

Perché il metro batte il secondo?

Giulio D'Agostini

Università di Roma La Sapienza

Il battito del metro

Immaginiamo di associare ad ogni oscillazione di un pendolo semplice lungo un metro un 'toc'...

Il battito del metro

Immaginiamo di associare ad ogni oscillazione di un pendolo semplice lungo un metro un 'toc'...

Tale 'battito' risulta molto familiare.

Il battito del metro

Immaginiamo di associare ad ogni oscillazione di un pendolo semplice lungo un metro un 'toc'...

Tale 'battito' risulta molto familiare.

A qualcuno può ricordare l'inizio di



'The dark side of the moon' dei Pink Floyd.

Il battito del metro

Immaginiamo di associare ad ogni oscillazione di un pendolo semplice lungo un metro un 'toc'...

Tale 'battito' risulta molto familiare.

A qualcuno può ricordare l'inizio di



'The dark side of the moon' dei Pink Floyd.

Se misuriamo l'intervallo di tempo fra i 'toc', otteniamo praticamente un secondo [1.0035 s (!)]

Il battito del metro

Immaginiamo di associare ad ogni oscillazione di un pendolo semplice lungo un metro un 'toc'...

Tale 'battito' risulta molto familiare.

A qualcuno può ricordare l'inizio di



'The dark side of the moon' dei Pink Floyd.

Se misuriamo l'intervallo di tempo fra i 'toc', otteniamo praticamente un secondo [1.0035 s (!)]

→ **Strano!**

Il battito del metro

Immaginiamo di associare ad ogni oscillazione di un pendolo semplice lungo un metro un 'toc'...

Tale 'battito' risulta molto familiare.

A qualcuno può ricordare l'inizio di



'The dark side of the moon' dei Pink Floyd.

Se misuriamo l'intervallo di tempo fra i 'toc', otteniamo praticamente un secondo [1.0035 s (!)]

→ **Strano!**

Cosa hanno in comune il metro e il secondo?

Il secondo e il metro

secondo A second is equal to the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between two hyperfine levels (F=4, M=0 and F=3, M=0 of the fundamental status $^2S_{1/2}$) of the atom Cesium 133.

Il secondo e il metro

secondo A second is equal to the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between two hyperfine levels (F=4, M=0 and F=3, M=0 of the fundamental status $^2S_{1/2}$) of the atom Cesium 133.

metro A meter is the distance covered by light in vacuum in $1/299\,792\,458$ of a second.

Il secondo e il metro

secondo A second is equal to the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between two hyperfine levels ($F=4, M=0$ and $F=3, M=0$ of the fundamental status $^2S_{1/2}$) of the atom Cesium 133.

metro A meter is the distance covered by light in vacuum in $1/299\,792\,458$ of a second.

- **Eureka!** Il secondo e il metro sono legati!

Il secondo e il metro

secondo A second is equal to the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between two hyperfine levels ($F=4$, $M=0$ and $F=3$, $M=0$ of the fundamental status $^2S_{1/2}$) of the atom Cesium 133.

metro A meter is the distance covered by light in vacuum in $1/299\,792\,458$ of a second.

- **Eureka!** Il secondo e il metro sono legati!
- **Sicuri?** Qual'è l'origine di queste strane definizioni?

Il secondo e il metro

secondo A second is equal to the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between two hyperfine levels ($F=4, M=0$ and $F=3, M=0$ of the fundamental status $^2S_{1/2}$) of the atom Cesium 133.

metro A meter is the distance covered by light in vacuum in $1/299\,792\,458$ of a second.

- **Eureka!** Il secondo e il metro sono legati!
- **Sicuri?** Qual'è l'origine di queste strane definizioni?

Se è vero che le unità antropomorfe sono arbitrarie, è anche vero che queste definizioni sembrano una follia!!

(“con questo traffico, la sera per tornare a casa ci metto 50 mila miliardi di oscillazioni del Cesio. . .”)

Back-compatibilità delle definizioni moderne

In realtà questo strano numero di oscillazioni atomiche e questa strana frazione dello spazio percorso dalla luce in un secondo sono stati scelti per riprodurre al meglio le definizioni storiche delle due unità di misura

Back-compatibilità delle definizioni moderne

In realtà questo strano numero di oscillazioni atomiche e questa strana frazione dello spazio percorso dalla luce in un secondo sono stati scelti per riprodurre al meglio le definizioni storiche delle due unità di misura

[Nota: la relazione fra metro e secondo si basa sulla velocità della luce, assunta (e, per quanto possibile, provata) costante e del valore esatto di 299 792 458 m/s (30 cm/ns)].

Back-compatibilità delle definizioni moderne

In realtà questo strano numero di oscillazioni atomiche e questa strana frazione dello spazio percorso dalla luce in un secondo sono stati scelti per riprodurre al meglio le definizioni storiche delle due unità di misura

[Nota: la relazione fra metro e secondo si basa sulla velocità della luce, assunta (e, per quanto possibile, provata) costante e del valore esatto di 299 792 458 m/s (30 cm/ns)].

- Il secondo è basato sul giorno solare medio[†], ed esattamente (storicamente) pari ad 1/86400 di esso (86400 = 24 × 60 × 60).

Back-compatibilità delle definizioni moderne

In realtà questo strano numero di oscillazioni atomiche e questa strana frazione dello spazio percorso dalla luce in un secondo sono stati scelti per riprodurre al meglio le definizioni storiche delle due unità di misura

[Nota: la relazione fra metro e secondo si basa sulla velocità della luce, assunta (e, per quanto possibile, provata) costante e del valore esatto di 299 792 458 m/s (30 cm/ns)].

- Il secondo è basato sul giorno solare medio[†], ed esattamente (storicamente) pari ad 1/86400 di esso ($86400 = 24 \times 60 \times 60$).
- Il metro è basato sulle dimensioni della Terra.

Back-compatibilità delle definizioni moderne

In realtà questo strano numero di oscillazioni atomiche e questa strana frazione dello spazio percorso dalla luce in un secondo sono stati scelti per riprodurre al meglio le definizioni storiche delle due unità di misura

[Nota: la relazione fra metro e secondo si basa sulla velocità della luce, assunta (e, per quanto possibile, provata) costante e del valore esatto di 299 792 458 m/s (30 cm/ns)].

- Il secondo è basato sul giorno solare medio[†], ed esattamente (storicamente) pari ad 1/86400 di esso ($86400 = 24 \times 60 \times 60$).
- Il metro è basato sulle dimensioni della Terra.
 - Cosa esattamente? (e perché?)

La decimilionesima parte del quarto di meridiano

Il metro

- **non è** la quarantamilionesima parte dell'**equatore**;

La decimilionesima parte del quarto di meridiano

Il metro

- **non è** la quarantamilionesima parte dell'**equatore**;
- **nemmeno** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano che passa per **Parigi**;

La decimilionesima parte del quarto di meridiano

Il metro

- **non è** la quarantamilionesima parte dell'**equatore**;
- **nemmeno** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano che passa per **Parigi**;
- **e neppure** la decimilionesima parte della distanza fra equatore e polo nord lungo una linea che passa per **Parigi** (Encarta);

La decimilionesima parte del quarto di meridiano

Il metro

- **non è** la quarantamilionesima parte dell'**equatore**;
- **nemmeno** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano che passa per **Parigi**;
- **e neppure** la decimilionesima parte della distanza fra equatore e polo nord lungo una linea che passa per **Parigi** (Encarta);
- **ma la decimilionesima parte del quarto di Meridiano.**

La decimilionesima parte del quarto di meridiano

Il metro

- **non è** la quarantamilionesima parte dell'**equatore**;
- **nemmeno** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano che passa per **Parigi**;
- **e neppure** la decimilionesima parte della distanza fra equatore e polo nord lungo una linea che passa per **Parigi** (Encarta);
- ma la **decimilionesima parte del quarto di Meridiano**.
- **E non** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano.
Ma non è la stessa cosa??

La decimilionesima parte del quarto di meridiano

Il metro

- **non è** la quarantamilionesima parte dell'**equatore**;
- **nemmeno** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano che passa per **Parigi**;
- **e neppure** la decimilionesima parte della distanza fra equatore e polo nord lungo una linea che passa per **Parigi** (Encarta);
- ma la **decimilionesima parte del quarto di Meridiano**.
- **E non** la **quarantamilionesima** parte del Meridiano.

Ma non è la stessa cosa??

Sembra, . . . ma non per i 'talebani' del sistema decimale!

Il pendolo di un 'metro planetario' nei diversi pianeti

- È possibile, che, avendo scelto un pendolo che è lungo una frazione fissa del meridiano, esso abbia un ben preciso valore di periodo?

Il pendolo di un 'metro planetario' nei diversi pianeti

- È possibile, che, avendo scelto un pendolo che è lungo una frazione fissa del meridiano, esso abbia un ben preciso valore di periodo?
- Come è legato il periodo del pendolo alle caratteristiche del pianeta?

Il pendolo di un 'metro planetario' nei diversi pianeti

- È possibile, che, avendo scelto un pendolo che è lungo una frazione fissa del meridiano, esso abbia un ben preciso valore di periodo?
- Come è legato il periodo del pendolo alle caratteristiche del pianeta?
- Accelerazione di gravità sulla superficie di un pianeta omogeneo sferico (**esercizio per casa**):

$$g = \frac{4}{3} \pi \rho G R$$

Il pendolo di un 'metro planetario' nei diversi pianeti

- È possibile, che, avendo scelto un pendolo che è lungo una frazione fissa del meridiano, esso abbia un ben preciso valore di periodo?
- Come è legato il periodo del pendolo alle caratteristiche del pianeta?
- Accelerazione di gravità sulla superficie di un pianeta omogeneo sferico (**esercizio per casa**):

$$g = \frac{4}{3} \pi \rho G R$$

- Per un pendolo lungo $(2\pi R)/40000000 = \pi/2 \times 10^{-7} R$ si ottiene (altro **esercizio**):

$$T(l_m) = \frac{\pi}{\sqrt{2/3 \times 10^7 \rho G}} \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}} .$$

Battito del 'pendolo metrico' e 'secondo' nei pianeti

- $T(l_m) \propto 1/\sqrt{\rho}$ dipende solo dalla densità del pianeta e non da massa e dimensioni separatamente!

Battito del 'pendolo metrico' e 'secondo' nei pianeti

- $T(l_m) \propto 1/\sqrt{\rho}$ dipende solo dalla densità del pianeta e non da massa e dimensioni separatamente!
- Confrontiamo $T(l_m)/2$ con la 86400-ma parte del 'giorno' nei diversi pianeti

Battito del 'pendolo metrico' e 'secondo' nei pianeti

	ρ (g/cm ³)	g (m/s ²)	l_m (m)	$\frac{T(l_m, g)}{2}$ (s)	$T_{rot}/86400$ (s)
Mercury	5.43	3.70	0.38	1.01	58.6
Venus	5.24	8.89	0.95	1.03	-243
Earth	5.52	9.80	1.00	1.00	1.00
Mars	3.93	3.69	0.53	1.19	1.03
Jupiter	1.33	23.17	11.23	2.19	0.41
Saturn	0.69	8.98	9.47	3.23	0.45
Uranus	1.32	8.71	4.01	2.13	0.72
Neptune	1.64	11.03	3.89	1.87	0.67

Perchè il metro batte il secondo?

⇒ **Nessuna ragione fisica profonda.**

Quindi

- Una pura coincidenza.
- Una cosa voluta.

Origine del metro

È ben noto che il metro sia frutto dell'Illuminismo e della Rivoluzione Francese (connubio fra ideali di razionalità e determinazione rivoluzionaria)

Origine del metro

È ben noto che il metro sia frutto dell'Illuminismo e della Rivoluzione Francese (connubio fra ideali di razionalità e determinazione rivoluzionaria)

Ma questo non è sufficiente: perché non ci si è riusciti con il tempo? (I rivoluzionari francesi avevano provato a decimalizzare il giorno!)

Origine del metro

È ben noto che il metro sia frutto dell'Illuminismo e della Rivoluzione Francese (connubio fra ideali di razionalità e determinazione rivoluzionaria)

Ma questo non è sufficiente: perché non ci si è riusciti con il tempo? (I rivoluzionari francesi avevano provato a decimalizzare il giorno!)

Il motivo del successo Francese fu anche dovuto alla confusa situazione metrologica in Francia nel XVIII secolo, alla quale era necessario porre rimedio

→ le sole unità di lunghezza contavano più di 800 nomi, per un totale di circa 250000 campioni!

Sul caos francese del '700

Già prima dell'avvento della Rivoluzione Francese la metrologia era diventata un problema nazionale.

“It is quite evident that the diversity of weights and measures of different countries, and frequently in the same province, is a source of embarrassment in commerce, in the study of physics, in history, and even in politics itself; the unknown names of foreign measures, the laziness or difficulty in relating them to our own give rise to confusion in our ideas and leave us in ignorance of facts which could be useful to us”

(La Condamine, 1774)

⇒ A volte dal caos nasce l'ordine...

Cambiare pesi e misure (e valuta) non è facile

Bisogna tener conto di diversi fattori:

- pratici, come dover cambiare strumenti, convertire registri, etc.

Cambiare pesi e misure (e valuta) non è facile

Bisogna tener conto di diversi fattori:

- **pratici**, come dover cambiare strumenti, convertire registri, etc.
- **sociologici**, con persone che tendono ad approfittare della conversione o della buona fede, ingenuità e ignoranza della gente (si pensi all'effetto Euro);

Cambiare pesi e misure (e valuta) non è facile

Bisogna tener conto di diversi fattori:

- **pratici**, come dover cambiare strumenti, convertire registri, etc.
- **sociologici**, con persone che tendono ad approfittare della conversione o della buona fede, ingenuità e ignoranza della gente (si pensi all'effetto Euro);
- **psicologici**, dati dalla difficoltà ad adattarsi alla nuova unità (quanti di noi pensano ancora in lire e in “mila lire”?
... per scoprire che certi prezzi, come un SMS a 300 lire, sono un furto...)

Cambiare pesi e misure (e valuta) non è facile

Bisogna tener conto di diversi fattori:

- pratici, come dover cambiare strumenti, convertire registri, etc.
- sociologici, con persone che tendono ad approfittare della conversione o della buona fede, ingenuità e ignoranza della gente (si pensi all'effetto Euro);
- psicologici, dati dalla difficoltà ad adattarsi alla nuova unità (quanti di noi pensano ancora in lire e in “mila lire”?
... per scoprire che certi prezzi, come un SMS a 300 lire, sono un furto...)

Comunque, in tempi di sovranità nazionali e banche centrali, il cambiamento delle valute è abbastanza facile. Ben più difficile è il caso delle unità di misure, per le quale sembra che non ci siano leggi che tengano.

(anche ai nostri giorni!).

Unità di potenza nell'Italia del III millennio

Il Sistema Internazionale è adottato per legge dagli anni settanta, e l'unità di misura della potenza è il Watt, ma:

Unità di potenza nell'Italia del III millennio

Il Sistema Internazionale è adottato per legge dagli anni settanta, e l'unità di misura della potenza è il Watt, ma:

- per autoveicoli si usano i cavalli (HP o CV);

Unità di potenza nell'Italia del III millennio

Il Sistema Internazionale è adottato per legge dagli anni settanta, e l'unità di misura della potenza è il Watt, ma:

- per autoveicoli si usano i cavalli (HP o CV);
- le caldaie casalinghe sono date in kCal/h

Unità di potenza nell'Italia del III millennio

Il Sistema Internazionale è adottato per legge dagli anni settanta, e l'unità di misura della potenza è il Watt, ma:

- per autoveicoli si usano i cavalli (HP o CV);
- le caldaie casalinghe sono date in kCal/h (ma le stufette in W);

Unità di potenza nell'Italia del III millennio

Il Sistema Internazionale è adottato per legge dagli anni settanta, e l'unità di misura della potenza è il Watt, ma:

- per autoveicoli si usano i cavalli (HP o CV);
- le caldaie casalinghe sono date in kCal/h (ma le stufette in W);
- i condizionatori in Btu/h.

Unità di potenza nell'Italia del III millennio

Il Sistema Internazionale è adottato per legge dagli anni settanta, e l'unità di misura della potenza è il Watt, ma:

- per autoveicoli si usano i cavalli (HP o CV);
- le caldaie casalinghe sono date in kCal/h (ma le stufette in W);
- i condizionatori in Btu/h.

Il peggio è che, contrariamente a centimetri e pollici, dei quali si sa, se non altro, che indicano la stessa cosa con numeri diversi, praticamente nessuno è cosciente che Btu/h e Watt misurano la stessa cosa e che è possibile fare conversioni da un'unità all'altra (per scoprire, ad esempio, che un condizionatore di 7000 Btu/h ha un potere refrigerante di 2000 W).

Cronaca dell'imposizione del metro in Francia

- 1791** Viene scelta la nuova unità di misura
- 1795** Il sistema metrico decimale è adottato per legge
- 1812** Napoleone decreta un sistema ibrido, con vecchi nomi legati al metro e suddivisione non decimale.
- 1837** Il decreto del 1812 viene abrogato e i vecchi nomi banditi.
- 1840** L'uso di unità non metriche diventa un reato punito penalmente.

La rivoluzione metrologica del 1791

- Una commissione,* incaricata di scegliere la nuova unità di misura viene formata il 16 febbraio 1791.
- La commissione riporta la sua decisione all'Accademia delle Scienze il 19 marzo 1791.
- Il 26 marzo 1791 l'Assemblea Nazionale accetta la proposta dell'Accademia del sistema decimale e della della nuova unità di misura di lunghezza basata sul meridiano.

(*) Ne fecero parte Borda, Condorcet, Lagrange, Laplace e Monge, con i quali interagì anche Lavoisier.

Gli alti ideali della commissione

Un'unità di lunghezza **presa dalla natura**:

“The idea to refer all measures to a unit of length taken from nature has appeared to the mathematicians since they learned the existence of such a unit as well as the possibility to establish it: they realized it was the only way to exclude any arbitrariness from the system of measures and to be sure to preserve it unchanged for ever, without any event, except a revolution in the world order, could cast some doubts in it; they felt that such a system did not belong to a single nation and no country could flatter itself by seeing it adopted by all the others.”

Gli alti ideali della commissione

Un'unità che sia **di tutti** e di nessuno in particolare

“Actually, if a unit of measure which has already been in use in a country were adopted, it would be difficult to explain to the others the reasons for this preference that were able to balance that spirit of repugnance, if not philosophical at least very natural, that peoples always feel towards an imitation looking like the admission of a sort of inferiority. As a consequence, there would be as many measures as nations.”

I possibili candidati

Tre furono le unità di lunghezza prese in esame dalla commissione

I possibili candidati

Tre furono le unità di lunghezza prese in esame dalla commissione

- Il pendolo del secondo ('che batte il secondo', ovvero $T/2 = 1 \text{ s}$),

I possibili candidati

Tre furono le unità di lunghezza prese in esame dalla commissione

- Il pendolo del secondo ('che batte il secondo', ovvero $T/2 = 1 \text{ s}$),
- Il quarto di meridiano.

I possibili candidati

Tre furono le unità di lunghezza prese in esame dalla commissione

- Il pendolo del secondo ('che batte il secondo', ovvero $T/2 = 1 \text{ s}$),
- Il quarto di meridiano.
- Il quarto di equatore.

I possibili candidati

Tre furono le unità di lunghezza prese in esame dalla commissione

- Il pendolo del secondo ('che batte il secondo', ovvero $T/2 = 1 \text{ s}$),
 - Il quarto di meridiano.
 - Il quarto di equatore.
- La prima è legata all'accelerazione di gravità e al periodo di rotazione terrestre. - Le altre due sono legate alle dimensioni della Terra.
- Ovviamente, di queste due l'unità pratica sarebbe stata un opportuno sottomultiplo decimale.

And the winner is...

⇒ La commissione scelse il quarto di meridiano.

And the winner is...

⇒ La commissione scelse il quarto di meridiano.

A due secoli di distanza

- Non ha molto senso giudicare con il senno del poi.

And the winner is...

⇒ La commissione scelse il quarto di meridiano.

A due secoli di distanza

- Non ha molto senso giudicare con il senno del poi.
- Ma possiamo essere interessati a
 - conoscere le ragioni della scelta;
 - farci un'idea se tale scelta fu veramente la più felice.

And the winner is...

⇒ La commissione scelse il quarto di meridiano.

A due secoli di distanza

- Non ha molto senso giudicare con il senno del poi.
- Ma possiamo essere interessati a
 - conoscere le ragioni della scelta;
 - farci un'idea se tale scelta fu veramente la più felice.

Nota: nel giudicare la correttezza di una decisione non si deve giudicare, banalmente, dall'esito, ma dagli elementi che avevano coloro che hanno preso tale decisione.

(→ *Uscire di casa la mattina può essere una buona scelta, anche se per strada ti cade un meteorite in testa...*)

Il pendolo del secondo, questo sconosciuto

The idea of basing units of length on nature had been advocated far before it reached definitive success with the advent of the French Revolution.

Though there were also proposals to relate the unit of length to the size of Earth, the unit that came out quite **'naturally'** — or at least this was the proposal that had the largest consensus — was the length of a pendulum oscillating with a given, well defined period.

1583 Galileo: isocronismo del pendolo

1657 Huygens: orologio a pendolo

Il pendolo del secondo, questo sconosciuto

The idea of basing units of length on nature had been advocated far before it reached definitive success with the advent of the French Revolution.

Though there were also proposals to relate the unit of length to the size of Earth, the unit that came out quite **'naturally'** — or at least this was the proposal that had the largest consensus — was the length of a pendulum oscillating with a given, well defined period.

1583 Galileo: isocronismo del pendolo

1657 Huygens: orologio a pendolo

⇒ the pendulum can relate space to time!

Spazio \longleftrightarrow tempo

Discovering the possibility of grounding the unit of length, imperfect and arbitrary since ever, to something regular and constant, as the alternation of days and nights, must have been seen with enthusiasm by many scientists.

Spazio \longleftrightarrow tempo

Discovering the possibility of grounding the unit of length, imperfect and arbitrary since ever, to something regular and constant, as the alternation of days and nights, must have been seen with enthusiasm by many scientists.

Unità di tempo? Nessun dubbio sul secondo.

Spazio \longleftrightarrow tempo

Discovering the possibility of grounding the unit of length, imperfect and arbitrary since ever, to something regular and constant, as the alternation of days and nights, must have been seen with enthusiasm by many scientists.

Unità di tempo? Nessun dubbio sul secondo.

Periodo o semiperiodo? ($\simeq 25$ cm o $\simeq 100$ cm) Preferenza universale per il semiperiodo (la 'vibrazione' del pendolo).

Spazio \iff tempo

Discovering the possibility of grounding the unit of length, imperfect and arbitrary since ever, to something regular and constant, as the alternation of days and nights, must have been seen with enthusiasm by many scientists.

Unità di tempo? Nessun dubbio sul secondo.

Periodo o semiperiodo? ($\simeq 25$ cm o $\simeq 100$ cm) Preferenza universale per il semiperiodo (la 'vibrazione' del pendolo).

Prime proposte del 'seconds pendulum':

- Huygens e Rømer (≈ 1650), a seguito di uno studio di Marsenne (Parigi, 1644);
- Royal Society inglese (1660);
- Picard (1668);
- Tito Livio Burattini (1675)

Spazio \longleftrightarrow tempo

Discovering the possibility of grounding the unit of length, imperfect and arbitrary since ever, to something regular and constant, as the alternation of days and nights, must have been seen with enthusiasm by many scientists.

Unità di tempo? Nessun dubbio sul secondo.

Periodo o semiperiodo? ($\simeq 25$ cm o $\simeq 100$ cm) Preferenza universale per il semiperiodo (la 'vibrazione' del pendolo).

Prime proposte del 'seconds pendulum':

- Huygens e Rømer (≈ 1650), a seguito di uno studio di Marsenne (Parigi, 1644);
- Royal Society inglese (1660);
- Picard (1668);
- Tito Livio Burattini (1675) \rightarrow la proposta più moderna \Rightarrow

Tito Livio Burattini e il metro cattolico

Tito Livio Burattini (Agordo, 1617 - Kracovia, 1681):

Egyptologist, inventor, architect, cartographer scientist, instrument-maker, and traveler.

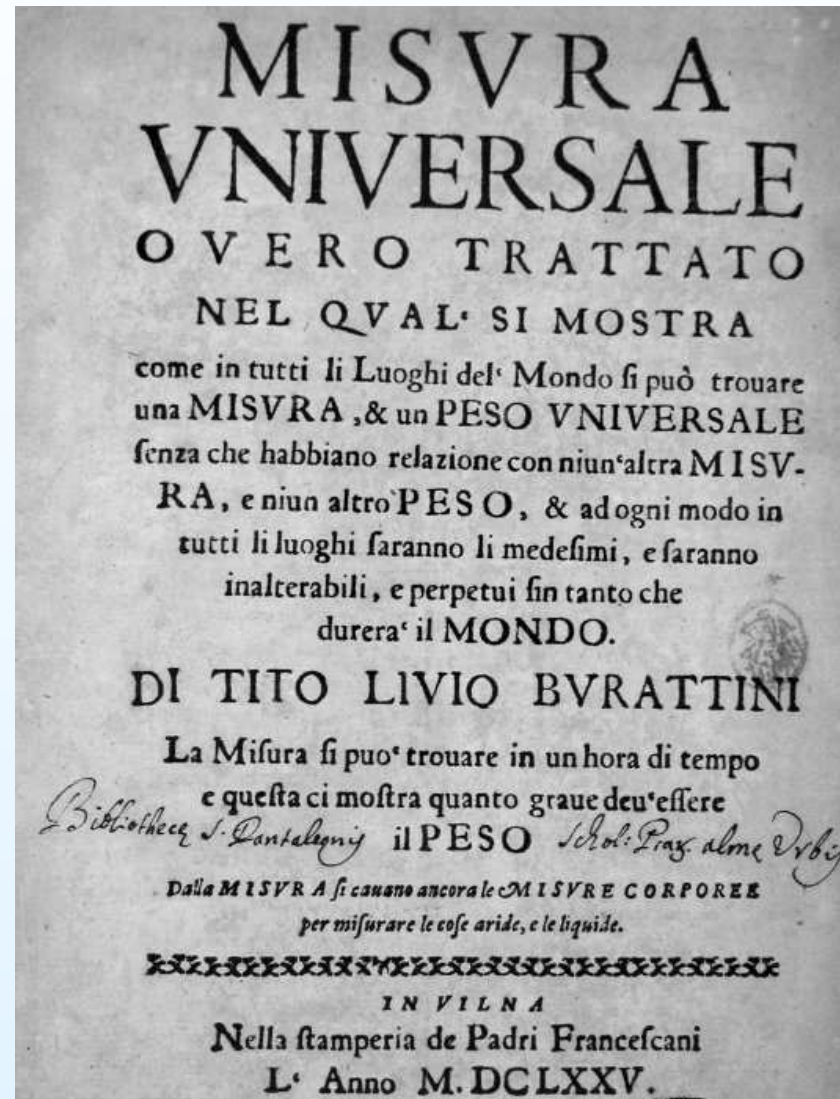
Extremely versatile person (he even designed 'flying machines'!), with interests in mathematics, physics, astronomy, geodesy and economics.

He spent a few years in Egypt: triangulation map; measurements of pyramids and obelisks; copied and classified monuments.

Maker of microscope and telescope lenses, he performed optical experiments and contributed to the discovery of irregularities on Venus' surface.

In 1645, he published an improvement of Galileo's hydrostatic balance.

Tito Livio Burattini e il metro cattolico



Tito Livio Burattini e il metro cattolico

MISURA UNIVERSALE

- Several modern concepts and nomenclature that appeared for the first time in his book.
- The most relevant of them is the idea of relating different units via physical quantities in order to set up a complete system starting from the unit of time.
- Già nel frontespizio appare per la prima volta “Universale” applicato ad un’unità di misura.
- He made the suggestion to call metro cattolico (catholic meter — ‘catholic’ in the sense of universal) a standard realized by the pendulum.

Tito Livio Burattini e il metro cattolico

*“Dunque li Pendoli saranno la base dell’opera mia, e da quelli cavarò prima il mio Metro Cattolico, cioè misura universale, che così mi pare di nominarla in lingua Greca, e poi da questa cavarò un **Peso Cattolico**[†],”*

“Il Metro Cattolico non è altro che la lunghezza di un Pendolo, le di cui vibrazioni siano 3600 in un hora [...] ch’io intendo d’un Pendolo libero, e non di quelli che sono attaccati agli Horologi.”

Tito Livio Burattini e il metro cattolico

⇒ Proposta per una **attività di laboratorio**:

Dopo aver presentato il personaggio di Burattini e l'unità di misura da lui proposta, far scoprire agli studenti quanto sarebbe stato lungo il metro cattolico.

La convergenza metrologica del 1790

Francia, 1790

In April 1790, one year before the work of the commission that finally decided to base a unit of length on the dimension of Earth, a project based on a unit of length determined by the seconds pendulum at the reference latitude of 45° was presented to the National Assembly by Charles Maurice de Talleyrand[†], upon a suggestion by Antoine-Nicolas Caritat de Condorcet (1774).

In August 1790 the proposal was indeed decreed by the King Louis XVI.

(Why there was then the February-March 1791 commission?
A metrological revolution inside the revolution...)

La convergenza metrologica del 1790

USA, 1790

Jefferson presents to the House of Representatives “Plan for establishing uniformity in the Coinage, Weights, and Measures of the United States”.

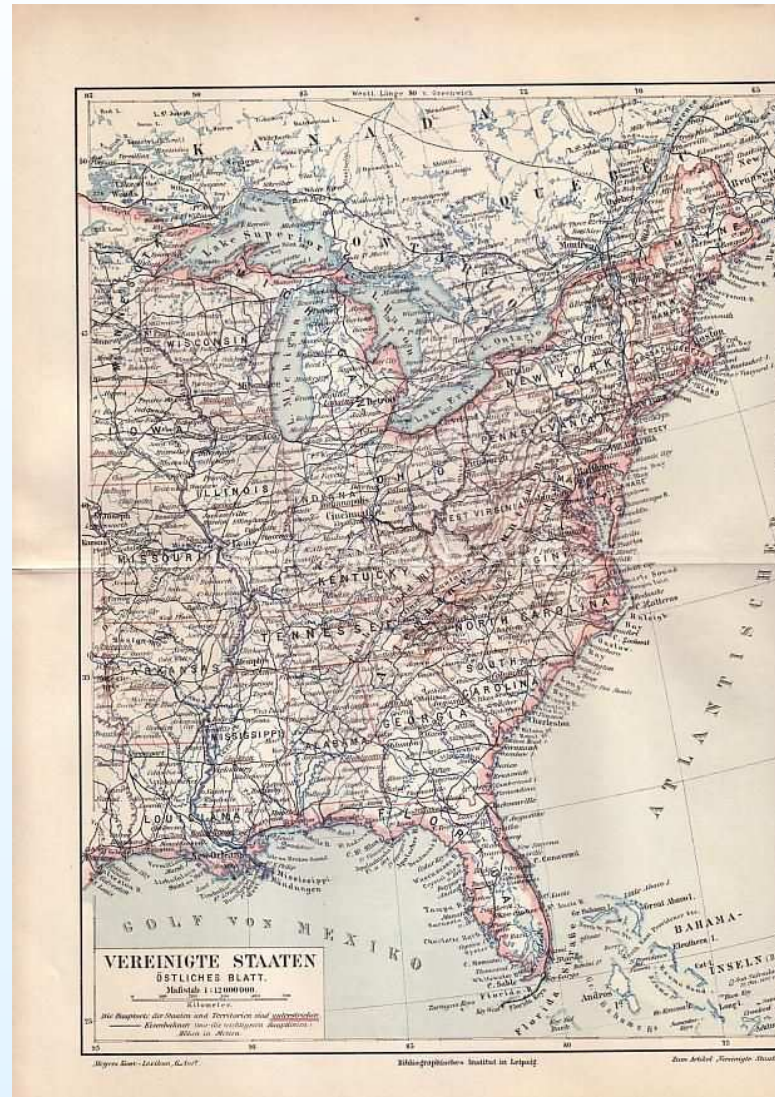
Again, the unit of length was based on the regular oscillation of a pendulum, though the technical solution of an **oscillating rod** rather than a simple pendulum was preferred.

[**Esercizio → lunghezza della barra del secondo.**]

Jefferson states to have read the Talleyrand’s report and, because in order to reach an agreement, to have changed the reference latitude of the pendulum from 38° , “medium latitude of the United States”, to 45° .

Non una concessione da poco ... ⇒

La convergenza metrologica del 1790



La convergenza metrologica del 1790



45° at sea level was quite difficult at that time
(West USA was still beyond the Far West...)

Great Britain and Germany, 1790

An analogous reform of the system of weights and measures was discussed in the same years in the British Parliament. There too the seconds pendulum was proposed, obviously with London latitude as reference, advocated by Sir John Riggs Miller, who was in contact with Talleyrand.

The seconds pendulum was also supported by German scientists.

La convergenza metrologica del 1790

As a matter of fact, at the time the French Academy of Sciences had to choose the unit of length, the seconds pendulum seemed the most mature candidate for the unit of length.

Moreover, with some diplomatic work concerning the choice of the reference parallel — and Talleyrand was the right man for that task —, there were good chances to reach an agreement among France, Great Britain and United States.

Jefferson had already accepted the French proposal of the 45th parallel, because *“middle term between the equator and both poles, and a term which consequently might unite the nations of both hemispheres, appeared to me well chosen, and so just that I did not hesitate a moment to prefer it to that of 38⁰”*.

Perché la commissione scelse il meridiano?

Ma la commissione scelse il Meridiano!

(Commissione misteriosamente formata sei mesi dopo che il Re aveva decretato il pendolo del secondo!)

Ovviamente, anche unità di misura basate sulle dimensioni della Terra non erano una novità, anche se non godevano della popolarità del metro del secondo.

La Terra come unità di lunghezza

1670 Mouton suggested the unit that we still use in navigation and call now ('nautical mile'): the length of one minute of the Earth's arc along a meridian, equal to 1852 m.

1720 the astronomer Jean Cassini proposed the radius of Earth, a 'natural' unit for a spherical object (he had also indicated the one ten-millionth part of the radius as the best practical unit).

→ But neither of these old, French proposals are mentioned in the report of the commission!

Le motivazioni della commissione

Ricordiamo i candidati:

- il pendolo del secondo;
- un quarto del meridiano;
- un quarto dell'equatore,

Le motivazioni della commissione

Equatore: difficile da misurare e ‘non democratico’:

“So, we believe we are bound to decide to assume this kind of unit of measure and also to prefer the quarter of the meridian to the quarter of the equator.”

“The operations that are necessary to establish the latter could be carried out only in countries that are too far from ours and, as a consequence, we should have to undertake expenditures as well as to overcome difficulties that would be superior to the advantages that seem to be promised.”

“The regularity of this circle is not more assured than the similarity or regularity of the meridians. The size of the celestial arc, that corresponds to the space that would be measured, is less susceptible to be determined with precision [Problema della longitudine!.[†]]

“Finally it is possible to state that all peoples belong to one of Earth’s meridians, while only a group of peoples live along the equator.”

Le motivazioni della commissione

Pendolo del secondo:

The pendulum was rejected after a long discussion (two pages over a total of eleven of the document — the quarter of equator is instead ruled out in less than half a page)

Viene ammesso che *“The length of the pendulum has appeared in general to deserve preference; it has the advantage of being the easiest to be determined, and as a consequence to be verified.”*

Then the report specifies that the pendulum should be a simple pendulum at the reference latitude of 45° .

There was still the problem of the reference time of the pendulum, since the second was considered an *“arbitrary subdivision of this natural unit [the day]”*. Soluzione proposta: il pendolo che batte il giorno(!).

⇒ Nessun elemento veramente a sfavore

⇒ Ne viene accampato uno di natura estetica. (→)

Le motivazioni della commissione

Pendolo del secondo: problema di naturalezza (?):

*“[...] one would still have to include an heterogeneous element, time, or what is here the same thing, the intensity of the gravitational force at the Earth’s surface. Now, **if it is possible to have a unit of length that does not depend on any other quantity, it seems natural to prefer it.**”*

“[...] Actually, it is much more natural to refer the distance between two places to a quarter of one of the terrestrial circles than to refer it to the length of the pendulum.”

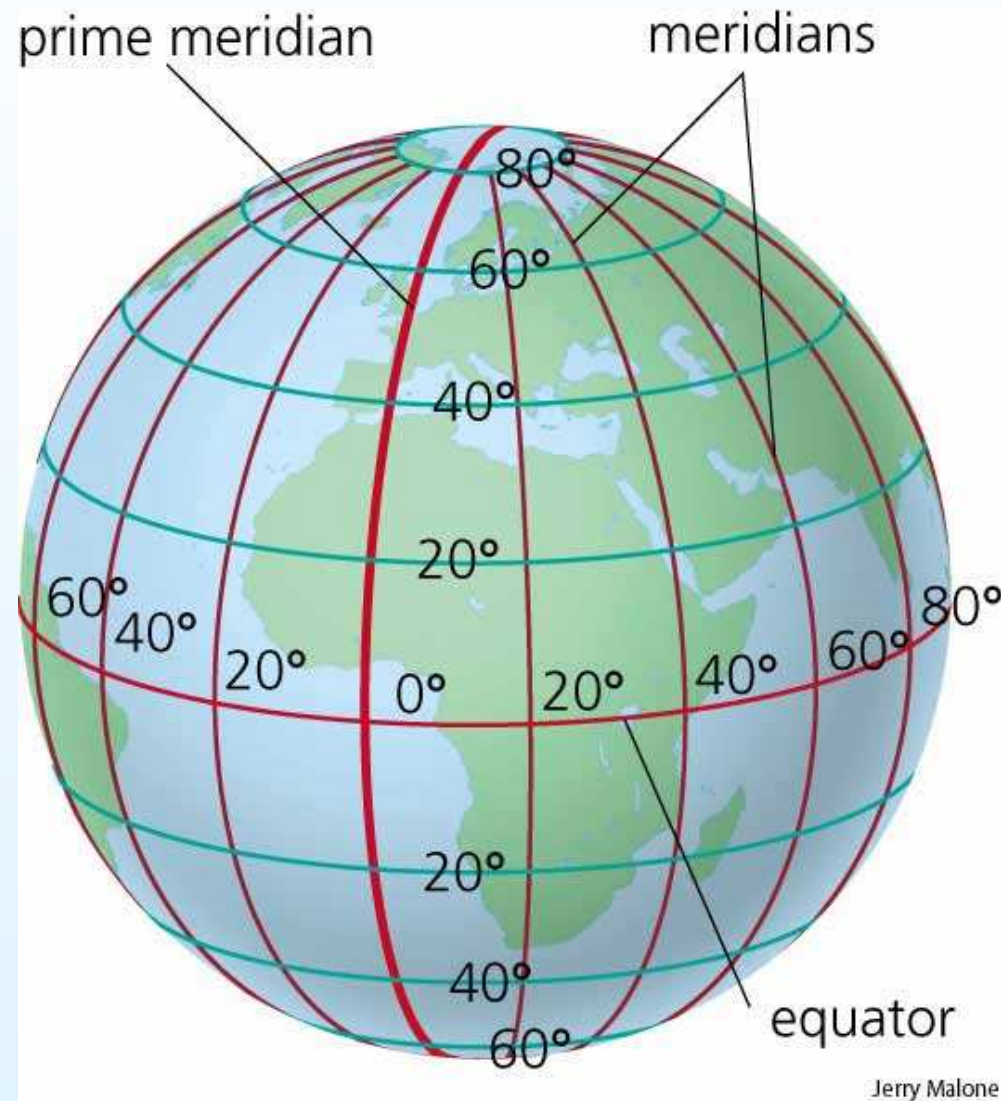
Le motivazioni della commissione

⇒ Meridiano:

“The quarter of the Earth meridian would become then the real unit of length; and the ten million-th part of this length would be its practical unit.”

Quanto è lungo un metro?

Definita l'unità di misura bisognava costruirne un campione.



Quanto è lungo un metro?

Definita l'unità di misura bisognava costruirne un campione.

Certamente non si poteva stendere una fettuccia dal Polo all'Equatore e dividerla in 10 milioni di parti uguali.

Quanto è lungo un metro?

Definita l'unità di misura bisognava costruirne un campione.

Certamente non si poteva stendere una fettuccia dal Polo all'Equatore e dividerla in 10 milioni di parti uguali.

E nemmeno si poteva misurare, in qualche altro modo, l'intera distanza Polo-Equatore (all'epoca il Polo era un'astrazione matematica).

Quanto è lungo un metro?

Definita l'unità di misura bisognava costruirne un campione.

Certamente non si poteva stendere una fettuccia dal Polo all'Equatore e dividerla in 10 milioni di parti uguali.

E nemmeno si poteva misurare, in qualche altro modo, l'intera distanza Polo-Equatore (all'epoca il Polo era un'astrazione matematica).

→ Misurarne un arco ed estrapolare.

Quanto è lungo un metro?

Definita l'unità di misura bisognava costruirne un campione.

Certamente non si poteva stendere una fettuccia dal Polo all'Equatore e dividerla in 10 milioni di parti uguali.

E nemmeno si poteva misurare, in qualche altro modo, l'intera distanza Polo-Equatore (all'epoca il Polo era un'astrazione matematica).

→ Misurarne un arco ed estrapolare.

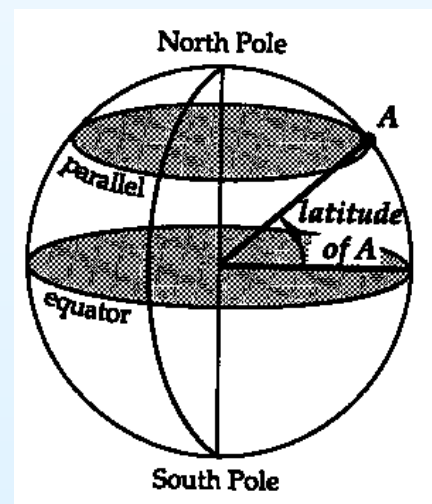
Ovviamente tali misure andavano effettuate utilizzando le unità di allora.

ligne [<i>line</i>]		2.25583 mm
pouce [<i>inch</i>]	12 lignes	27.0699 mm
pied (de Roy) [(<i>Royal</i>) <i>foot</i>]	12 pouces	32.4839 cm
toise [<i>fathom</i>]	6 pieds = 864 lignes	194.904 cm
leigue postale [<i>postal league</i>]	2000 toises	3898.07 m

La conoscenza del meridiano nel 1791

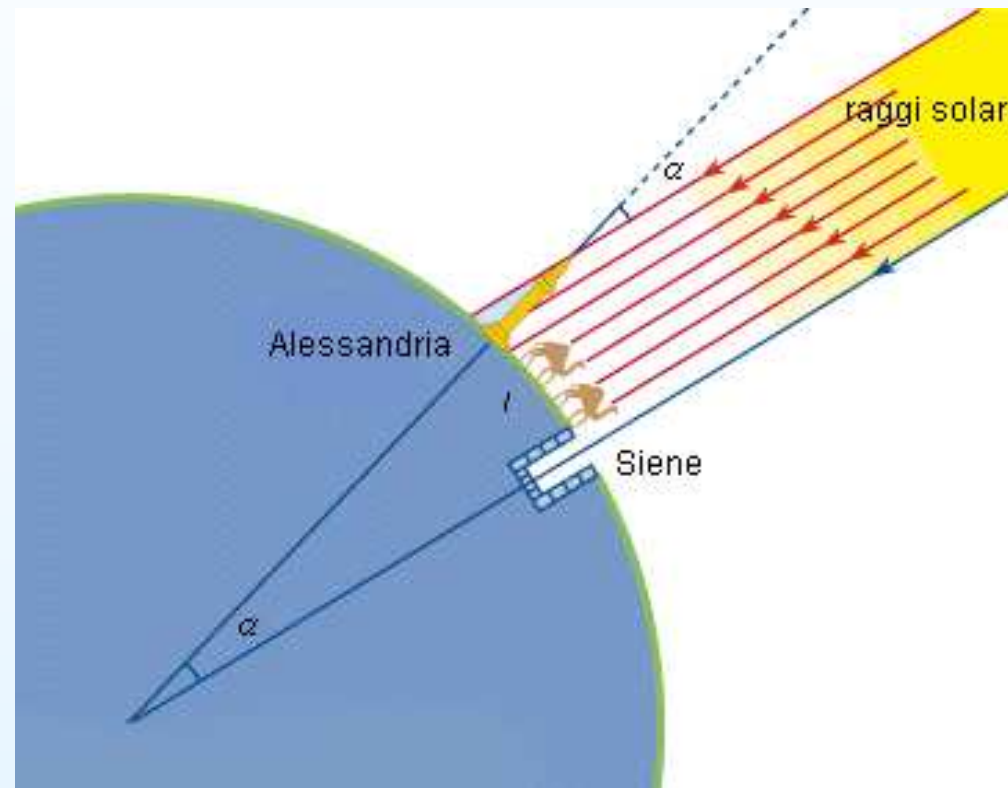
La tecnica di base, sostanzialmente sempre la stessa dai tempi di Eratostene:

- definire una linea Nord-Sud
- mediante osservazioni astronomiche, misurare la differenza di latitudine fra due punti.
- misurare la distanza fra tali punti lungo un'ideale "superficie terrestre" al livello del mare (compensando per le irregolarità locali). Tecniche di triangolazioni in 3-D.



La conoscenza del meridiano nel 1791

Cosa fece Eratostene (III secolo A.C.):



Alessandria: 31° N 30° E; Siene (Assuan) 24° N 33° E.

[\Rightarrow *Eratostene: $\alpha = 2\pi/50$ ($= 7.2^\circ$)]*

<http://www.vialattea.net/eratostene/>.

<file:///home/giulio/w/tex/slides/abilitanti/www/www.via>

La conoscenza del meridiano nel 1791

					(km)
Eratosthenes	(III B.C.)	250000	stadium		≈ 40000
Al-Mamun	820	$56 \frac{2}{3}$	Arab. mile		39986
Fernel	1525	$56746 \times 360^\circ$	toise		39816
Snellius	1617	$55100 \times 360^\circ$	toise		38661
Norwood	1635	$57300 \times 360^\circ$	toise		40204
Picard	1670	$57060 \times 360^\circ$	toise		40036
J. Cassini	1718	$57097 \times 360^\circ$	toise		40062
Lacaille and Cassini de Th.	1740	$57027 \times 360^\circ$	toise		40013

La conoscenza del meridiano nel 1791

				l_m (m)
Eratosthenes	(III B.C.)	250000	stadium	≈ 1.0
Al-Mamun	820	$56 \frac{2}{3}$	Arab. mile	0.9997
Fernel	1525	$56746 \times 360^\circ$	toise	0.9954
Snellius	1617	$55100 \times 360^\circ$	toise	0.9665
Norwood	1635	$57300 \times 360^\circ$	toise	1.0051
Picard	1670	$57060 \times 360^\circ$	toise	1.0009
J. Cassini	1718	$57097 \times 360^\circ$	toise	1.0016
Lacaille and Cassini de Th.	1740	$57027 \times 360^\circ$	toise	1.00033 {443.44 lgn}

Il problema dello schiacciamento della Terra

Estrapolare da un arco al quarto di meridiano richiede

- Misurare la lunghezza di un arco di meridiano
- Misurare l'angolo di arco sotteso al centro della Terra
- Avere un modello geometrico credibile

Il problema dello schiacciamento della Terra

Estrapolare da un arco al quarto di meridiano richiede

- Misurare la lunghezza di un arco di meridiano
- Misurare l'angolo di arco sotteso al centro della Terra
- Avere un modello geometrico credibile

Era già noto all'epoca (**Newton!**) che la Terra dovesse essere schiacciata ai poli, a causa della rotazione.

→ Per estrapolare da un arco al quarto occorre conoscere l'entità dello schiacciamento

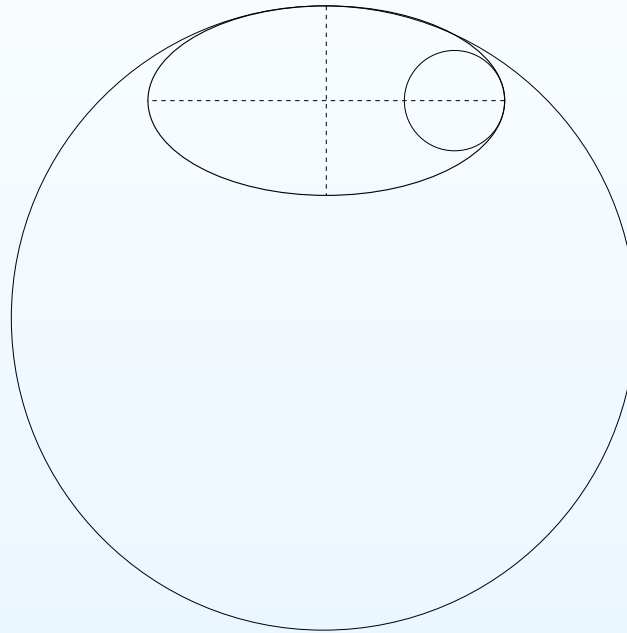
La Terra come la conosciamo oggi

<i>Equatorial radius, a</i>	6 378 137 m
<i>Polar radius, b</i>	6 356 752 m
<i>Equivolume sphere radius</i>	6 371 000 m
<i>Geometric flattening, $f = (a - b)/a$</i>	0.0033528 = 1/298.26
<i>Ellipticity, $(a^2 - b^2)/(a^2 + b^2)$</i>	0.0033585 = 1/297.75
<i>Eccentricity, $e = \sqrt{1 - b^2/a^2}$</i> <i>(for $f \ll 1$, e is about $\sqrt{2f}$)</i>	0.08182 = 1/12.22
<i>Mass, M</i>	5.97369×10^{24} kg
<i>Mean density</i>	5.5148×10^3 kg m ⁻³
<i>Normal gravity at equator</i>	9.7803267 m s ⁻²
<i>Normal gravity at poles</i>	9.832186 m s ⁻²
<i>$G M$ (where G is the gravitational constant)</i>	3.986005×10^{14} m ³ s ⁻²

Cosa si intende per “raggio medio”? Medio rispetto a cosa? $(a + b)/2$?
 $R_{equivolume}$? Distanza media superficie-centro mediata sulla superficie?

Schiacciamento della Terra - principio di misura

Figura esagerata ($f \approx 1/2 \gg 1/300$):

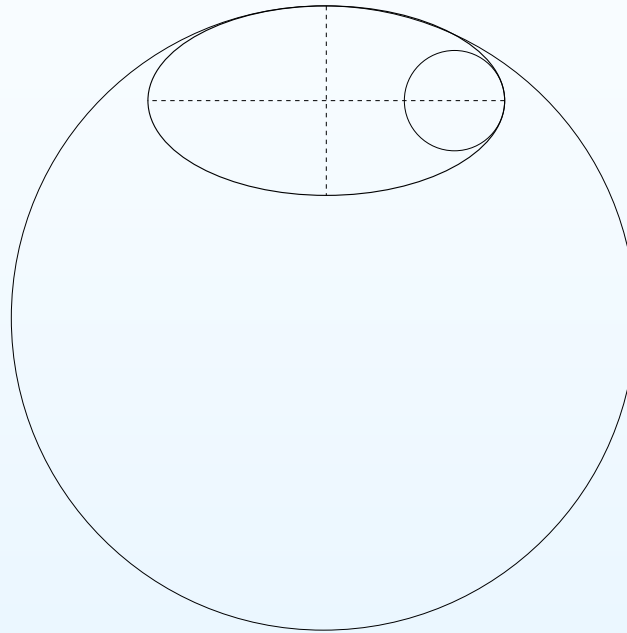


La differenza di latitudine di un grado dà un arco

- corto all'equatore
- lungo al polo

Schiacciamento della Terra - principio di misura

Figura esagerata ($f \approx 1/2 \gg 1/300$):

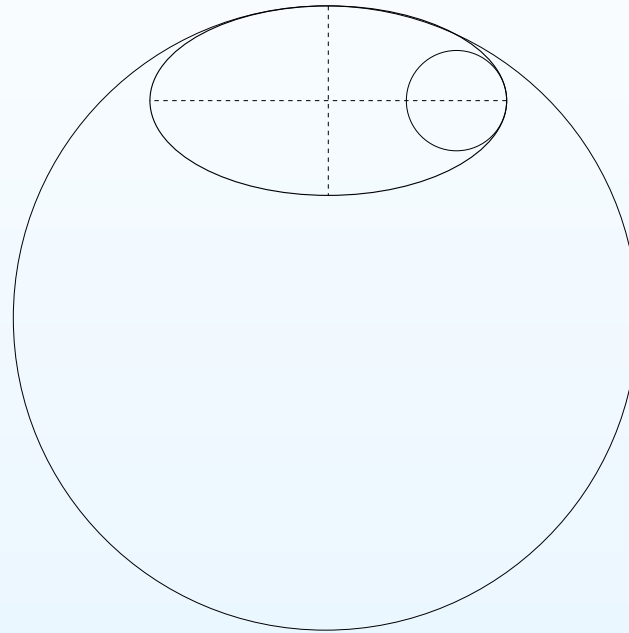


Ovvero, si non si tiene conto dello schiacciamento:

- misure al Nord sovrastimano il meridiano
- misure all'Equatore lo sottostimano

Schiacciamento della Terra - principio di misura

Figura esagerata ($f \approx 1/2 \gg 1/300$):



⇒ confrontando lunghezze di un arco di grado a diverse latitudini è possibile stimare lo schiacciamento della Terra.

Schiacciamento della Terra - misure

Grandi imprese!

		toise/grado	km/grado
Lapland ($\approx 66^\circ$)	1736	57438	111.95
France ($\approx 45^\circ$)	1740	57027	111.15
'Peru' ($\approx 1.5^\circ$)	1745	56748	110.60

La misura in Francia si estende per circa 950 km ($\approx 8.3^\circ$)

Quella in Perù per circa 350 km ($\approx 3^\circ$), in zone montuose.

Quella in Lapponia 'soltanto' 1 grado (≈ 110 km)

$$\Rightarrow \frac{1}{310} \lesssim f \lesssim \frac{1}{280}$$

Schiacciamento della Terra - misure

Grandi imprese!



La nuova missione del meridiano

Il “Rapport sur le choix d’une unité de mesure” suggerisce di ripetere, migliorandola, la misura del 1740, estendendola per più di 120 km (1075 km in totale), fino a Barcellona (un arco di $\simeq 9^\circ 40'$!).

“Cette belle entreprise”

http://www.lne.fr/metrologie_francaise/version_anglaise
<file:///home/giulio/w/tex/slides/abilitanti/figs/meridi>

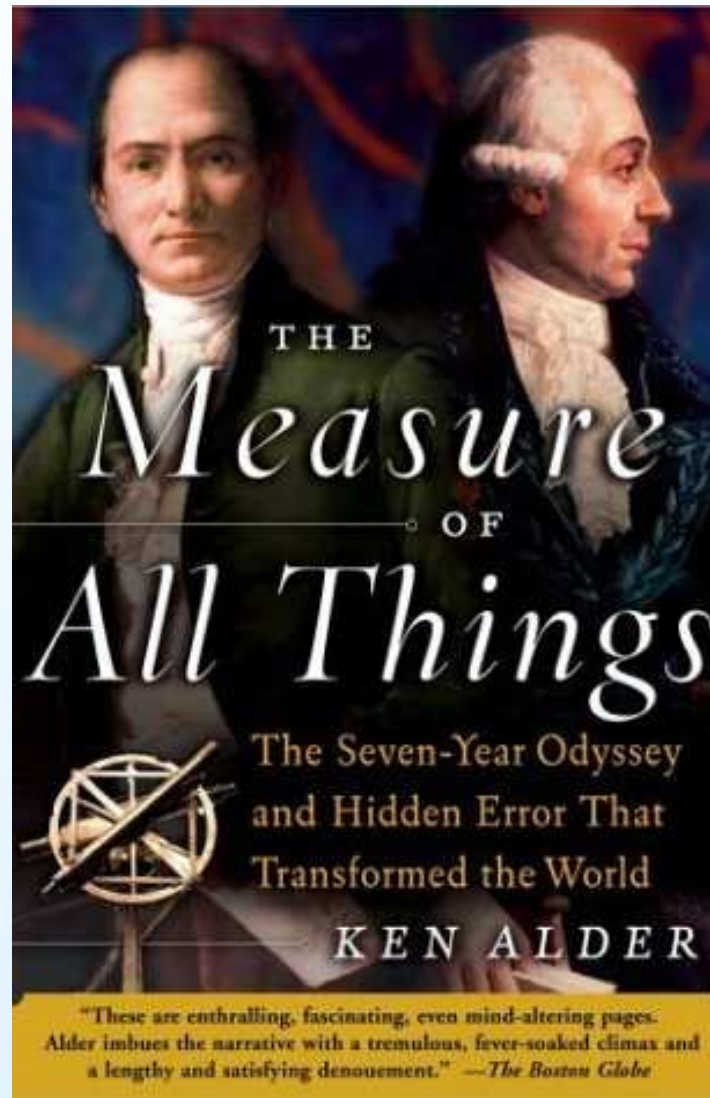
La nuova missione del meridiano

Giustificazione:

*“the ability of the astronomers presently involved in this job, the perfection that the mathematical tools and instruments have acquired in the last times, the magnitude of the measured circle, that is extended by more than nine degrees and one half, the advantage of being this [the meridian arc] cut in the middle by the forty fifth parallel, all that guarantees us the **exact and perfect execution of this beautiful enterprise**, the greatest of this kind.”*

La nuova missione del meridiano

→ Impresa epica (1792-1798)



La nuova missione del meridiano

→ Risultato deludente...

				(km)
Lacaille and Cassini de Th.	1740	$57027 \times 360^\circ$	toise	40013
Delambre and Méchain	1799	20522960	toise	40000
Present value	now	40009152	m	40009.152

La nuova missione del meridiano

→ Risultato deludente...

				l_m (m)
Lacaille and Cassini de Th.	1740	$57027 \times 360^\circ$	toise	1.00033 {443.44 lgn}
Delambre and Méchain	1799	20522960	toise	1 { 443.296 lgn }
Present value	now	40009152	m	1.00023 {443.398 lgn}

La nuova missione del meridiano

→ Ma con una scoperta paradossale...

I meridiani sono irregolari!

Diversi archi di meridiano, aventi lo stesso angolo, avevano lunghezze diverse che non seguivano alcuna regolarità.

La nuova missione del meridiano

→ Ma con una scoperta paradossale...

I meridiani sono irregolari!

Diversi archi di meridiano, aventi lo stesso angolo, avevano lunghezze diverse che non seguivano alcuna regolarità.

La Terra non è un ellissoide regolare (a parte, in ogni caso, questioni orografiche), a causa delle disomogeneità di densità.

La nuova missione del meridiano

→ Ma con una scoperta paradossale...

I meridiani sono irregolari!

Diversi archi di meridiano, aventi lo stesso angolo, avevano lunghezze diverse che non seguivano alcuna regolarità.

La Terra non è un ellissoide regolare (a parte, in ogni caso, questioni orografiche), a causa delle disomogeneità di densità.

⇒ La definizione 'universale' del metro, basata sull'uguaglianza di tutti i meridiani, non ha più senso.

La nuova missione del meridiano

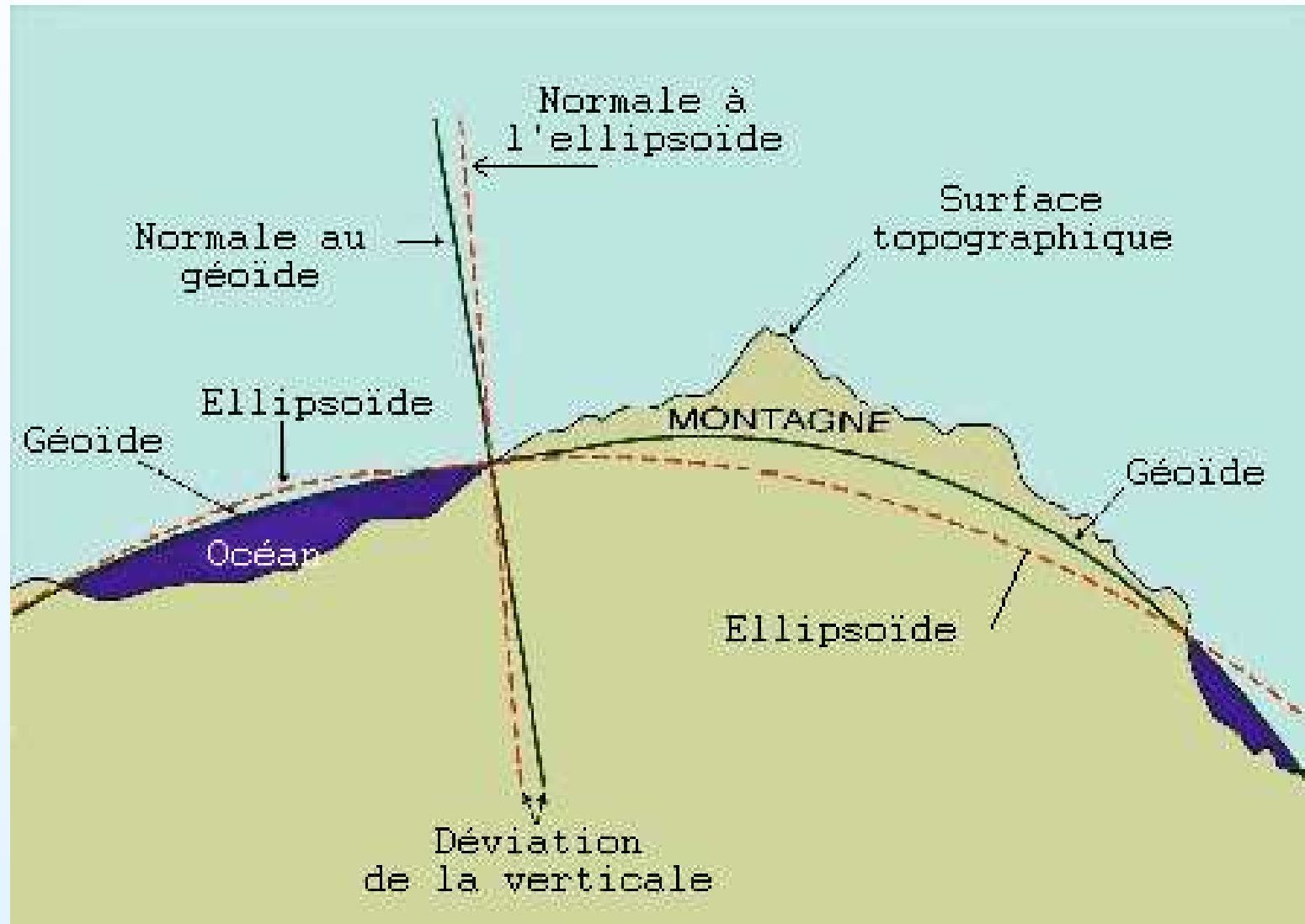
→ Ma con una scoperta paradossale...

Sfera → Ellissoide → Geoide

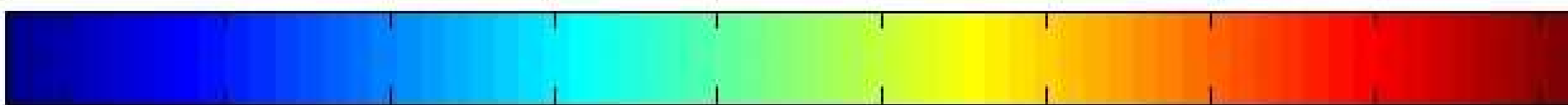
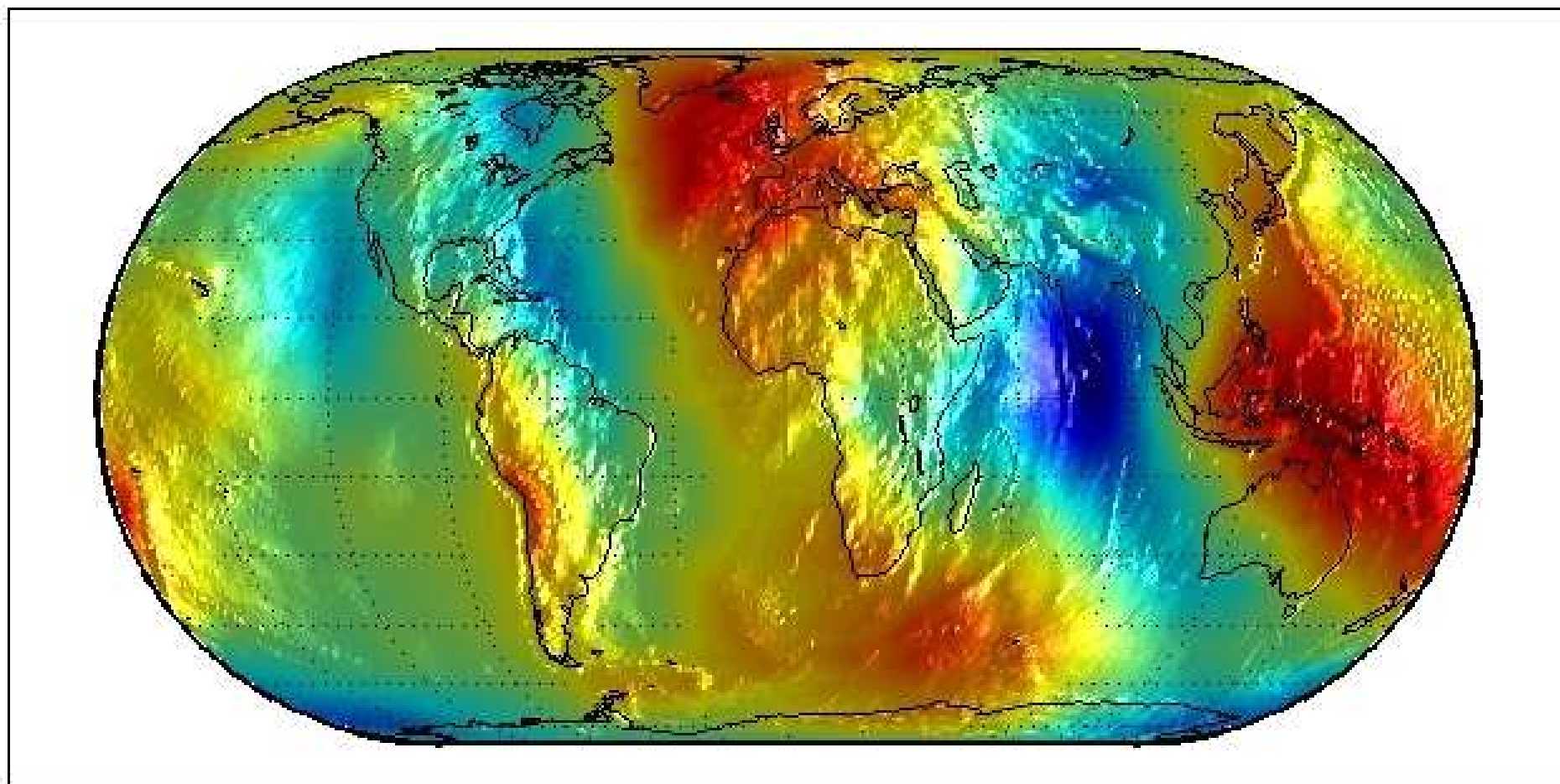
Geoide: Ipotetica superficie equipotenziale tale che, in ogni punto di essa, la forza a cui un corpo è soggetto è ortogonale a tale superficie.

Corrisponde, approssimativamente, alla superficie media dei mari.

Geoide e ellissoide



Geoide e ellissoide



-100

-80

-60

-40

-20

0

20

40

60

80

EGM96 altezza del geoida rispetto all'ellissoide

Adozione e celebrazione del metro

Il problema delle irregolarità non venne capito subito.

Adozione e celebrazione del metro

Il problema delle irregolarità non venne capito subito.

E intanto i politici dell'Assemblea Nazionale scalpitavano (a ragione) per avere la nuova unità di misura.

Adozione e celebrazione del metro

Il problema delle irregolarità non venne capito subito.

E intanto i politici dell'Assemblea Nazionale scalpitavano (a ragione) per avere la nuova unità di misura.

Nel 1793 gli accademici danno per la prima volta un valore, basato sulle misure del 1740: 443.44 linee (1.000325 metri attuali). Per la prima volta viene usato anche il nome **metro** riferito alla nuova unità.

Adozione e celebrazione del metro

Il problema delle irregolarità non venne capito subito.

E intanto i politici dell'Assemblea Nazionale scalpitavano (a ragione) per avere la nuova unità di misura.

Nel 1793 gli accademici danno per la prima volta un valore, basato sulle misure del 1740: 443.44 linee (1.000325 metri attuali). Per la prima volta viene usato anche il nome **metro** riferito alla nuova unità.

1795: Il Sistema Metrico Decimale (incluse unità di superficie, volume e peso, **ma non di tempo**) diventa legge.

Adozione e celebrazione del metro

Il problema delle irregolarità non venne capito subito.

E intanto i politici dell'Assemblea Nazionale scalpitavano (a ragione) per avere la nuova unità di misura.

Nel 1793 gli accademici danno per la prima volta un valore, basato sulle misure del 1740: 443.44 linee (1.000325 metri attuali). Per la prima volta viene usato anche il nome metro riferito alla nuova unità.

1795: Il Sistema Metrico Decimale (incluse unità di superficie, volume e peso, **ma non di tempo**) diventa legge.

La spedizione del meridiano termina nel 1798; una commissione 'internazionale' stabilisce, in base a tali misure, **1 m = 443.296 linee**.

Adozione e celebrazione del metro

Il problema delle irregolarità non venne capito subito.

E intanto i politici dell'Assemblea Nazionale scalpitavano (a ragione) per avere la nuova unità di misura.

Nel 1793 gli accademici danno per la prima volta un valore, basato sulle misure del 1740: 443.44 linee (1.000325 metri attuali). Per la prima volta viene usato anche il nome **metro** riferito alla nuova unità.

1795: Il Sistema Metrico Decimale (incluse unità di superficie, volume e peso, **ma non di tempo**) diventa legge.

La spedizione del meridiano termina nel 1798; una commissione 'internazionale' stabilisce, in base a tali misure, **1 m = 443.296 linee**.

Il campione del metro, una barra di platino, viene presentato solennemente a Parigi il 22 giugno 1799.

Ma americani (e inglesi) non ci stanno

Per gli americani la scelta del meridiano fu, e a ragione, ritenuta inaccettabile.

Ma americani (e inglesi) non ci stanno

Per gli americani la scelta del meridiano fu, e a ragione, ritenuta inaccettabile.

- Aveva rotto, unilateralmente, la collaborazione sul pendolo del secondo.

Ma americani (e inglesi) non ci stanno

Per gli americani la scelta del meridiano fu, e a ragione, ritenuta inaccettabile.

- Aveva rotto, unilateralmente, la collaborazione sul pendolo del secondo.
- Era stata scelta un'unità di fatto determinabile solo in Francia[†]:
 - difficile trovare altrove un arco abbastanza grande, che avesse gli estremi al livello del mare e che fosse a cavallo del 45° parallelo.

Ma americani (e inglesi) non ci stanno

Per gli americani la scelta del meridiano fu, e a ragione, ritenuta inaccettabile.

- Aveva rotto, unilateralmente, la collaborazione sul pendolo del secondo.
- Era stata scelta un'unità di fatto determinabile solo in Francia[†]:
 - difficile trovare altrove un arco abbastanza grande, che avesse gli estremi al livello del mare e che fosse a cavallo del 45° parallelo.
- Scelta in netta contraddizione con gli ideali illuministi a cui sia americani che francesi si ispiravano.

Ma americani (e inglesi) non ci stanno

Per gli americani la scelta del meridiano fu, e a ragione, ritenuta inaccettabile.

- Aveva rotto, unilateralmente, la collaborazione sul pendolo del secondo.
- Era stata scelta un'unità di fatto determinabile solo in Francia[†]:
 - difficile trovare altrove un arco abbastanza grande, che avesse gli estremi al livello del mare e che fosse a cavallo del 45° parallelo.
- Scelta in netta contraddizione con gli ideali illuministi a cui sia americani che francesi si ispiravano.
- Gli americani protestano e seguitano a fare studi sul pendolo del secondo.

Ma americani (e inglesi) non ci stanno

Per gli americani la scelta del meridiano fu, e a ragione, ritenuta inaccettabile.

- Aveva rotto, unilateralmente, la collaborazione sul pendolo del secondo.
- Era stata scelta un'unità di fatto determinabile solo in Francia[†]:
 - difficile trovare altrove un arco abbastanza grande, che avesse gli estremi al livello del mare e che fosse a cavallo del 45° parallelo.
- Scelta in netta contraddizione con gli ideali illuministi a cui sia americani che francesi si ispiravano.
- Gli americani protestano e seguitano a fare studi sul pendolo del secondo.

Poco altro da fare, a parte sottomettersi all'arbitrio francese.

Le proteste del ‘Saggio di Monticello’

“Candor obliges me to confess that the element of measure, adopted by France, is not what I would have approved. [...] We may certainly say, then, that this measure is uncatholic, and I would rather have seen you depart from catholicism in your religion than in your philosophy.” (Jefferson to Condorcet, 1791)

Le proteste del ‘Saggio di Monticello’

“The element of measure adopted by the National Assembly excludes, ipso facto, every nation on earth from a communion of measure with them; for they acknowledge themselves, that a due portion for admeasurement of a meridian crossing the forty-fifth degree of latitude, and terminating at both ends in the same level, can be found in no other country on earth but theirs. It would follow then, that other nations must trust to their admeasurement, or send persons into their country to make it themselves, not only in the first instance, but whenever afterwards they may wish to verify their measures.” ... → ...

Le proteste del 'Saggio di Monticello'

(continua)

“Instead of concurring, then, in a measure which, like the pendulum, may be found in every point of the forty-fifth degree, and through both hemispheres, and consequently in all the countries of the earth lying under that parallel, either northern or southern, they adopt one which can be found but in a single point of the northern parallel, and consequently only in one country, and that country is theirs.”

(Da una lettera a William Short, 1791)

Ma anche il pendolo ha i suoi problemi

Gli americani seguitano a fare studi sulla riproducibilità del campione ottenuto dal pendolo del secondo.

Ma anche il pendolo ha i suoi problemi

Gli americani seguitano a fare studi sulla riproducibilità del campione ottenuto dal pendolo del secondo.

Ma i risultati non convincono: pur effettuando le misure alla stessa latitudine e al livello del mare, i risultati ottenuti da persone diverse in posti diversi sono in disaccordo.

Sostanzialmente è un riflesso delle irregolarità del meridiano, dovute alla non perfette omogeneità della Terra.

Intanto il tempo passa. . .

Intanto il tempo passa. . .

. . . e gli americani sono ancora senza una riforma dei pesi e misure.

La situazione comincia ad essere intollerabile.

[Il paese è grande e si teme una deriva delle unità di pesi e misure.]

Dopo 30 anni dal faditico 1791, non hanno ancora trovato una unità che soddisfacesse ai requisiti filosofici e pratici:

- il metro francese era inaccettabile
- il pendolo del secondo non funzionava

Intanto il tempo passa. . .

Nel frattempo, nel 1821, arriva un report sull'argomento da parte di Quincy Adams, il quale, alle critiche à la Jefferson al metro, ne aggiunge altre di naturalezza, intesa in modo diverso da quanto la vedevano gli accademici francesi:

Intanto il tempo passa. . .

Nel frattempo, nel 1821, arriva un report sull'argomento da parte di Quincy Adams, il quale, alle critiche à la Jefferson al metro, ne aggiunge altre di naturalezza, intesa in modo diverso da quanto la vedevano gli accademici francesi:

- Le unità tradizionali, legate al corpo umano, sono più adatte all'uso quotidiano; è altresì naturale usare unità diverse in ambiti diversi.
 - Il metro è troppo lungo; nel sistema metrico decimale manca qualcosa dell'ordine del piede, che, se tanto successo ha avuto nel passato, vuol dire che è molto congeniale al genere umano; etc.
- Si tratta, sostanzialmente, delle stesse critiche al metro che vengono rivolte oggi dagli americani contrari al suo uso.

Intanto il tempo passa. . .

Nel frattempo, nel 1821, arriva un report sull'argomento da parte di Quincy Adams, il quale, alle critiche à la Jefferson al metro, ne aggiunge altre di naturalezza, intesa in modo diverso da quanto la vedevano gli accademici francesi:

- Le unità tradizionali, legate al corpo umano, sono più adatte all'uso quotidiano; è altresì naturale usare unità diverse in ambiti diversi.
 - Il metro è troppo lungo; nel sistema metrico decimale manca qualcosa dell'ordine del piede, che, se tanto successo ha avuto nel passato, vuol dire che è molto congeniale al genere umano; etc.
- Si tratta, sostanzialmente, delle stesse critiche al metro che vengono rivolte oggi dagli americani contrari al suo uso.

E le critiche di Adams si rivolgono anche al pendolo del secondo, già in crisi per conto suo.

Le strade si dividono

→ **Zugzwang**

Gli americani si rifanno alle vecchie unità inglesi.

The unit finally (but the debate kept going on) adopted in 1832 was the yard defined as the 36 inches comprised between the 27th and the 63d inches of a particular 82-inch bronze bar prepared by an English leading instrument maker, Troughton of London.

The 36-inch space was suppose to be identical with the English standard at 62 degrees Fahrenheit.

1899 - L'abbandono del meridiano

Prima o poi, tutti si resero conto che legare l'unità di misura al meridiano era una follia.

1899 - L'abbandono del meridiano

Prima o poi, tutti si resero conto che legare l'unità di misura al meridiano era una follia.

Ma era difficile, all'epoca, trovare qualcos'altro, preso dalla natura e che avesse le proprietà richieste.

1899 - L'abbandono del meridiano

Prima o poi, tutti si resero conto che legare l'unità di misura al meridiano era una follia.

Ma era difficile, all'epoca, trovare qualcos'altro, preso dalla natura e che avesse le proprietà richieste.

Nel 1899 il metro viene ridefinito come la lunghezza di quella precisa barra di platino custodita a Parigi dal 1799, **senza più alcun riferimento al meridiano.**

1960 - Il metro viene ancorato alla fisica atomica

Ci vuole quasi un altro secolo per riuscire a definire il metro in base a qualche grandezza fisica che garantisca la costanza e la riproducibilità richiesta:

**The meter is redefined as
1 650 763.73 wavelengths of the
radiation corresponding to the
 $2p_{10}$ - $5d_5$ transition of Krypton 86.**

1983 - Il metro si reincontra con il secondo

A meter is the distance covered by light in vacuum in $1/299\,792\,458$ of a second.

Basata sulla costanza della velocità della luce (e delle onde elettromagnetiche), postulata tale dalla relatività ristretta e verificata al meglio sperimentalmente:

ora di valore esatto $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ ($\approx 30 \text{ cm/ns}$).

Ma perché fu scelto il meridiano?

Probabilmente per ragioni socio-tecnico-scientifiche:

- In tempi di Rivoluzione serviva un progetto grosso e facilmente vendibile ai politici per far sopravvivere l'accademia.
- C'era interesse a capire bene la forma della Terra.
- Uno dei membri della Commissione (Borda) aveva inventato uno strumento per misure angolari molto accurate (il meridiano veniva misurato mediante triangolazioni). Era quindi personalmente interessato a mostrare come il suo strumento permettesse una migliore determinazione del meridiano.

E perché proprio il decimilionesimo del quarto?

Difficile spiegarlo. L'unica ragione plausibile è che esso riproduce il pendolo del secondo, che così, cacciato dalla porta, rientra dalla finestra (era ancora preso in considerazione per ricostruirsi il metro, mediante opportuno fattore di conversione).

unit	decimal sub-multiple	practical unit (cm)	$T/2$ (s)
radius	1/10 000 000	64	0.803
diameter	1/10 000 000	128	1.135
meridian	1/100 000 000	40	0.635
1/2 meridian	1/10 000 000	200	1.419
1/4 meridian	1/10 000 000	100	1.004

E perché proprio il decimilionesimo del quarto?

Difficile spiegarlo. L'unica ragione plausibile è che esso riproduce il pendolo del secondo, che così, cacciato dalla porta, rientra dalla finestra (era ancora preso in considerazione per ricostruirsi il metro, mediante opportuno fattore di conversione).

unit	decimal sub-multiple	practical unit (cm)	$T/2$ (s)
radius	1/10 000 000	64	0.803
diameter	1/10 000 000	128	1.135
meridian	1/100 000 000	40	0.635
1/2 meridian	1/10 000 000	200	1.419
1/4 meridian	1/10 000 000	100	1.004

In pratica, in prima approssimazione stiamo usando il metro cattolico di Burattini.

Ma perché il secondo?

Ma, in fondo, a cosa è dovuto il successo della frazione del giorno chiamata secondo?

Ma perché il secondo?

Ma, in fondo, a cosa è dovuto il successo della frazione del giorno chiamata **secondo**?

→ La più piccola unità di misura di tempo con nome proprio.

Ma perché il secondo?

Ma, in fondo, a cosa è dovuto il successo della frazione del giorno chiamata **secondo**?

→ La più piccola unità di misura di tempo con nome proprio.

Avendo tutte le misure una base antropica, vuol dire che tale unità si adatta bene a qualcosa che l'uomo percepisce scandire il tempo.

Ma perché il secondo?

Ma, in fondo, a cosa è dovuto il successo della frazione del giorno chiamata **secondo**?

→ La più piccola unità di misura di tempo con nome proprio.

Avendo tutte le misure una base antropica, vuol dire che tale unità si adatta bene a qualcosa che l'uomo percepisce scandire il tempo.

⇒ ***Il battito del cuore!***

Ma perché il secondo?

Ma, in fondo, a cosa è dovuto il successo della frazione del giorno chiamata secondo?

→ La più piccola unità di misura di tempo con nome proprio.

Avendo tutte le misure una base antropica, vuol dire che tale unità si adatta bene a qualcosa che l'uomo percepisce scandire il tempo.

⇒ *Il battito del cuore!*

→ È stato il cuore a scegliere il metro!

Va dove ti porta il cuore

“Nothing is less in our power than the heart, and far from commanding we are forced to obey it.”

(Jean Jacques Rousseau)

Referenze

Basato sull'articolo

Why does the meter beat the second?

di GdA e Paolo Agnoli.

Fine

FINE

Giorno solare e giorno siderale

- Il giorno siderale è semplicemente pari al periodo di rotazione della Terra (rispetto alle 'stelle fisse' → tempo fra due tramonti di una stella).

Giorno solare e giorno siderale

- Il giorno siderale è semplicemente pari al periodo di rotazione della Terra (rispetto alle 'stelle fisse' → tempo fra due tramonti di una stella).
- Il giorno solare è pari al tempo fra due tramonti (di sole) consecutivi: ⇒ **relazione fra D_{sol} e D_{sid}**
 - Dipende dal periodo dell'anno, cosa ben nota.
 - giorno solare medio.

Giorno solare e giorno siderale

- Il giorno siderale è semplicemente pari al periodo di rotazione della Terra (rispetto alle 'stelle fisse' → tempo fra due tramonti di una stella).
- Il giorno solare è pari al tempo fra due tramonti (di sole) consecutivi: ⇒ **relazione fra D_{sol} e D_{sid}**
 - Dipende dal periodo dell'anno, cosa ben nota.
 - giorno solare medio.
- In realtà oggi, avendo una definizione indipendente di secondo, sappiamo che il giorno solare medio varia ed è solo approssimativamente pari a 86400 secondi:
 - giorno di calendario ('calendar day') è invece, per definizione, 86400 secondi.

Back

torna indietro...

Misure di latitudine e misure di longitudine

Misurare la latitudine è relativamente facile

Misura della longitudine, uno dei grandi problemi del '700:
grande sfida astronomi-orologiai.

Risolto solo con orologi a bilanciere di precisione



Vedi anche “L'isola del giorno dopo” di di Umberto Eco.

<file:///home/giulio/w/tex/slides/abilitanti/www/www.vialattea.net/eratostene/longitudine.html>

Un by-product di fisica fondamentale

La prima evidenza della velocità finita della luce (1676):

http://it.wikipedia.org/wiki/Olaus_Roemer

file:///home/giulio/w/tex/slides/abilitanti/www/Olaus_R

Le lune di Giove: 'sconvolgente scoperta di Galileo:



→ usate come 'orologio celeste' per misurare la longitudine.

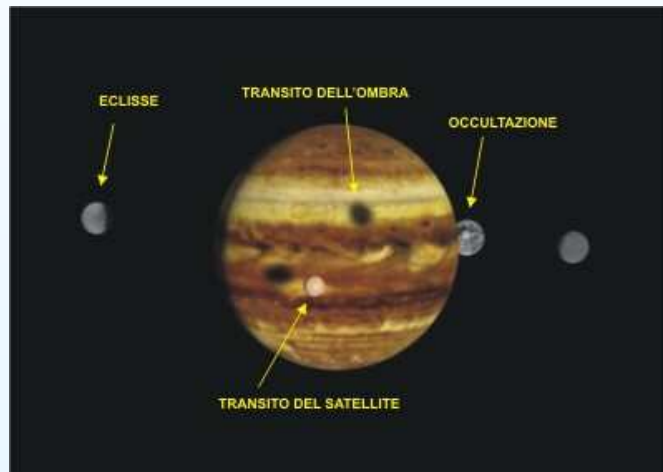
Un by-product di fisica fondamentale

La prima evidenza della velocità finita della luce (1676):

http://it.wikipedia.org/wiki/Olaus_Roemer

file:///home/giulio/w/tex/slides/abilitanti/www/Olaus_R

Le lune di Giove: 'sconvolgente scoperta di Galileo:

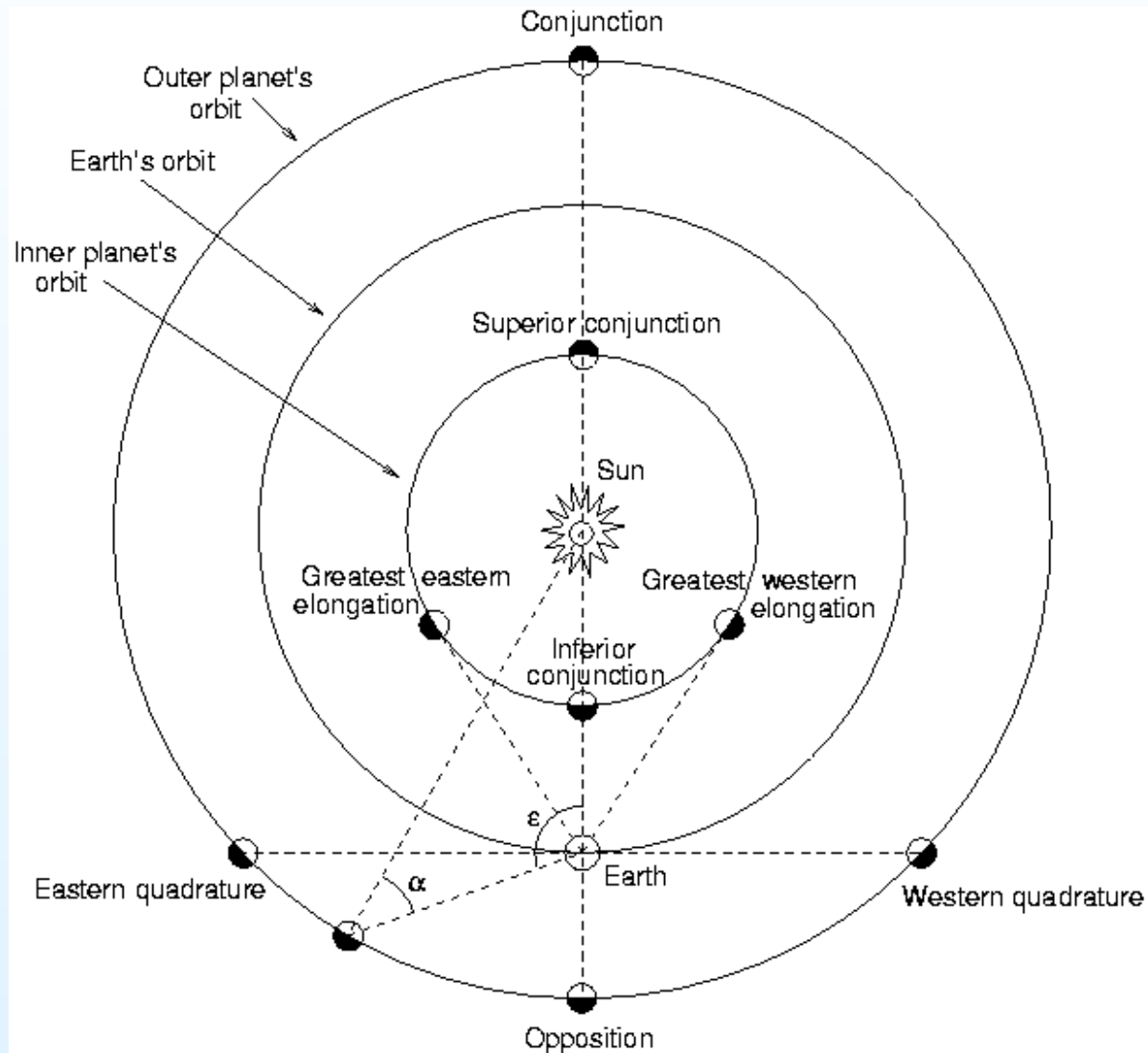


→ usate come 'orologio celeste' per misurare la longitudine.
... finché, con l'aumento della precisione, non ci si accorge che questo orologio a volte va avanti, altre volte va indietro, con regolarità.

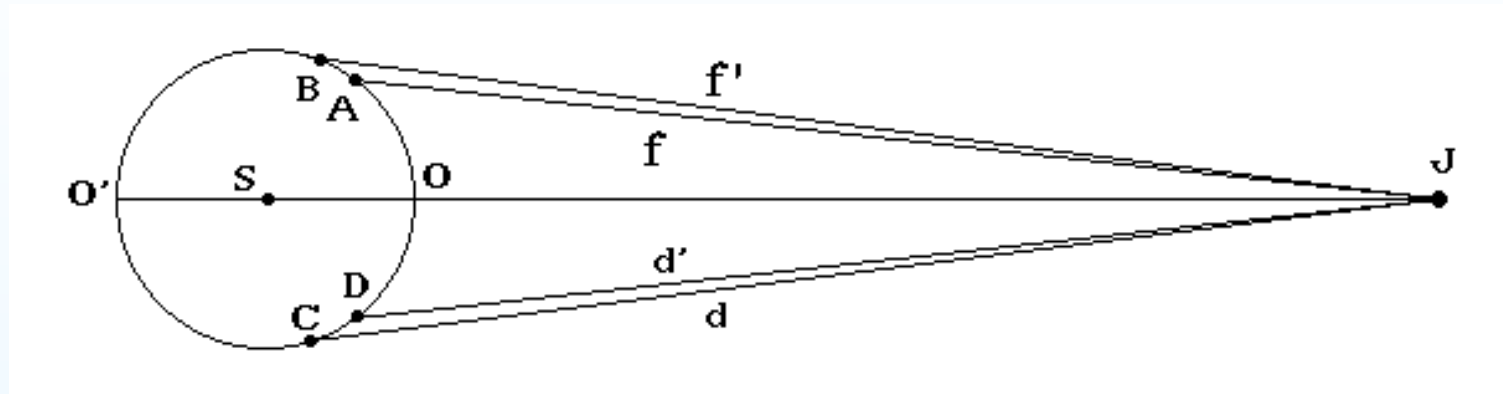
(Per accorgersi di questo bisogna avere dei buoni orologi!)

Un by-product di fisica fondamentale

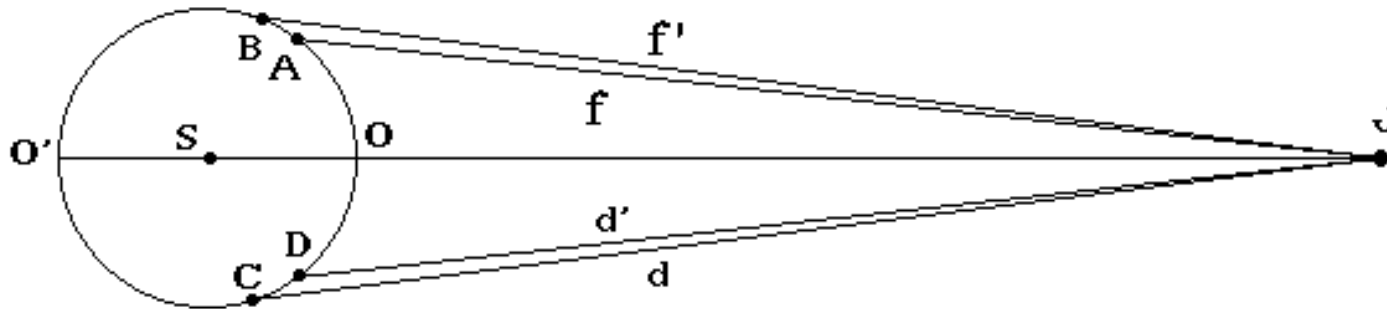
Congiunzione e opposizione:



Un by-product di fisica fondamentale

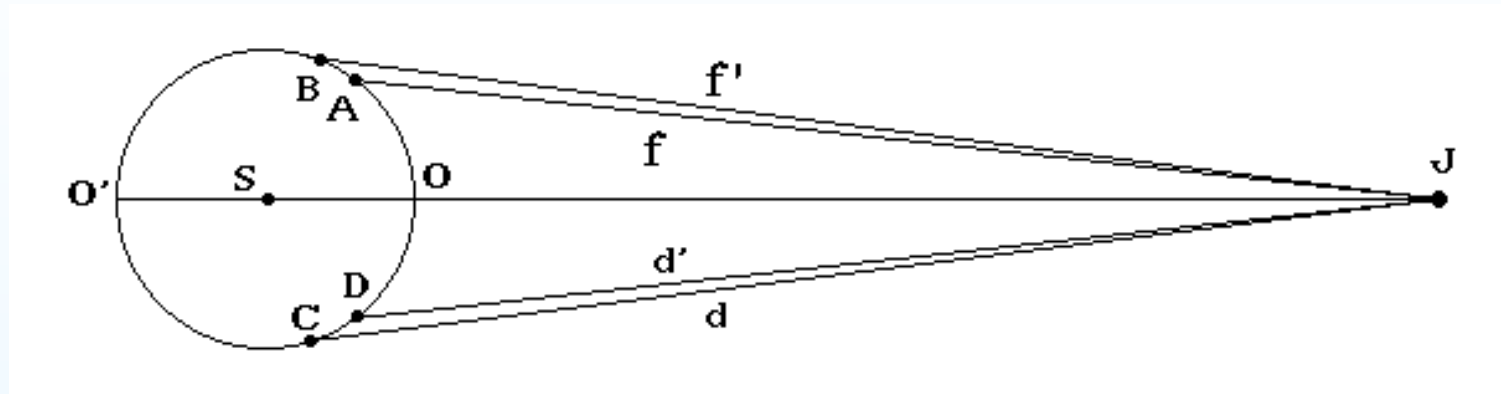


Un by-product di fisica fondamentale



- S e J stanno per Sole e Giove;
- O' congiunzione, O opposizione;
- Io intorno a Giove: fenomeno periodico di periodo $T \simeq 1.53 \times 10^5$ s (1d 18h 28min, ovvero $\simeq 42.5$ h).
- $A \rightarrow B, C \rightarrow D$: variazioni di posizione della Terra in T (ad es. fra due occultazioni di Io).
- $A \rightarrow B$: la Terra si allontana da Giove di $f' - f$;
- $C \rightarrow D$: la Terra si avvicina a Giove di $d - d'$

Un by-product di fisica fondamentale



Se un evento E_1 di lo accade all'istante t_1 ,
il successivo accadrà al tempo $t_2 = t_1 + T$.
Eventi osservati dalla Terra ($t^{(h)}$) in A e B :

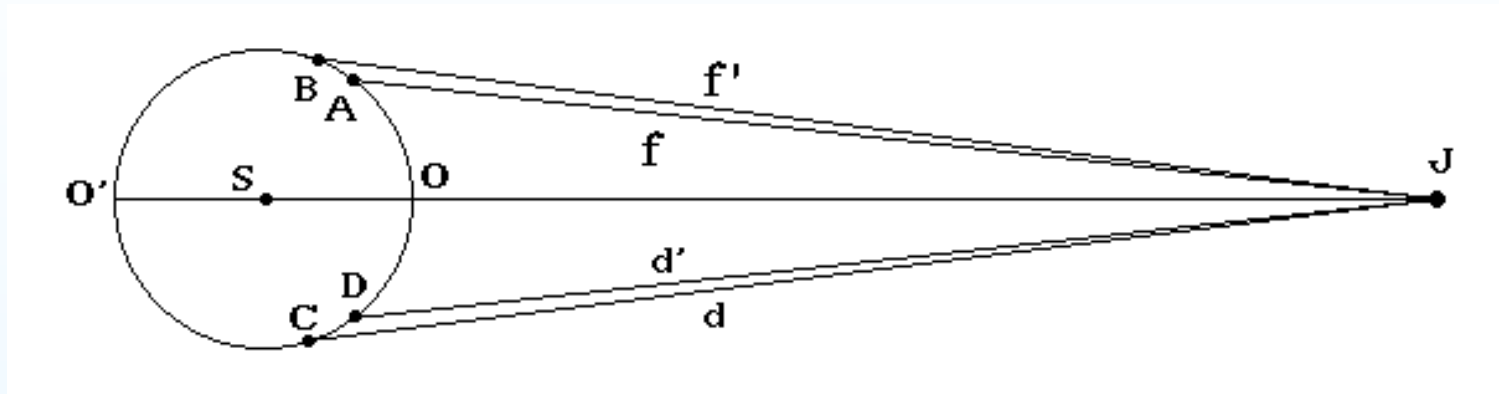
1. Velocità della luce infinita:

$$t_1^{(h)} = t_1$$

$$t_2^{(h)} = t_2$$

$$T^{(h)} = t_2^{(h)} - t_1^{(h)} = t_2 - t_1 = T.$$

Un by-product di fisica fondamentale



Se un evento E_1 di lo accade all'istante t_1 ,
il successivo accadrà al tempo $t_2 = t_1 + T$.
Eventi osservati dalla Terra ($t^{(h)}$) in A e B :

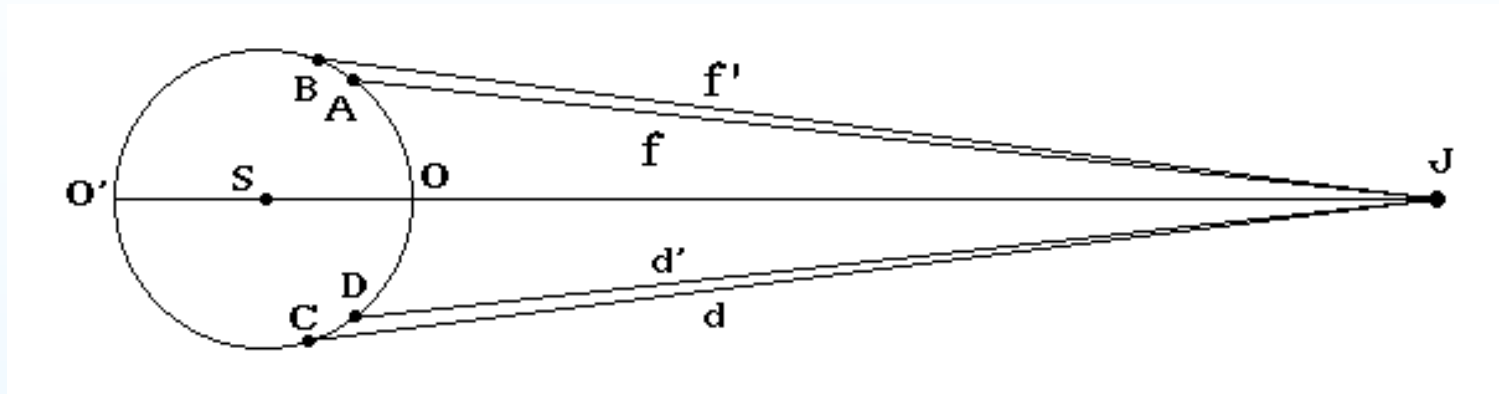
2. Velocità della luce finita, c :

$$t_1^{(h)} = t_1 + f/c$$

$$t_2^{(h)} = t_2 + f'/c$$

$$T^{(h)} = t_2^{(h)} - t_1^{(h)} = t_2 - t_1 + (f' - f)/c = T + (f' - f)/c.$$

Un by-product di fisica fondamentale

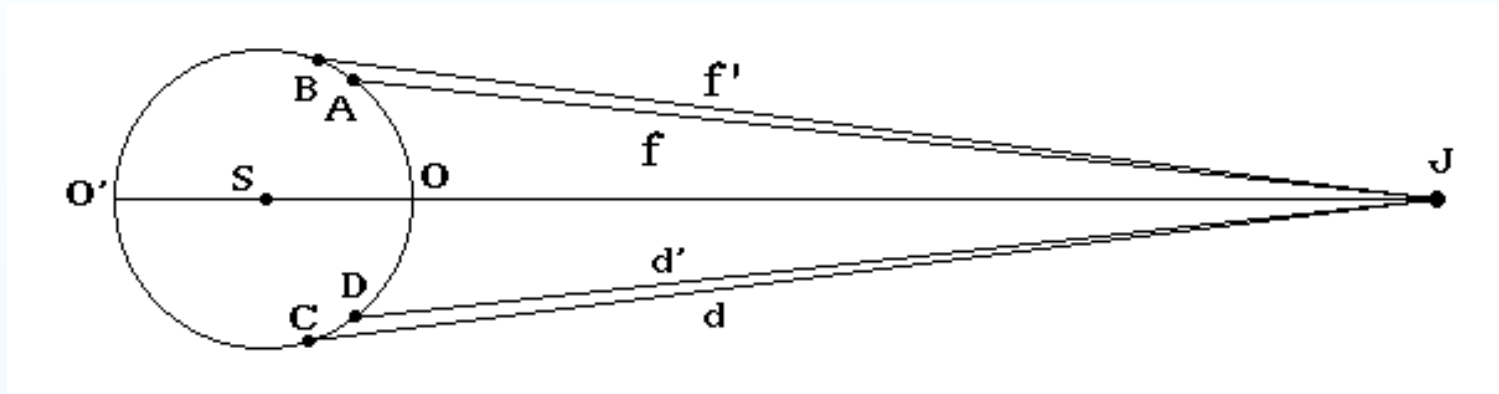


$A \rightarrow B: T^{(h)} > T$: periodo aumenta, frequenza del processo
decrece.

$C \rightarrow D: T^{(h)} < T$: periodo diminuisce, frequenza aumenta.

\Rightarrow **Analogo di effetto Doppler!**

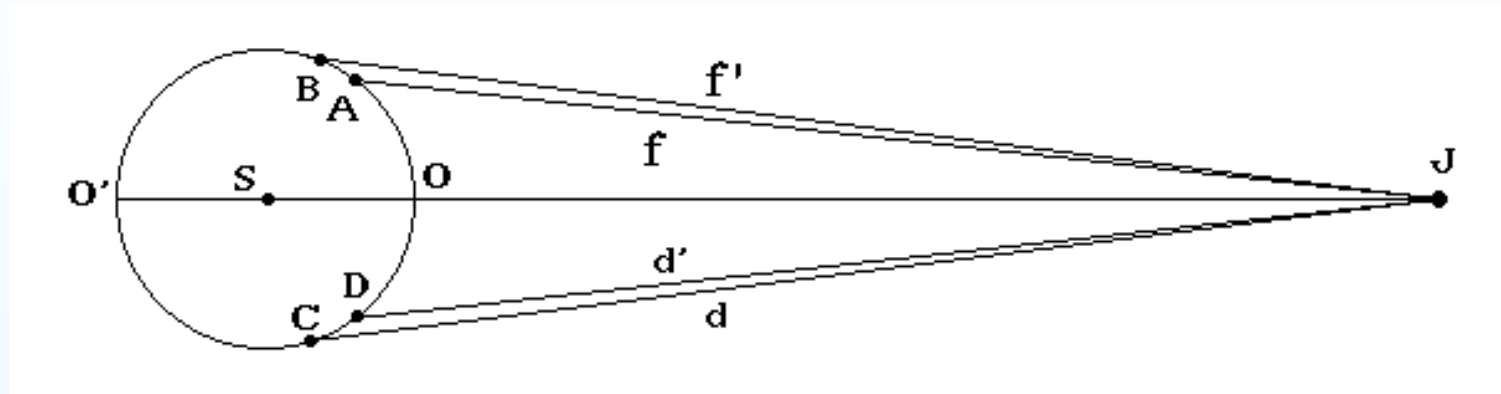
Un by-product di fisica fondamentale



Rømer non poté misurare direttamente c , in quanto non era nota la scala astronomica assoluta (per definizione l'unità astronomica, AU, è pari alla distanza media (att.!) Terra-Sole, il cui valore in unità terrestri non era noto — oggi vale ≈ 150 milioni di km.)

Poté stimare, invece, che, per percorrere un percorso pari a 2 AU (diametro orbita), la luce avrebbe impiegato 22 min (valore attuale 16' 40").

Un by-product di fisica fondamentale



Esercizio per casa:

Stimare la differenza fra due periodi successivi quando la Terra si trova in B .

(Il solo dato nuovo da sapere sono le 42.5 ore fra due occultazioni consecutive di Io.)

Erano bravi! La pubblicazione è del 1676.
(L'orologio a pendolo è del 1657!)

Back

torna indietro...

Dal piede cubo alla libbra romana

L'idea di associare l'unità di massa all'unità di lunghezza risale almeno agli antichi romani, come riportato da Burattini stesso:

“Li Romani, che con la vastità del loro Impero dominarono quasi tutto il Mondo cognito, ebbero ancor essi la loro misura particolare, dalla quale cavarono il Peso; perchè havendo cubicato il Piede, e nel vano del cubo posto tan'acqua di fiume, o di fontana, divisero così il peso di questa in ottanta parti eguali, & una di queste volsero, che fusse il peso d'una libra, & acciò che la loro misura fusse eterna, la facereo scolpire in molti luoghi del loro vastissimo Dominio, perche conservata questa sapevano d'haver conservato ancora il Peso”

→ **esercizio: quanto vale una libbra romana?**

Ma anche il piede romano era andato perso...

... acciò che la loro misura fusse eterna, la facereo scolpire in molti luoghi del loro vastissimo Dominio ...

“mà il tempo nemico acerrimo della perpetuità terrena in non molti secoli ha logorato tutti quei segni, e marchi, che con tanta diligenza dàgli Antichi Romani, erano stati impressi, & hà fatto riuscir vana la loro credenza, come nel progresso della presente Operetta farò ampiamente vedere.”

Back

torna indietro...

Sul caos metrologico francese del '700

The infinite variety of our weights and measures as well as their strange denominations are inevitably a source of confusion for ideas and of embarrassment for trade. However the main source of errors and inaccuracy is not this diversity, but the difference of things bearing the same names. Such a variety, that represents a trap for the good faith at any moment, is much more common than it is believed, as even behind like for example pied, aune etc., which the use seems to have attached the idea of a fixed measure to, there is a multitude of real differences. Nothing could justify such a misuse. It is a duty of the National Assembly to destroy it.

Back

torna indietro...

Gaffe della commissione del metro

La seguente affermazione, contenuta nel “Rapport sur la choix d’une unité de mesure”, suona una presa in giro per il resto del mondo:

One cannot find neither in Europe nor in any other part of the world, unless to measure a much wider angle, a portion of meridian that satisfies at the same time the condition to have the extreme points at sea level, and that of crossing the forty-fifth parallel, if one does not take the line that we propose, or as well another more western meridian from the French coast, until the Spanish one.

Back