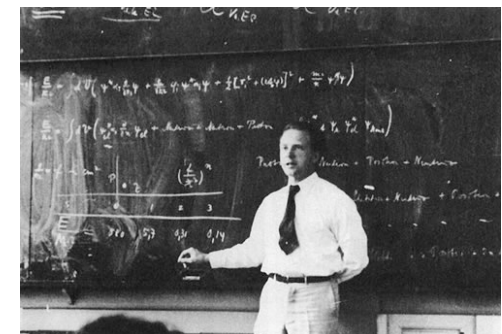
La Tartaruga di Heisenberg segue “regole quantistiche”

Achille voleva raggiungere la Tartaruga e magari anche sedercisi sopra. Ci riuscirà...?

Zeno disse: NO (300 B.C.)

Newton ha detto: SI (1600 A.C.)

Heisenberg dice: NO (1920 A.C.)



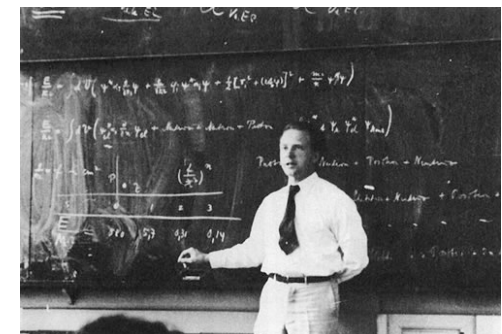


MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Zenone e la Tartaruga di Heisenberg

La Tartaruga di Heisenberg segue “regole quantistiche”

Achille voleva raggiungere la Tartaruga e magari anche sedercisi sopra. Ci riuscirà...?

Questa è l'eterna dicotomia della Scienza.
La Natura è Continua
o Discreta...?

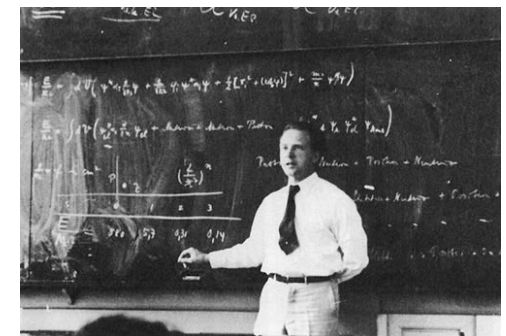


MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Ogni “misura fisica” si confronta con l’impossibilità di scendere sotto la soglia di Planck

Questa è l’eterna dicotomia della Scienza.
La Natura è Continua
o Discreta...?



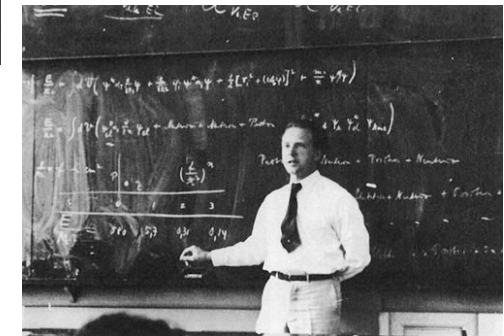
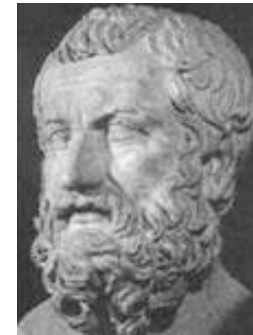
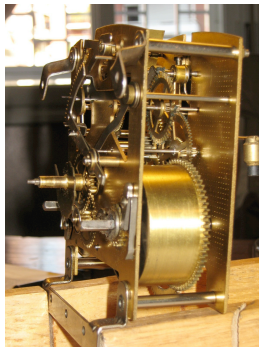
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Ogni Orologio misura il Tempo secondo quantità discrete. Ogni Tic-Tac ha durata finita. Dalla Clessidra agli Orologi Atomici, il meccanismo che misura il Tempo lo fa per piccoli passi costanti.

Questa è l'eterna dicotomia della Scienza.
La Natura è Continua
o Discreta...?



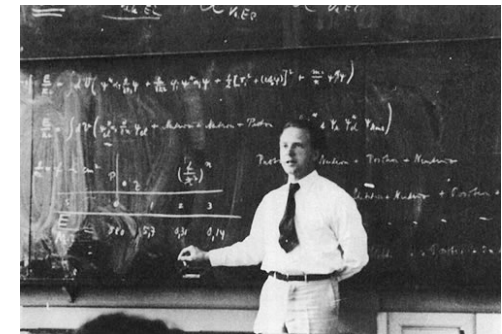
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Ogni Metro misura con una precisione che non può scendere sotto la soglia di Planck. Se scegliamo un'unità di misura, non possiamo dividerla all'infinito...

**Questa è l'eterna dicotomia della Scienza.
La Natura è Continua
o Discreta...?**



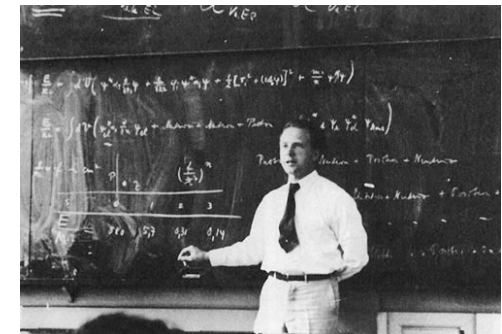
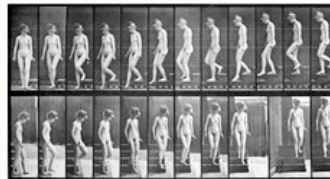
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Cosa si può dire, allora, dello stesso concetto di movimento.....?

Il Movimento è una successione Continua di atti evanescenti che noi percepiamo in maniera Discreta oppure è una successione Discreta di fotogrammi infinitesimi che noi interpretiamo come una successione Continua...?



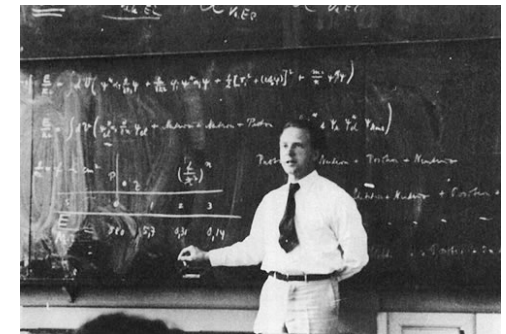
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Cosa si può dire, allora, dello stesso concetto di movimento.....?

Il Cinema è una “illusione di movimento”
oppure è una rappresentazione costruita
“a tavolino” di come avviene “veramente”
il movimento...?

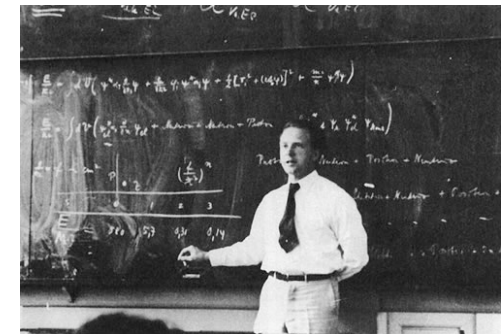


MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Cosa si può dire, allora, dello stesso concetto di movimento.....?

Cinematografia, Cartoni Animati, Fotografia Digitale ci permettono oggi di rappresentare il movimento attraverso una successione discreta (e finita) di singoli fotogrammi. Tutti sovrapposti nella stessa “lastra di impressione” (sia essa il cervello, una pellicola sensibile, un’immagine digitale in uno schermo di computer) – eventualmente compresenti oppure separati nel Tempo da una successione, ancora discreta, di “fermo immagine” (come in una pellicola cinematografica).



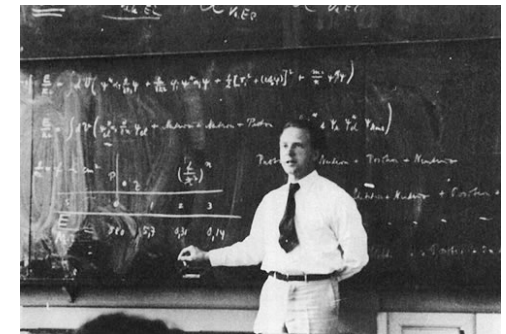
Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Cosa si può dire, allora, dello stesso concetto di movimento.....?

Rendendo così possibile quel sogno artistico di avanguardia che caratterizzò, all'inizio del XX Secolo, le rivoluzionarie idee del “Futurismo”.



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Movimento e Futurismo



"Big Bang" - Foto Lorenzi

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Movimento e Futurismo

- ❑ Nella seconda metà del XIX Secolo:
 - L'idea di **Spazio** cambia, insieme con la sua descrizione;
 - **Le Geometrie Non-Euclidee vengono introdotte**; il **Tempo** diviene una **quarta dimensione sensibile**;
 - Gli artisti cercano di rappresentare in pittura il moto (**Futurismo**)



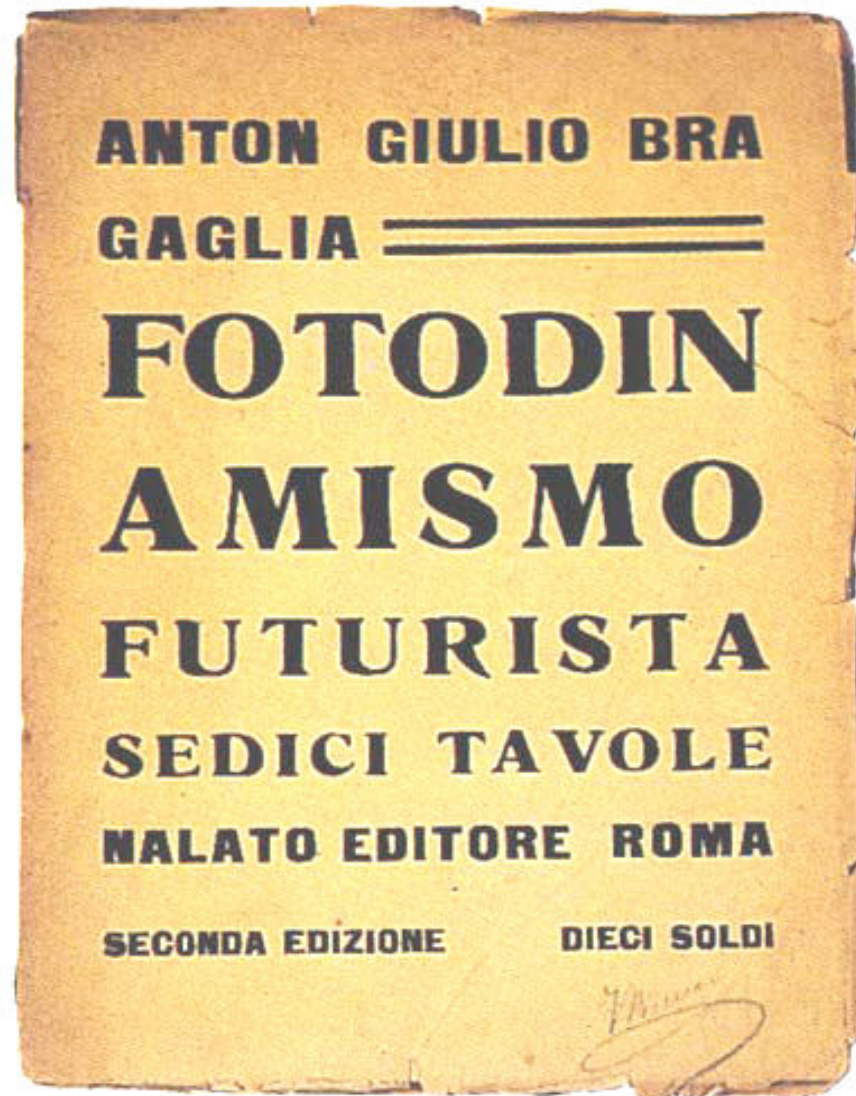
Dinamica di un Cane sul Terreno – Giacomo Balla

*Nudo che Scende
da una Scala –
Marcel Duchamp*



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Fotodinamismo Futurista



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Manifesto della Fotografia Futurista

T A T O r a c c o n t A T O d a T A T O

Dal 1930 al 1931 due grandi manifestazioni d'Arte hanno caratterizzato la instancabile iniziativa di Tato: la « Mostra della fotografia futurista » e una « Esposizione di aeropittura »: la prima che sia stata organizzata nel mondo.

Mentre tralascio dal raccontare altre affermazioni futuriste in numerose esposizioni di carattere nazionale ed internazionale, mi soffermo su questi due avvenimenti non tanto perchè organizzati da Tato, ma soprattutto perchè diedero come risultato la creazione di due manifesti che destarono vivo interesse e grande successo: il manifesto sulla « Fotografia futurista » e quello sulla « Aeropittura ».

La Federazione Fascista degli Artigiani d'Italia, bandiva a Roma, nel 1930 il « Primo Concorso fotografico Nazionale ».

Tato che unisce alla sua attività di pittore quella professionale della fotografia, espose subito a Marinetti i risultati ottenuti con alcune sue importanti esperienze fotografiche, le quali, sconfinando in un nuovo mondo indagatore, la « fotografia dell'avvenire » ispirarono a Marinetti gli elementi fondamentali per scrivere insieme allo stesso Tato il seguente manifesto:

LA FOTOGRAFIA FUTURISTA

« La fotografia di un paesaggio, quella di una persona o di un gruppo di persone, ottenute con un'armonia, una minuzia di particolari ed una tipicità tali da far dire: « Sembra un quadro », è cosa per noi assolutamente superata.

Dopo il fotodinamismo o fotografia del movimento creato da Anton Giulio Bregaglia in collaborazione con suo fratello Arturo,

T A T O r a c c o n t A T O d a T A T O

presentata da me nel 1912 alla Sala Pichetti di Roma e imitata poi da tutti i fotografi avanguardisti del mondo, occorre realizzare queste nuove possibilità fotografiche: 1° Il dramma di oggetti immobili e mobili; e la mescolanza drammatica di oggetti mobili e immobili; 2° il dramma delle ombre degli oggetti contrastanti e isolate dagli oggetti stessi; 3° il dramma di oggetti umanizzati, pietrificati, cristallizzati o vegetalizzati mediante camuffamenti e luci speciali; 4° la spettralizzazione di alcune parti del corpo umano o animale isolate o ricongiunte alogicamente; 5° la fusione di prospettive aeree, marine, terrestri; 6° la fusione di visioni dal basso in alto con visioni dall'alto in basso; 7° le inclinazioni immobili e mobili degli oggetti o dei corpi umani ed animali; 8° la mobile o immobile sospensione degli oggetti ed il loro stare in equilibrio; 9° le drammatiche sproporzioni degli oggetti mobili ed immobili; 10° le amoroze o violente compenetrazioni di oggetti mobili o immobili; 11° la sovrapposizione trasparente o semitrasparente di persone e oggetti concreti e dei loro fantasmi semiestratti con simultaneità di ricordo sogno; 12° l'ingigantimento straripante di una cosa minuscola quasi invisibile in un paesaggio; 13° l'interpretazione tragica o satirica dell'attività mediante un simbolismo di oggetti camuffati; 14° la composizione di paesaggi assolutamente extraterrestri, astrali o medianici mediante spessori, elasticità, profondità torbide, limpide trasparenze, valori algebrici o geometrici senza nulla di umano nè di vegetale nè di geologico; 15° la composizione organica dei diversi stati d'animo di una persona mediante l'espressione intensificata delle più tipiche parti del suo corpo; 16° l'arte fotografica degli oggetti camuffati, intesa a sviluppare l'arte dei camuffamenti di guerra che ha lo scopo di illudere gli osservatori aerei.

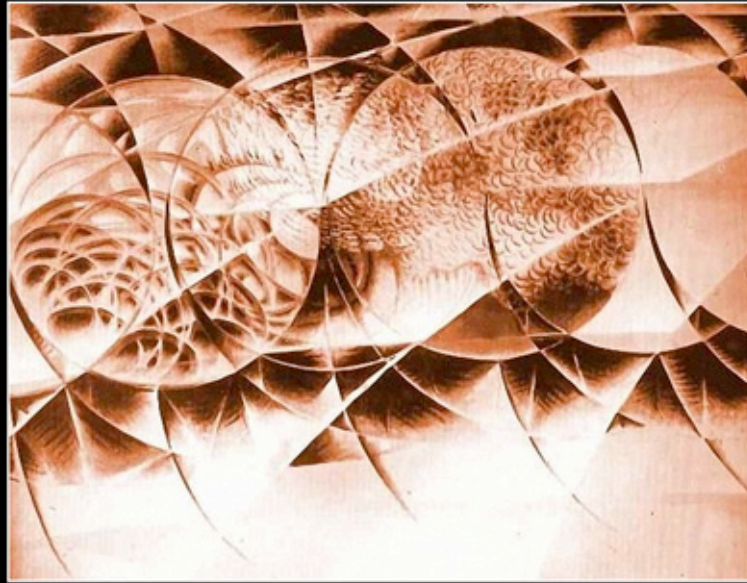
Tutte queste ricerche hanno lo scopo di far sempre più sconfinare la scienza fotografica nell'arte pura e favorirne automaticamente lo sviluppo nel campo della fisica, della chimica e della guerra ».

F. T. MARINETTI - TATO

16 aprile 1930

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Il futuro del Futurismo...?



BALLA - Black and White Painting: Futurist Forcefield, 1916



Photo © Rick Doble



Photo © Marcello G. Lorenza

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Il futuro del Futurismo...?



A sinistra: "Le mani del Violinista", di *G. Balla*

A destra: "Violinista", foto di *Rick Doble*



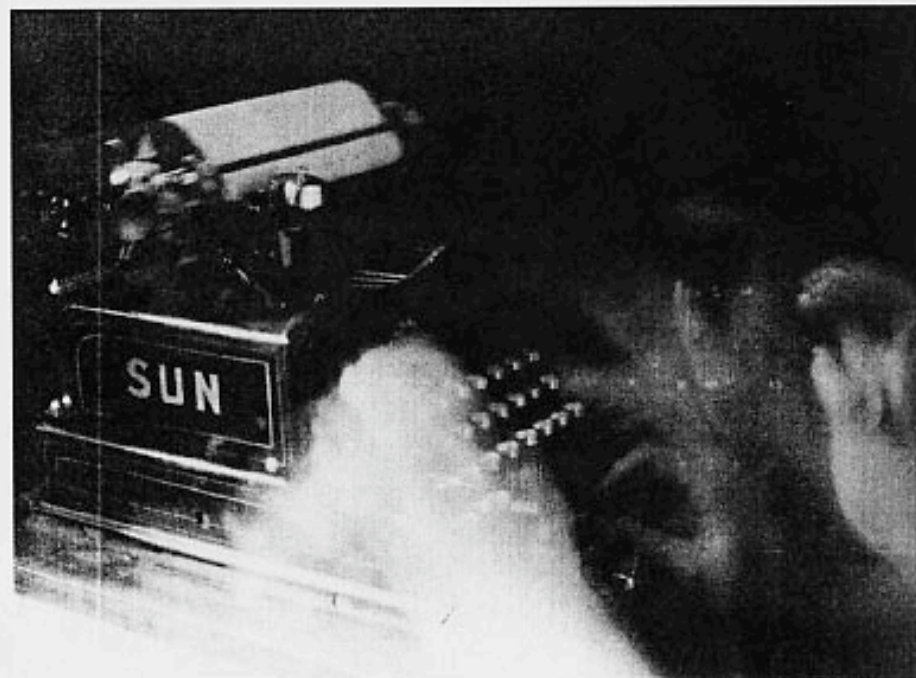
Bragaglia Anton Giulio et Arturo Machine à écrire photodynamique

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

Suite à l'essai de l'écriture automatique, les frères Bragaglia ont ici d'une impression de machine à écrire qu'une image au sens propre. Fixant le temps, la photographie restitue très mal le déroulement de l'action, ce à quoi les frères Bragaglia ont voulu remédier en développant ce qu'ils ont appelé « le photodynamisme ». Ils entendent rendre le mouvement comme un continuum, ou du moins la séquence d'une trajectoire, au lieu de le présenter de façon analytique et de le découper en épisodes successifs, à l'instar d'Edward Muybridge. Ils tentent leurs premières expériences en 1911.

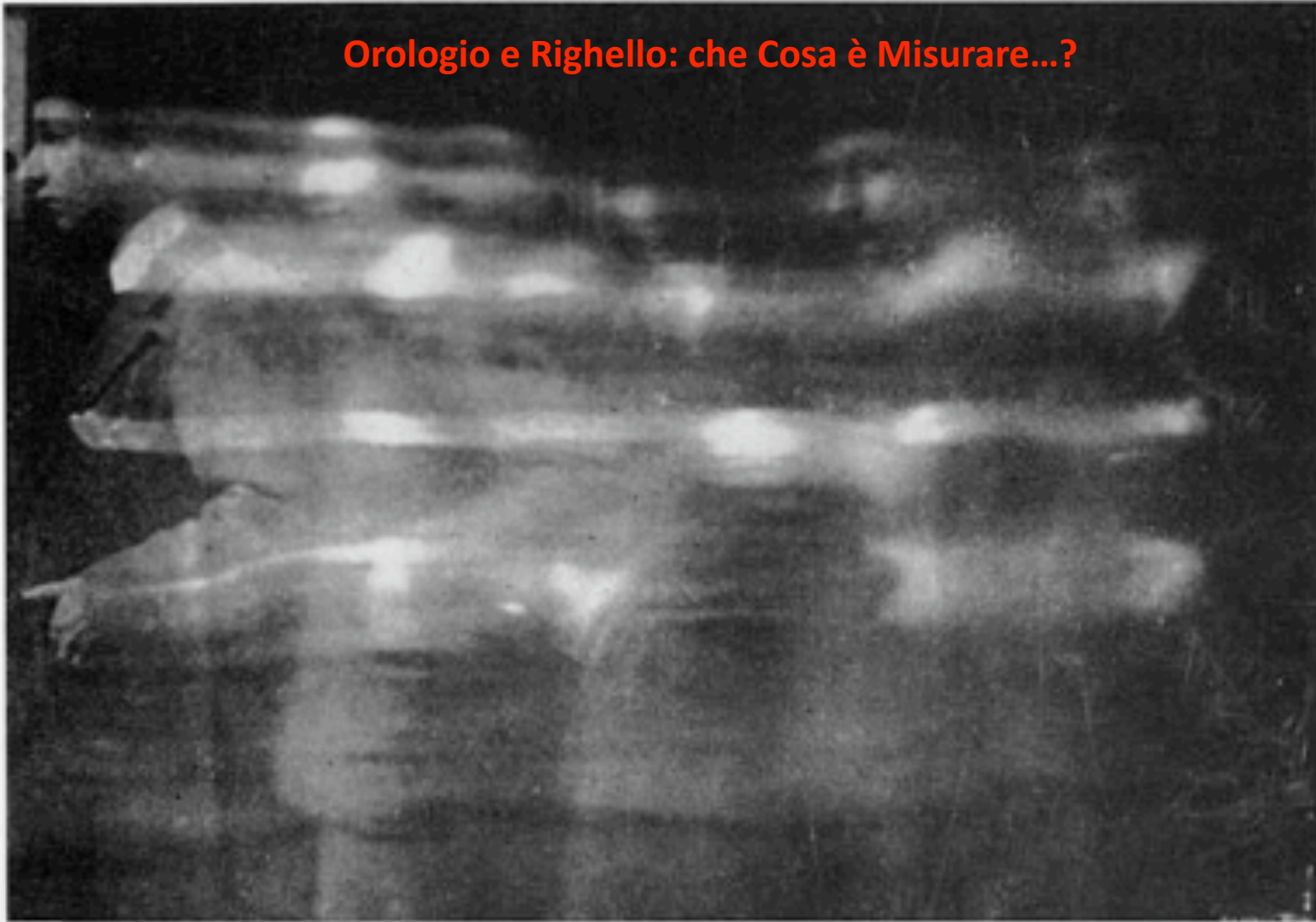
En 1911, les frères Bragaglia se joignent aux autres futuristes et, au mois de juin 1913, Anton publie un manifeste, *Fotodinamismo Futurista*. Ils rompent cependant très vite avec les représentants du futurisme, qui privilégient l'époque analytique. Plus tard Anton devient producteur de cinéma.

← Muybridge, Malyne, Steinert, Wells



Anton Giulio Bragaglia. n. Rome (IT), 1890. m. Rome (IT), 1960. Arturo Bragaglia. n. Rome (IT), 1893. m. Rome (IT), 1962.
Machine à écrire photodynamique. 1911. Papier au gélatino-bromure.

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?



Bragaglia

*Inventore del Fotodinamismo
Fotografo delle dive del cinema muto
Fotografo di scena per Ettore Petrolini
Regista di cinema
L'uomo antico*



BALLA - Painting: Dynamism of a Dog on a Leash, 1912



Foto Lorenzi



Foto Doble



Foto Doble



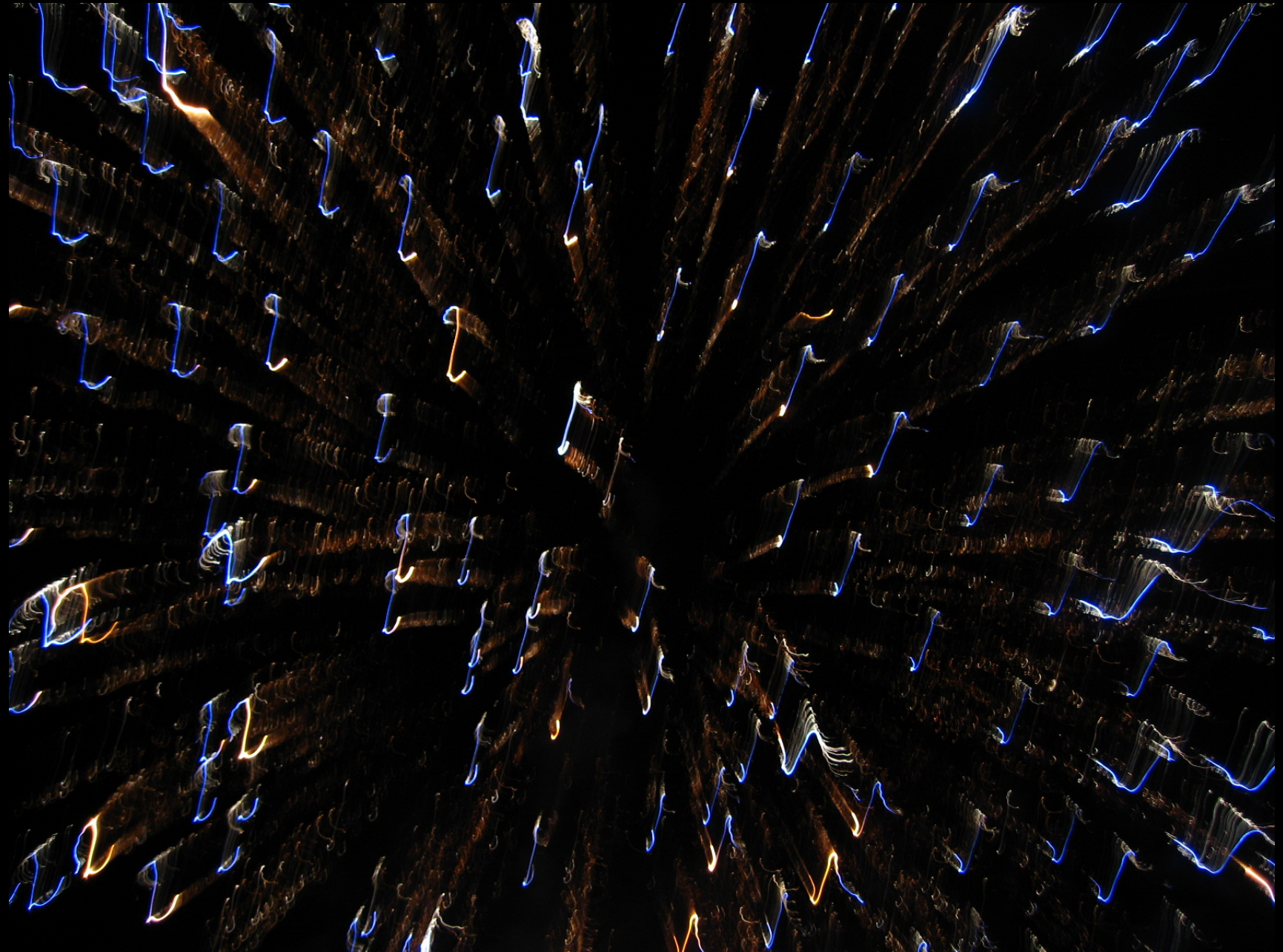
Foto Doble



"Tunnel nello SpazioTempo" - Foto Lorenzi



Foto Lorenzi

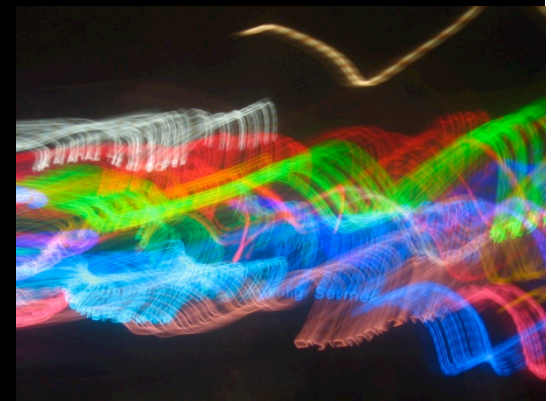
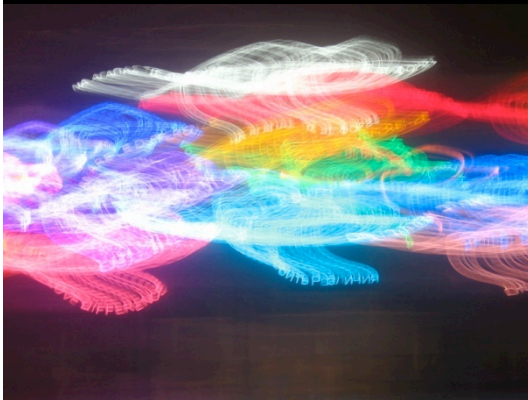


"Musica delle Sfere" - Foto Lorenzi

Contesto reale

Foto di M.G. Lorenzi

“Light Painting”



Il futuro del Futurismo

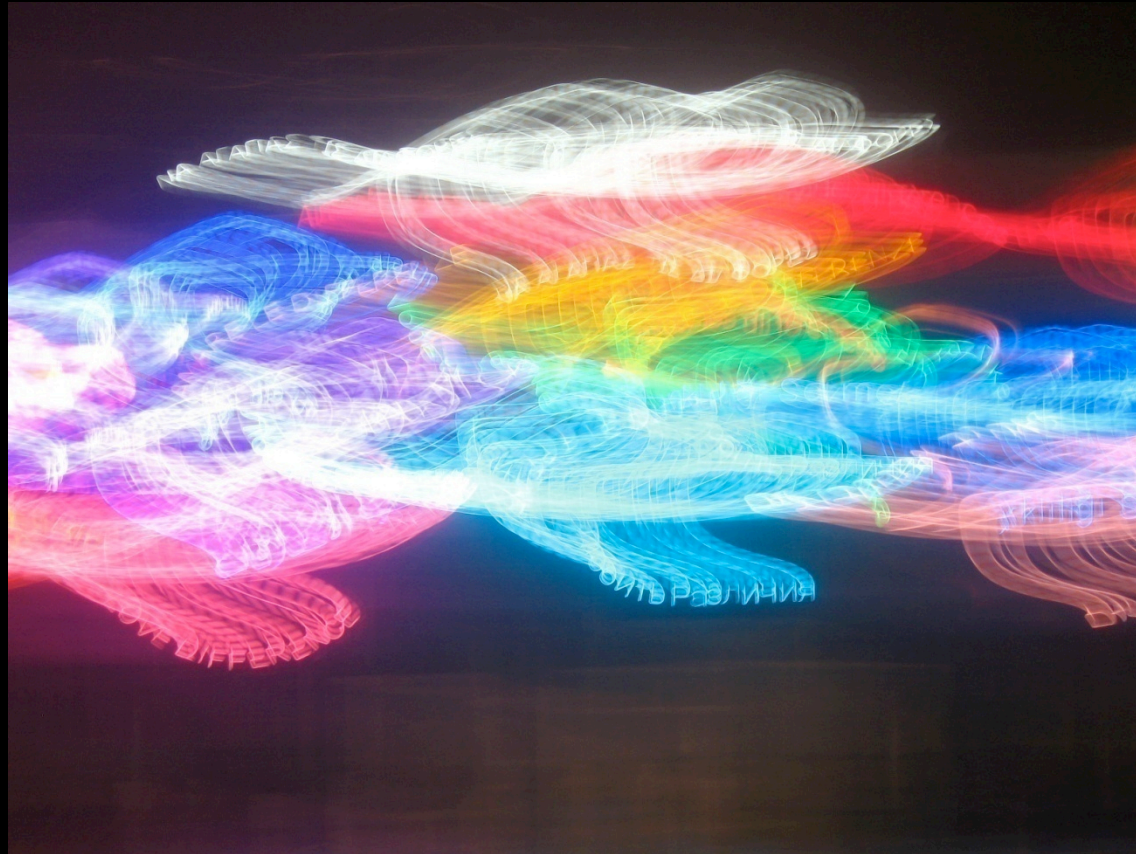


Foto Lorenzi

Il futuro del Futurismo

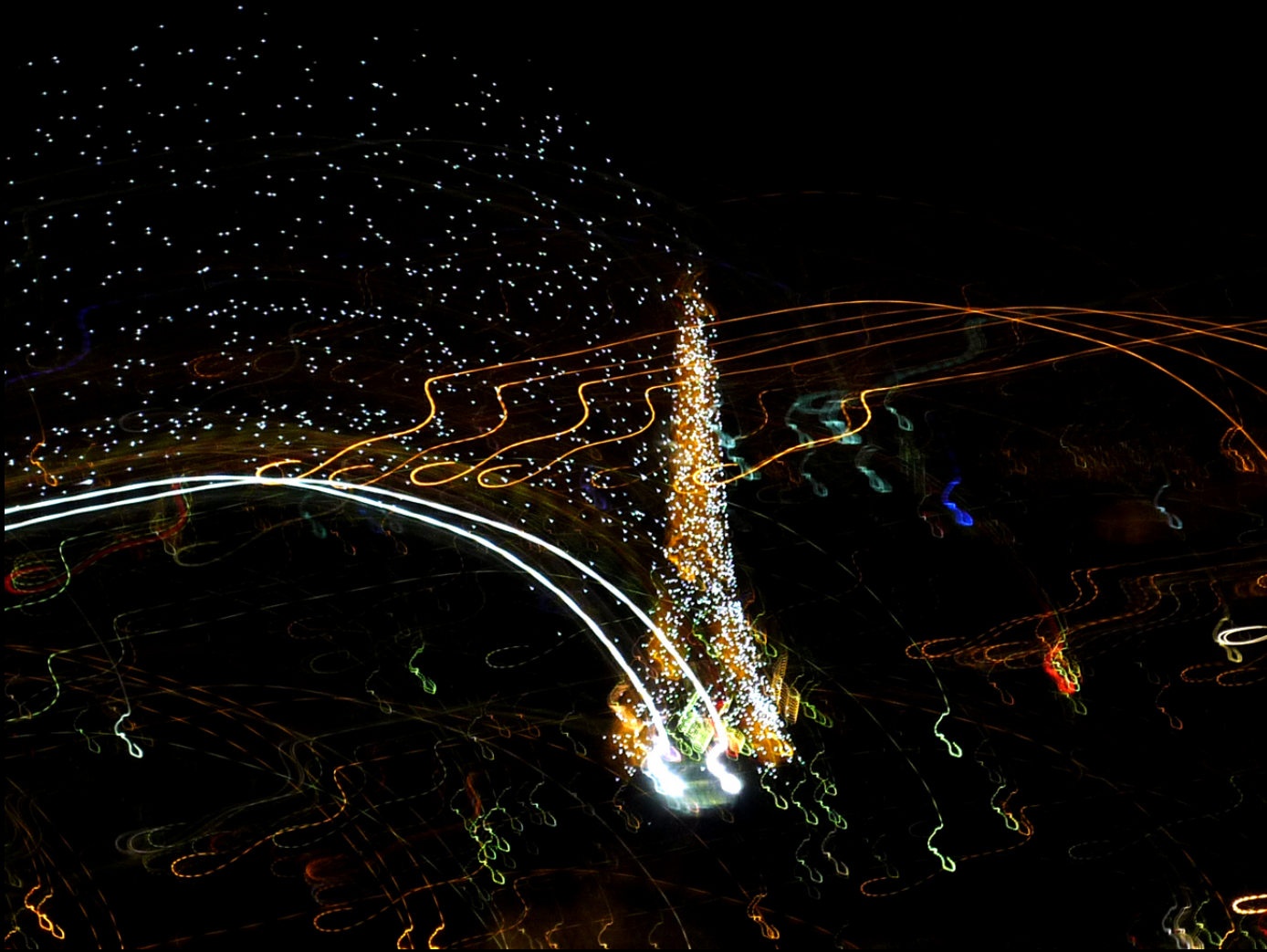


Foto Lorenzi

Il futuro del Futurismo



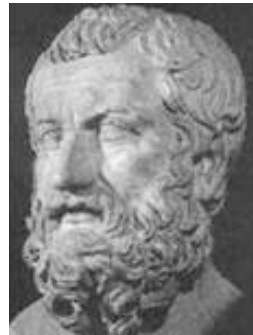
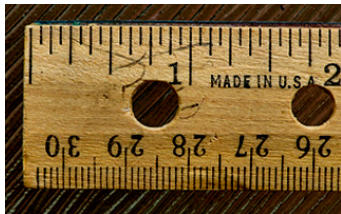
Foto Lorenzi

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

Questa è l'eterna dicotomia della Fisica. La Natura è Continua o Discreta...?



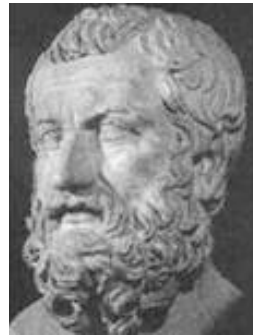
Spazio

Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

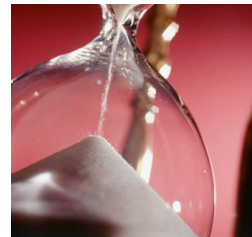
MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

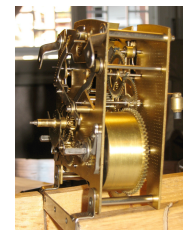
Questa è l'eterna dicotomia della Fisica. La Natura è Continua o Discreta...?



Spazio



Tempo

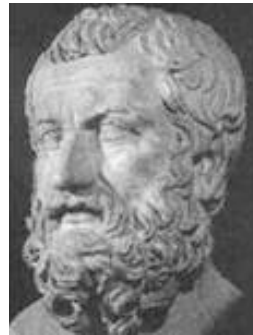


Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Tutto il mondo percepibile segue “regole quantistiche”

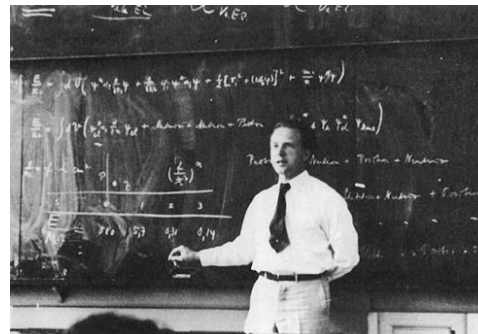
Questa è l'eterna dicotomia della Fisica. La Natura è Continua o Discreta...?



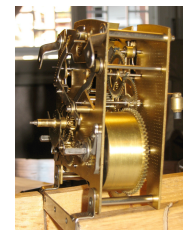
Spazio



Quanti



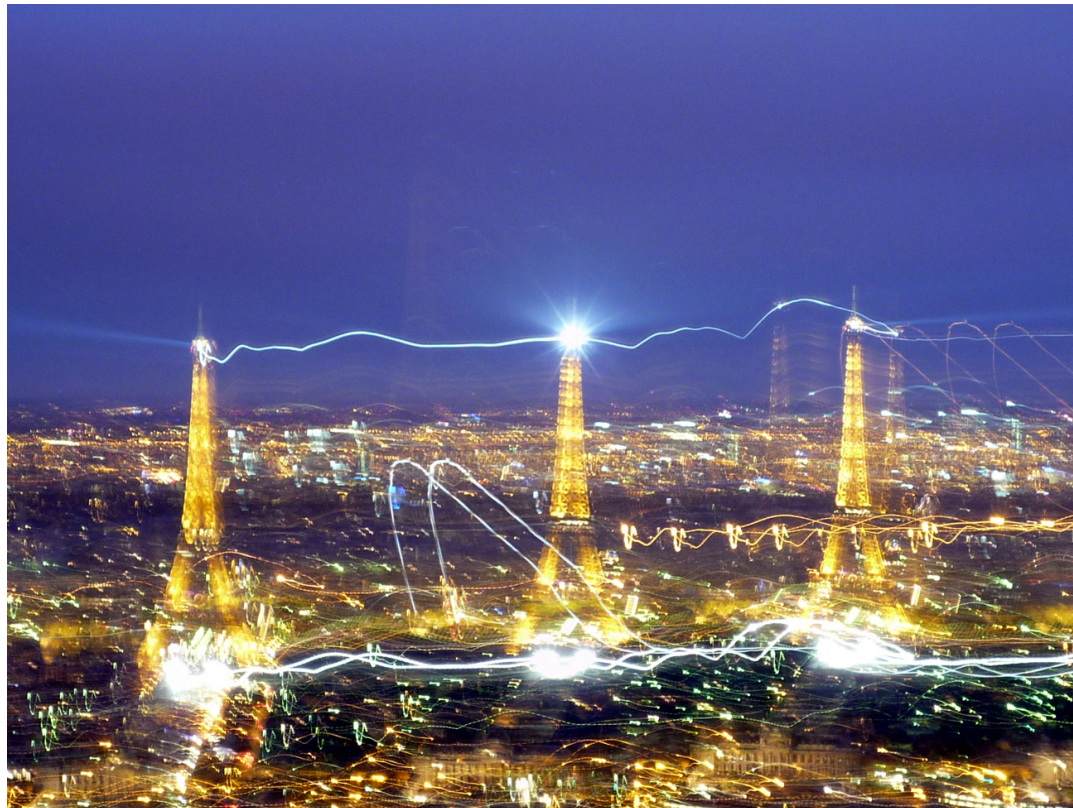
Tempo



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

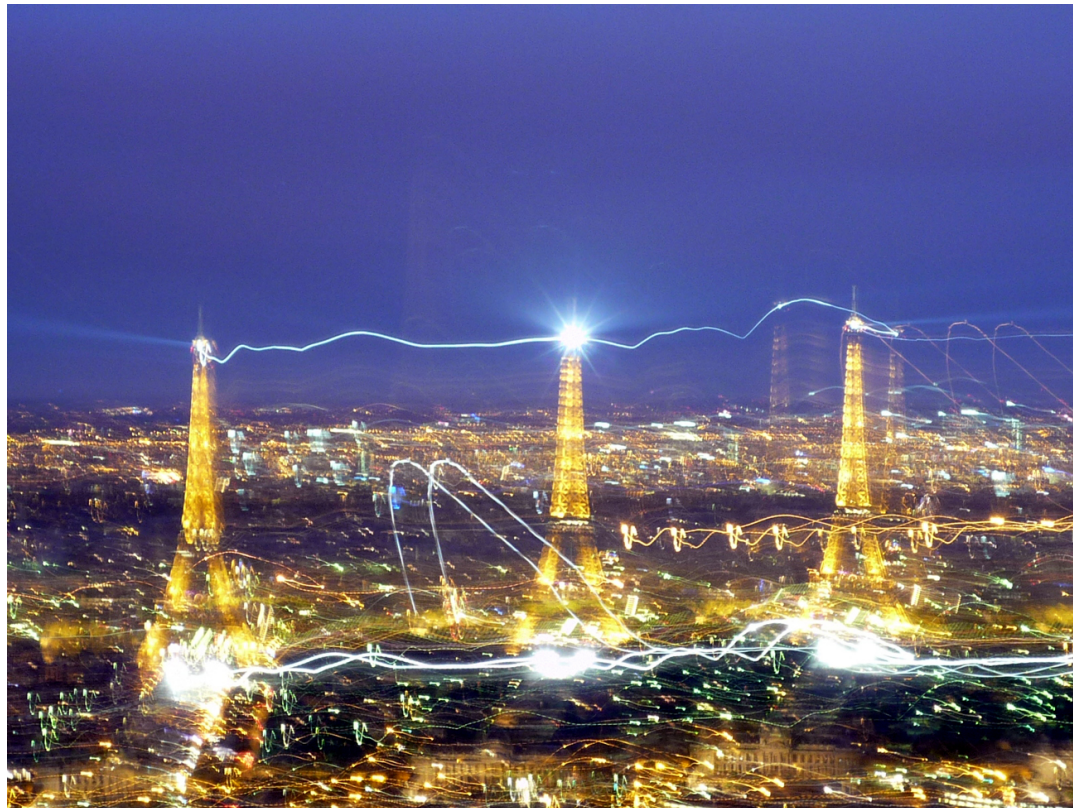
Questa è l'eterna dicotomia della Scienza. La
Natura è Continua ?



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

MISURARE LO SPAZIO E IL TEMPO: Misura e Meccanica Quantistica

Questa è l'eterna dicotomia della Scienza. La
Natura è Continua o Discreta....?



Orologio e Righello: che Cosa è Misurare...?

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

CONTATTI

marcella.lorenzi@unical.it

mauro.francaviglia@unito.it

<http://lcs.unical.it>

