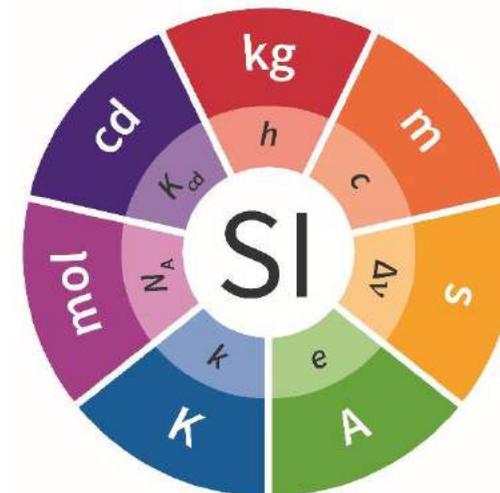


# La costante evoluzione del Sistema Internazionale: dalla sua nascita all'introduzione al nuovo SI

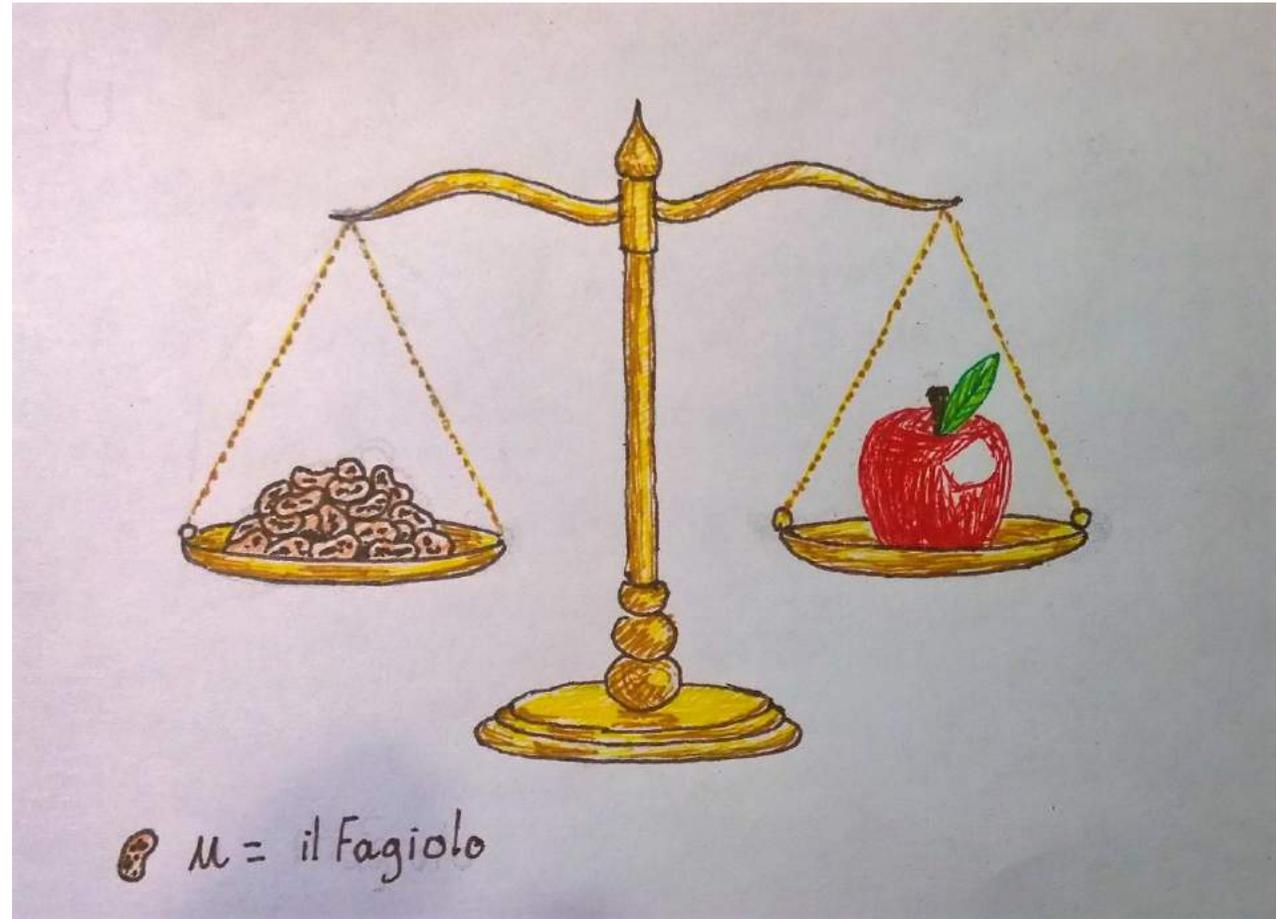
Marco Pisani



# Cosa vuol dire misurare?

Attribuire un numero a una grandezza fisica

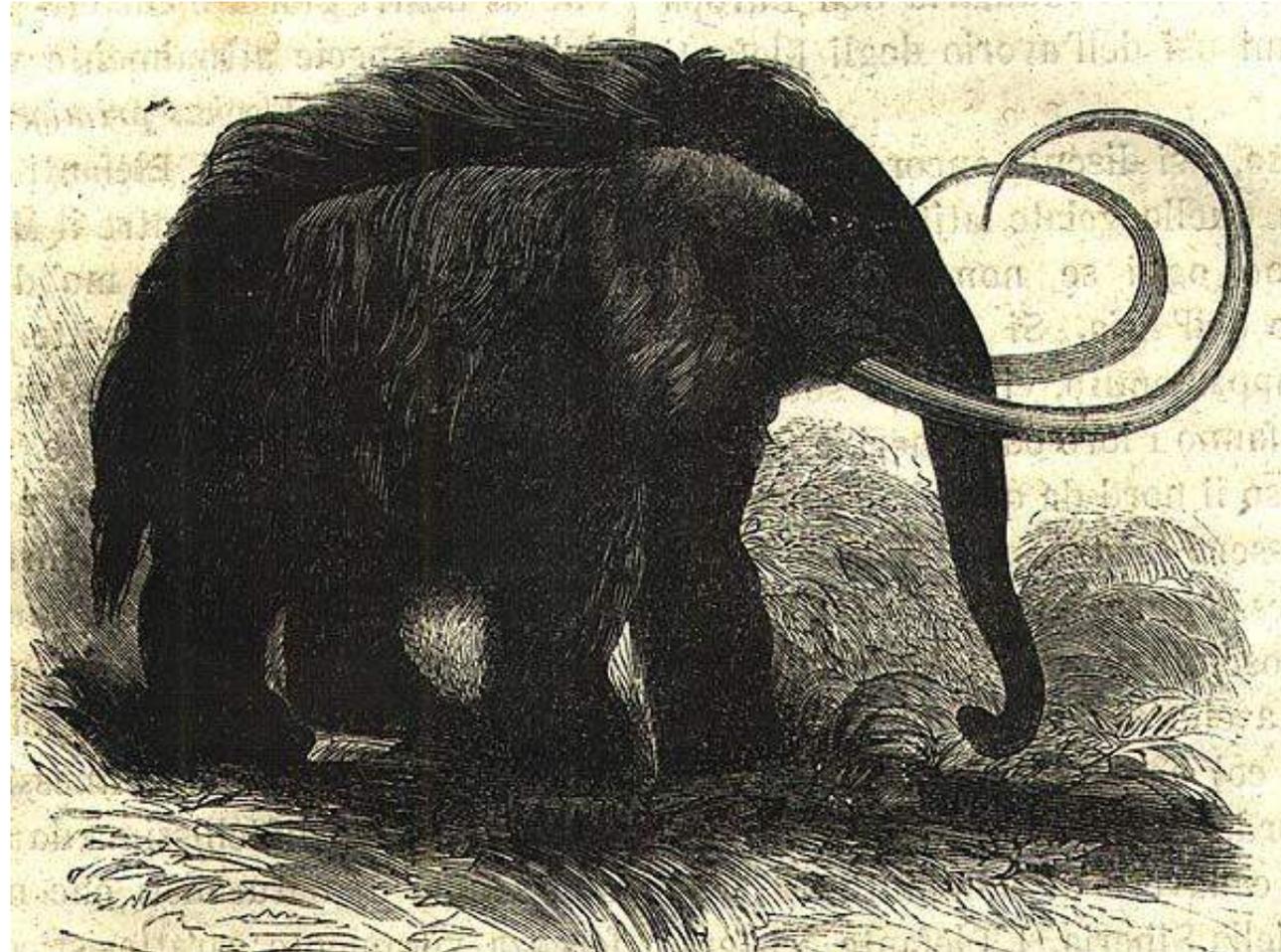
- Si sceglie un unità convenzionale (es. il fagiolo,  $f$ )
- Si confronta il misurando con l'unità
- Peso della mela =  $152 f$



# Quando inizia l'uomo a misurare?

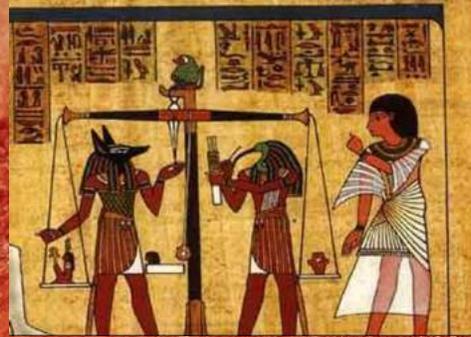
L'esigenza della misura (quantificazione delle cose del mondo) nasce con la civiltà.

Ogni civiltà antica ha lasciato tracce di sistemi di misura



# Le grandezze fondamentali dell'uomo e le relative unità

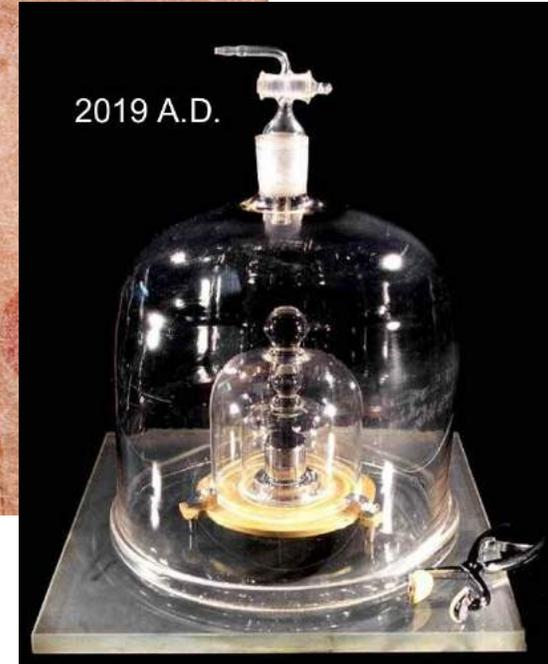
Tempo (grandezza immateriale), massa e lunghezza (grandezze fisiche).



1500 a.C.



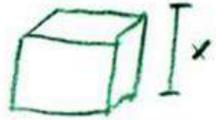
2019 A.D.



# Misura della lunghezza

È un concetto elementare, fisico, che ha diverse possibili "manifestazioni":

– Dimensioni di un oggetto



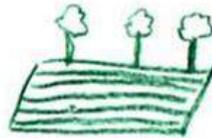
– Distanza tra punti



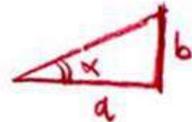
– Volume



– Superficie



– Angolo



# Unità di lunghezza

Sono facilmente riferibili a parti del corpo o ad altre proprietà dell'uomo

- Braccia, piedi, dita... multipli e sottomultipli per le dimensioni geometriche
- Passi, e multipli per la distanza
- Giornate (o frazioni) di cammino per le grandi distanze



# La misura giusta è fondamento di giustizia

Il Signore aborrisce la bilancia falsa, ma del peso esatto Egli si compiace.

[Proverbi 11:1]

Non avrai nel tuo sacchetto due pesi diversi, uno grande e uno piccolo. Non avrai in casa due tipi di misure, una grande e una piccola. Terrai un peso completo e giusto, terrai una misura completa e giusta [...]

[Deuteronomio 25:13-16]

... date quindi giusta misura e giusto peso

[Sūra del Limbo, VII, 85]

... e fate piena la misura quando misurate, e pesate con bilancia giusta.

[Sūra del Viaggio Notturmo, XVII, 35]

# La misura come fondamento della nazione

*Una mensura vini sit per totum regnum nostrum, et una mensura cervisie, et una mensura bladi, scilicet quarterium Londoniense, et una latitudo pannorum tinctorum et russetorum et halbergettorum, scilicet due ulne infra listas; de ponderibus autem sit ut de mensuris....*

[Magna Charta Libertatum (1215), Clause 35]

1 London quarter = ca. 225 L

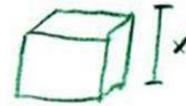


# Lo stato dell'arte delle unità, dalla preistoria al '700

Le unità variano per:

- Categoria (lunghezza, area, volume)
- Scala (pollici, piedi, yarde, ...)
- Area geografica
- Epoca
- Tipo di merce (stoffa, seta, panni ...)
- ... per i pesi è ancora peggio.

– Dimensioni di un oggetto



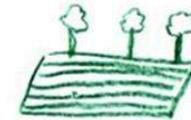
– Distanza tra punti



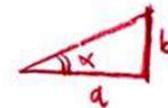
– Volume



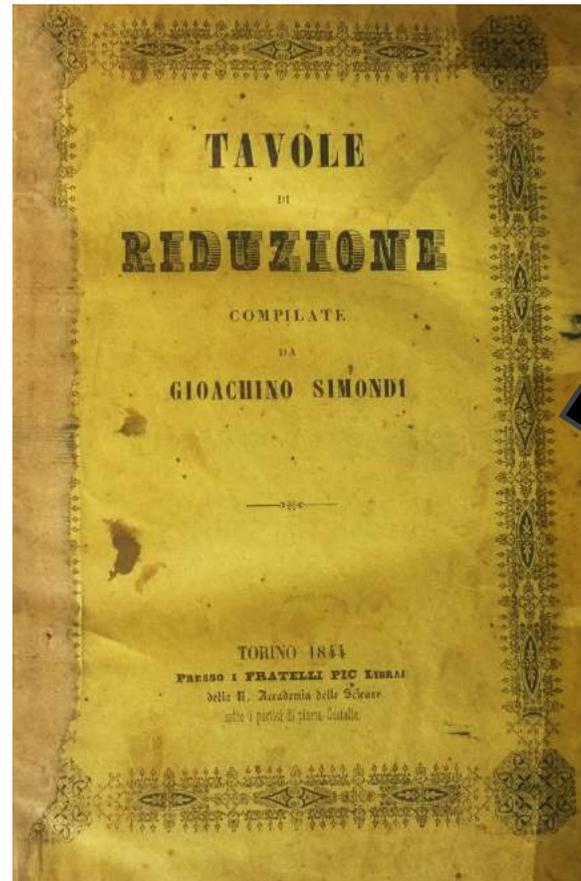
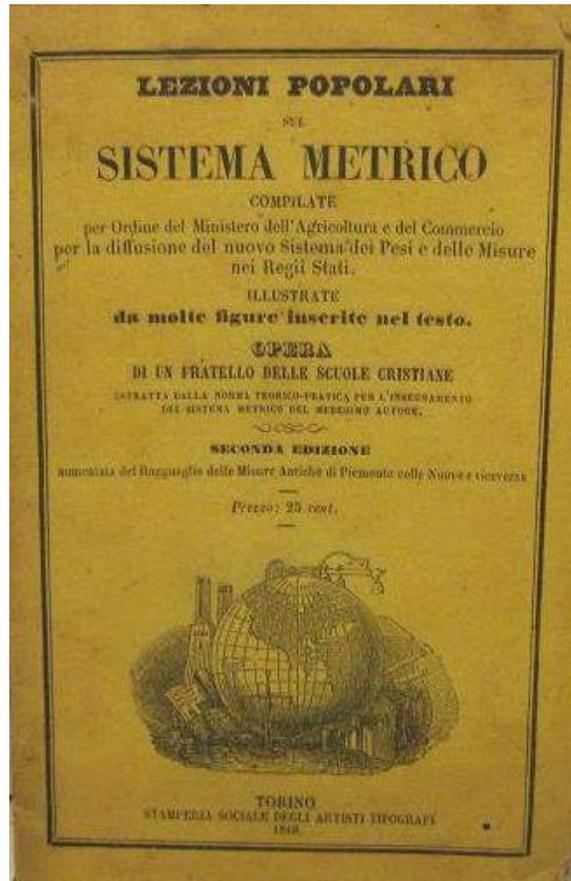
– Superficie



– Angolo



# Le misure nei tempi «moderni»



# Le misure nei tempi «moderni»

( 236 )

## III. QUADRO

### DELLE ANTICHE MISURE E PESI DELLA CITTÀ DI GENOVA

col loro corrispondente valore in misure metriche decimali ed in misure di Piemonte.

MISURE LONGITUDINALI	VALORE DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE					
	metri	millimetri	miglia	trabocchi	pieci	oncie	punti	atomi
Miglio di 6000 palmi . . .	1488	48	0	482	5	2	1	6,672
Cannella di 12 id. . . . .	2	97696	0	0	5	9	6	4,705
Canna di 10 id. . . . .	2	4808	0	0	4	9	11	5,921
Canna di 9 id. . . . .	2	25272	0	0	4	4	1	9,529
Palmo di 12 oncie . . . . .	0	24808	0	0	0	5	9	6,592
Oncia di 12 linee . . . . .	0	0206755	0	0	0	0	5	9,555
Linea di 12 punti . . . . .	0	0017227	0	0	0	0	0	5,794
Punto, ultima suddivisione . . . . .	0	0001455	0	0	0	0	0	0,485

La Canna di 10 palmi = Rasi 4,158849578 = Rasi 4 9/64 circa.  
 La Canna di 9 » = » 5,724964441 = » 5 5/4 »  
 Il Palmo . . . . . = » 0,415884958 = » 0 15/32 »

MISURE SUPERFICIALI	VALORE DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE					
	are	frazioni	giornale	travole	pieci di lav.	oncie di lav.	punti di lav.	atomi di lav.
Cannella di 144 palmi quadr. . . . .	0	088622908	0	0	2	9	6	10,766
Palmo di 144 oncie » . . . . .	0	0000615457	0	0	0	0	2	9,374
Oncia di 144 linee » . . . . .	0	0000004274	0	0	0	0	0	0,066

La Cannella è pari a trabocchi quadrati 0,952637552 = trabocchi quadrati 0,5<sup>esimi</sup> di trab., 7<sup>oncie</sup> di trab., 1<sup>punto</sup> di trab., 9<sup>atomi</sup> di trab., 584<sup>milliesimi</sup>.

( 237 )

MISURE DI SOLIDITA'	VALORE DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE				
	storti	millesimi	trabocchi cubi	pieci di trab. e.	oncie di trab. e.	punti di trab. e.	atomi di trab. e.
Cannella di 1728 palmi cubi . . . . .	26	582645220	0	5	4	10	2,208
Palmo di 1728 oncie cube . . . . .	0	015267755	0	0	0	0	3,405

MISURE DI CAPACITA' PER GLI ARIDI	VALORE DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE		
	litri	millilitri	emine	coppi	cucchiati
Mina di 2 metà o di 96 gombette . . . . .	116	55960	5	0	12,785
Mezza mina di 2 stara o di 48 id. . . . .	58	27980	2	4	6,592
Stara di 2 quarti o di 24 id. . . . .	29	15990	1	2	3,196
Quarto di 2 metà o di 12 id. . . . .	14	56995	0	5	1,598
Gombetta di 2 metà . . . . .	1	2141625	0	0	10,155
Mezza gombetta di 2 misurette . . . . .	0	60708125	0	0	5,066
Misuretta, ultima suddivisione . . . . .	0	505540625	0	0	2,555
Sacco di 5 misure per carboni . . . . .	157	75	7	1	12,206
Misura di 5921 oncie cube di Genova . . . . .	52	585	2	5	4,068

MISURE DI CAPACITA' PEI LIQUIDI	VALORE DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE			
	litri	millilitri	brente	penne	boccali	quartini
<i>Per vino.</i>						
Mezzarola di 2 barili o 5 terzaroli . . . . .	159	0	5	8	0	0,566
Barili di 2 metà o 90 amole . . . . .	79	5	1	22	0	0,285
Mezzo barile di 45 id. . . . .	39	75	0	29	0	0,141
Terzarolo di 2 metà o di 60 id. . . . .	55	0	1	2	1	0,855
Mezzo terzarolo di 30 id. . . . .	26	5	0	19	0	1,427
Amola di 2 metà . . . . .	0	8855	0	0	1	0,580
Mezza amola di 2 quarti . . . . .	0	4466	0	0	0	1,290
Quarto d'amola, ultima suddivisione . . . . .	0	2255	0	0	0	0,645

	VALORE IN LITRI		VALORE IN CHILLOGRAMMI		VALORE IN PESO DI PIEMONTE		
	litri	decilitri	chil.	gram.	trab.	libb.	oncie
<i>Per Falo.</i>							
Barile di 2 metà o 128 quarteroni . . . . .	15	48	59	562	6	11	5 6 1
Mezzo barile di 64 id. . . . .	52	74	29	781	5	5	8 7 0
Quarto di barile di 52 id. . . . .	16	57	14	590	1	15	4 5 1

# Le misure nei tempi «moderni»

MISURE LONGITUDINALI		VALOR DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE						
		metri	millimetri	miglia	trabucchi	piedi	oncie	punti	atomi	
Miglio	di 6000 palmi . .	=	1488 48	=	0	482	5	2	1	6,672
Cannella	di 12 id. »	=	2 97696	=	0	0	5	9	6	4,705
Canna	di 10 id. »	=	2 4808	=	0	0	4	9	11	5,921
Canna	di 9 id. »	=	2 25272	=	0	0	4	4	1	9,529
Palmo	di 12 oncie . .	=	0 24808	=	0	0	0	5	9	6,592
Oncia	di 12 linee . . .	=	0 0206735	=	0					
Linea	di 12 punti . .	=	0 0017227	=	0					
Punto, ultima suddivisione		=	0 0001455	=	0					

( 237 )

MISURE DI SOLIDITA'	VALOR DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE					
	storti	millesimi	trabucchi cubi	piedi di trab. c.	oncie di trab. c.	punti di trab. c.	atomi di trab. c.	
Cannella di 1728 palmi cubi	=	26 582645220	=	0	5	4	10	2,208
Palmo di 1728 oncie cube	=	0 015267755	=	0	0	0	0	5,405

MISURE DI CAPACITA' PER GLI ARIDI	VALOR DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE			
	litri	millilitri	emine	coppi	cucchiari	
Mina di 2 metà o di 96 gombette	=	116 55960	=	5	0	12,785
Mezza mina di 2 stara o di 48 id.	=	58 27980	=	2	4	6,592
Stara di 2 quarti o di 24 id.	=	29 15990	=	1	2	3,196
Quarto di 2 metà o di 12 id.	=	14 56995	=	0	5	1,598

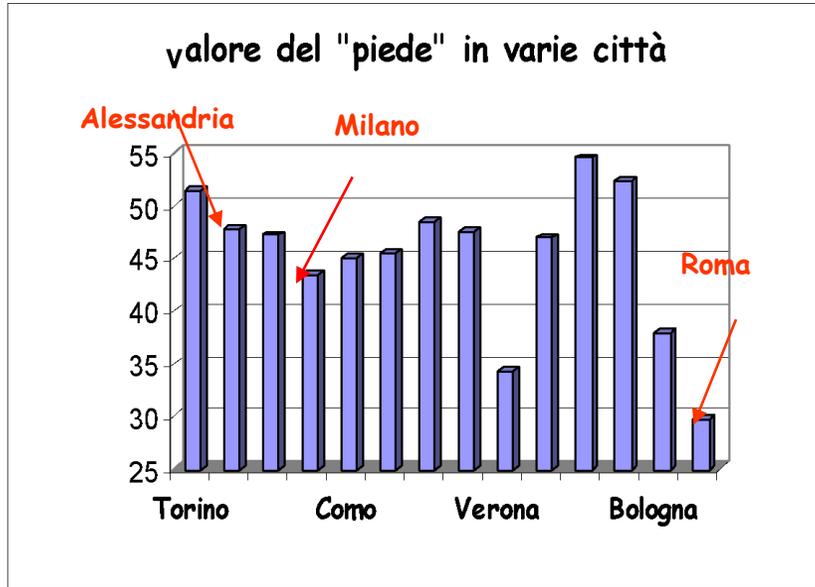
La Canna di 10 palmi = Rasi 4,158849578 =  
 La Canna di 9 » = » 5,724964441 =  
 Il Palmo . . . . . = » 0,415884958 =

MISURE SUPERFICIALI	VALOR DECIMALE	
	rate	frazioni
Cannella di 144 palmi quadr.	=	0 088622908
Palmo di 144 oncie »	=	0 000615457
Oncia di 144 linee »	=	0 000004274

La Cannella è pari a trabucchi quadrati 0,95 quadrati 0,5 piedi di trab. 7 oncie di trab. 1 punto di trab. 9

MISURE DI CAPACITA' PER GLI ARIDI	VALOR DECIMALE		VALORE IN MISURE DI PIEMONTE			
	litri	millilitri	emine	coppi	cucchiari	
Mina di 2 metà o di 96 gombette	=	116 55960	=	5	0	12,785
Mezza mina di 2 stara o di 48 id.	=	58 27980	=	2	4	6,592
Stara di 2 quarti o di 24 id.	=	29 15990	=	1	2	3,196
Quarto di 2 metà o di 12 id.	=	14 56995	=	0	5	1,598
Gombetta di 2 metà . . . . .	=	1 2141625	=	0	0	10,155
Mezza gombetta di 2 misurette . .	=	0 60708125	=	0	0	5,066
Misuretta, ultima suddivisione . .	=	0 505540625	=	0	0	2,533
Sacco di 3 misure pei carboni . .	=	157 75	=	7	1	12,206
Misura di 5921 oncie cube di Genova	=	52 585	=	2	5	4,068

# Le misure nei tempi «moderni»

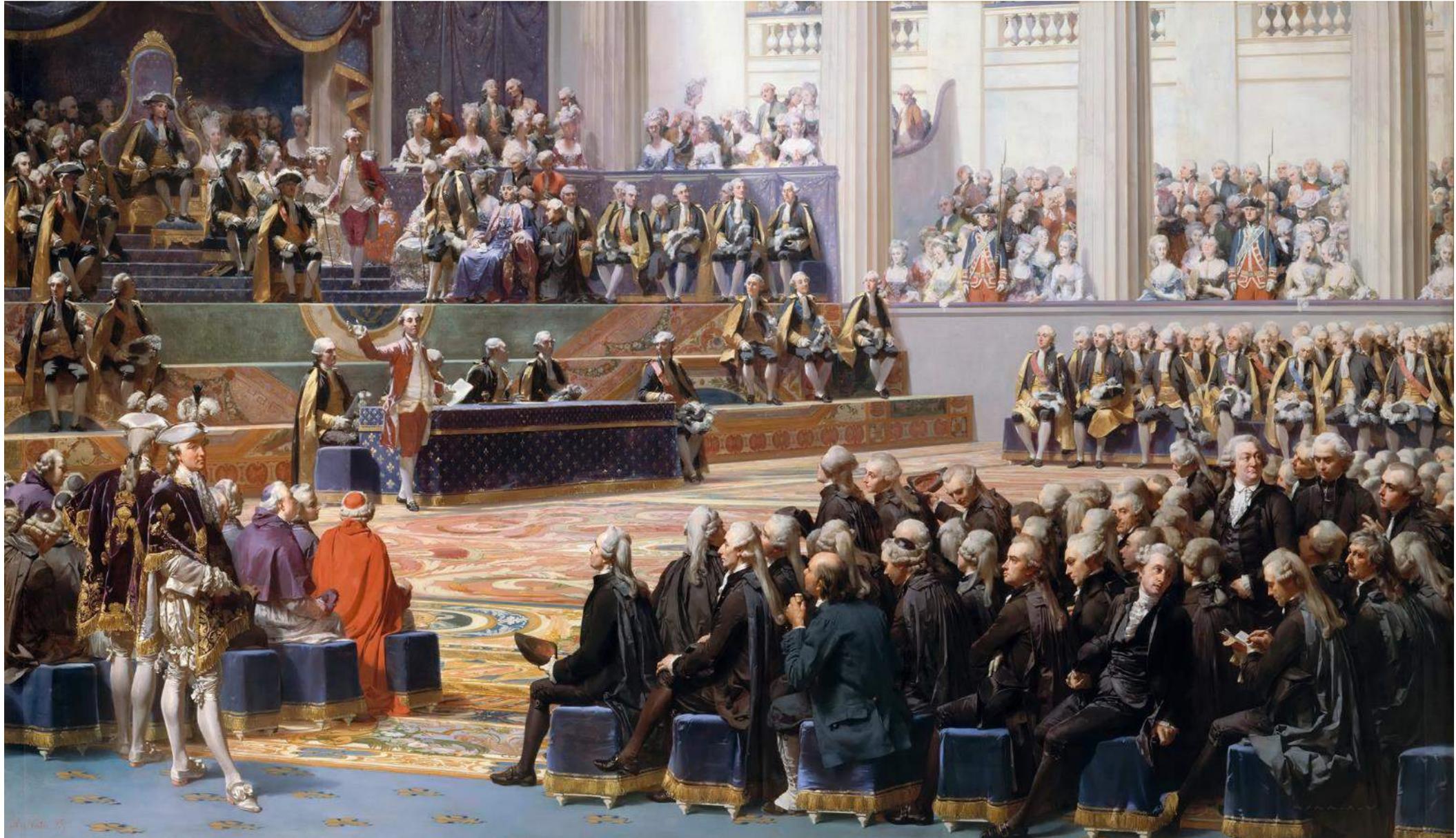


La pila di  
Carlo  
Magno





# Inizia la rivoluzione

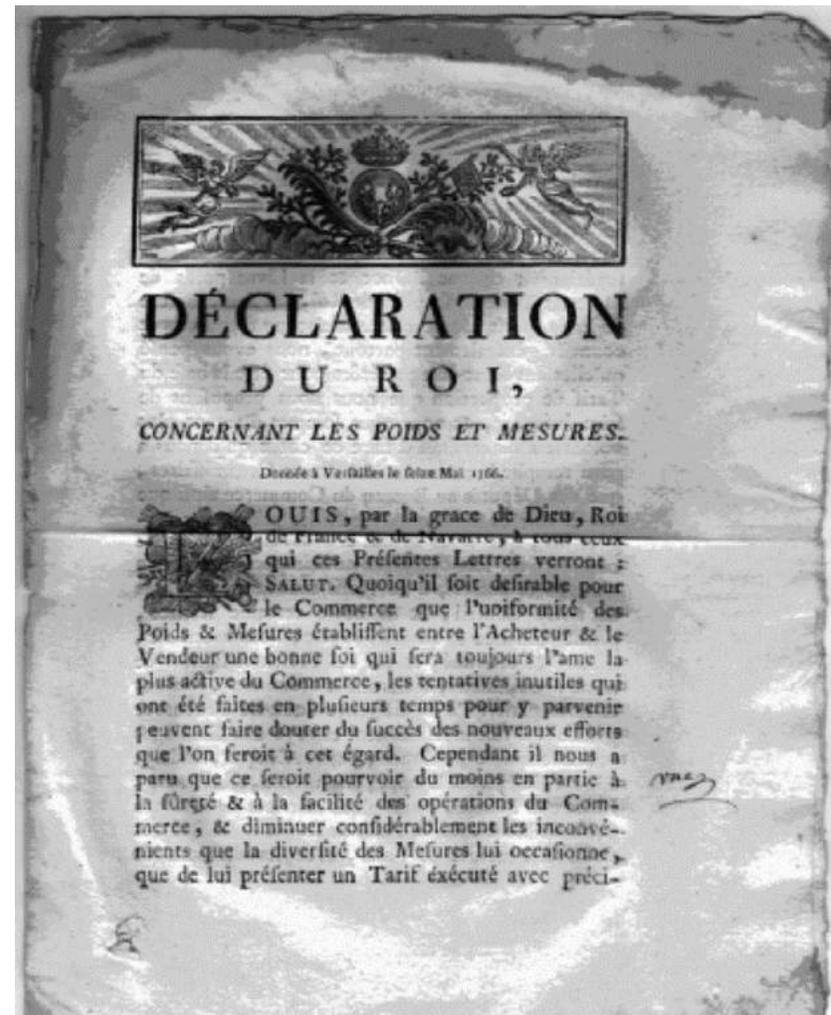


# «Alcune» mesure del piede in francia

<i>Longueur de quelques pieds de France.</i>		<i>Suite des Mesures pour les Aunages.</i>	
	ligne. cente.		
Besançon, le pied est de	137 10	Canne.	Toulon. 859 60
Dijon.	139 20		Montpellier. 891 60
Dôle.	150 30		Provence. 888 90
Grenoble.	151 20		Toulouse. 807 "
Lorraine.	127 "		Troyes. 351 70
Lyon.	151 50	<i>Mesures rondes pour les choses sèches.</i>	
Mâcon.	143 20	Aunes, Bichets.	Lyon. Pouce cubes 9670
Paris.	144 "		Mâcon. 12893
Rouen.	120 "		Châlons-sur-Saône. 9283
Sedan.	123 "		Verdun. 9670
Strasbourg. { Pied de ville.	128 27		Amboise. 552
{ Pied de cam-	130 90		Aurai. 1934
Vienna en Dauphiné.	143 "		Blois. 387
			Bordeaux. 3868
			Bourbon-Lancy. 573
			La Charité. 967
		Charolles. 1221	
		Châteauneuf-sous-Loire. 1105	
		Cosne. 314	
		Dieppe. 5157	
		Havre-de-Grace. 1743	
		Houffleur. 1976	
		Montreuil. 430	
		Morlaix. 2670	
		Nevers. 967	
		Paris. 6144	
		Périgueux. 1547	
		Roanne. 967	
		La Rochelle. 1658	
		Rouen. 128	
		Tours. 543	
		Villeneuve d'Agénois. 4100	
		Briare. 703	
		Cahors. 1469	

<i>Mesures pour les Aunages.</i>	
	Aunes.
Abbeville, l'aune est de	524
Arras.	309 40
Bayonne.	391 80
Bordeaux.	528 "
Bretagne.	597 20
Caen.	524 "
Cambrai.	317 60
Dankerque.	299 80
Lille.	305 60
Lyon.	520 50
Paris. { Pour les Soieries.	527 50
{ Pour les Lainages.	526 40
{ Pour les Toileries.	524 "
Morlaix.	507 20
Nantes.	526 "
Rouen. { Pour les Lainages.	516 "
{ Pour les Toileries.	519 20
Saint-Malo.	597 20

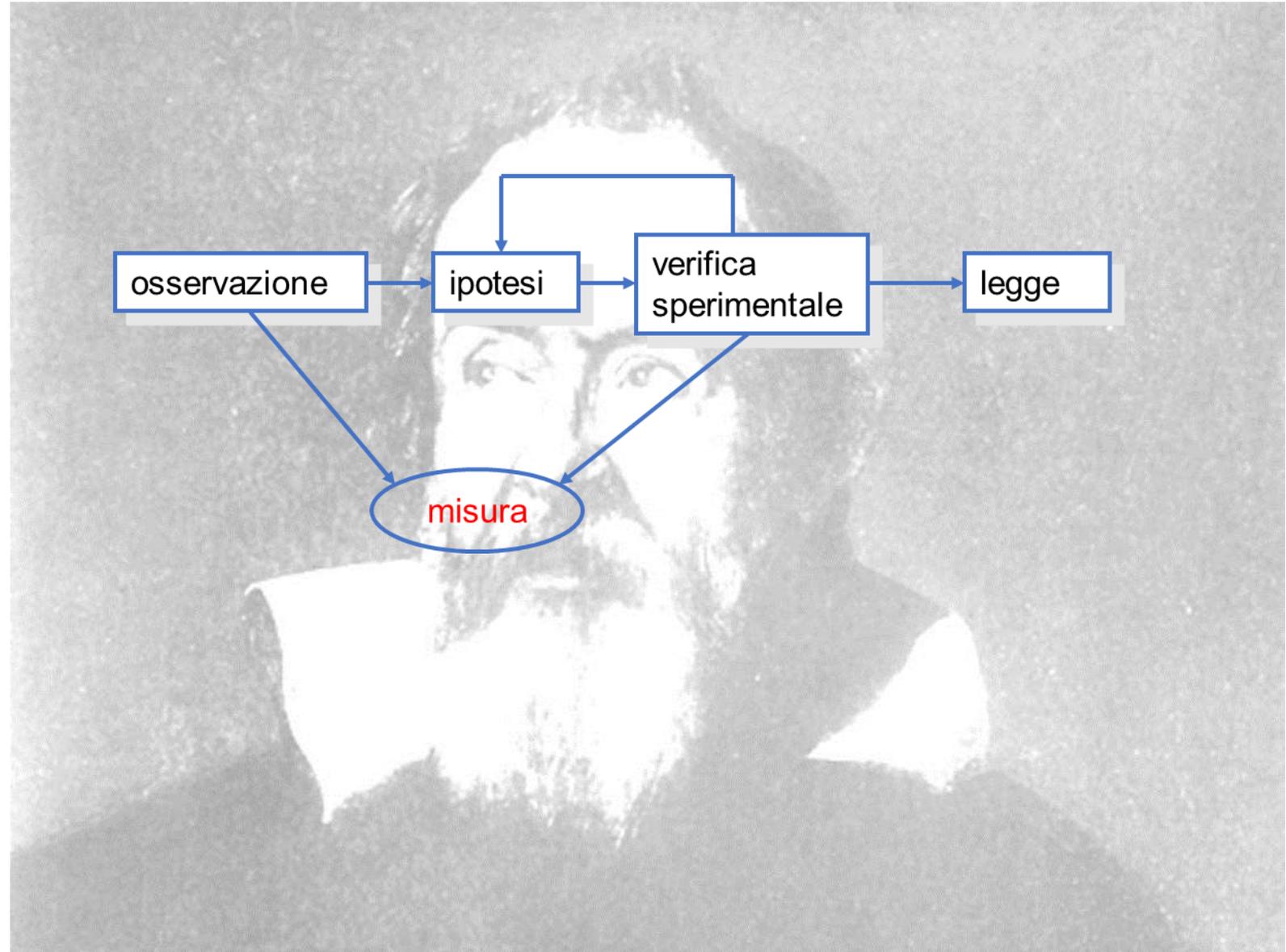


# L'Accademia delle Scienze



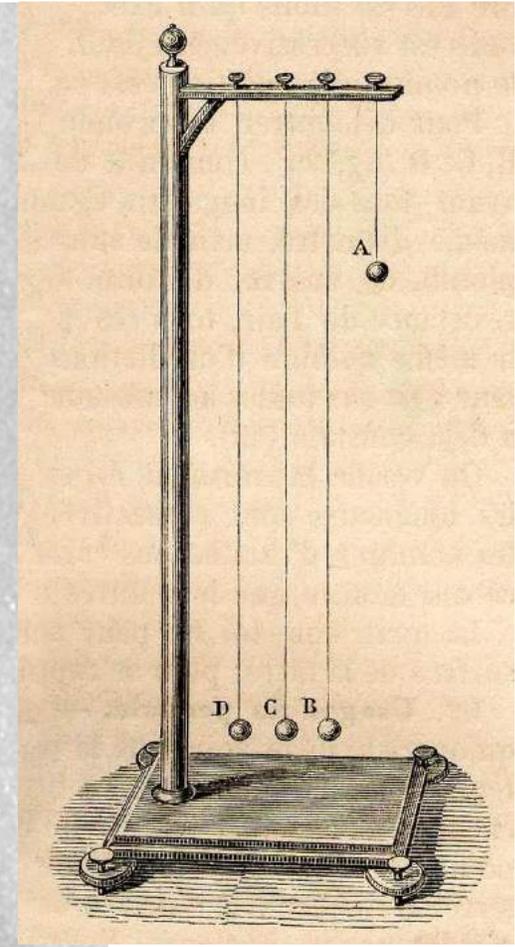
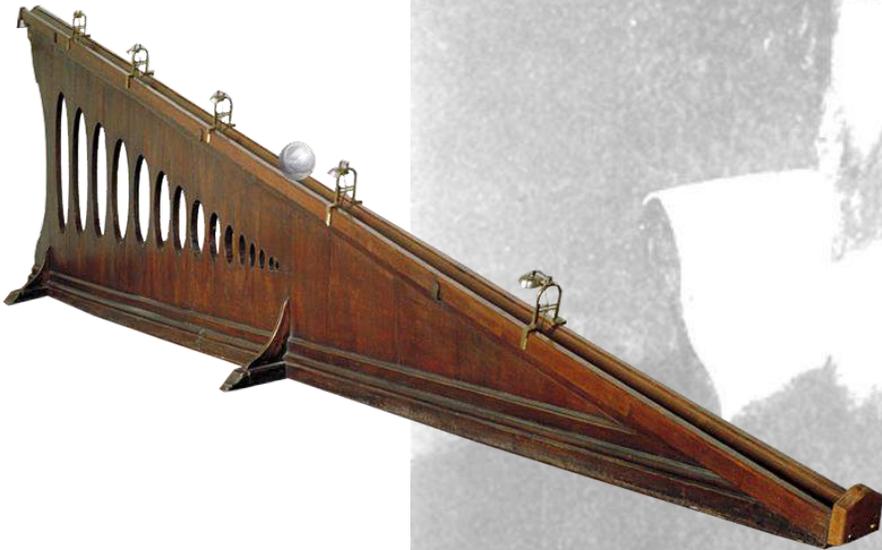
...ma gli scienziati sono pronti alla sfida

Nel 1632  
Galileo  
“inventa” il  
metodo  
sperimentale  
che sarà alla  
base di tutta la  
scienza futura



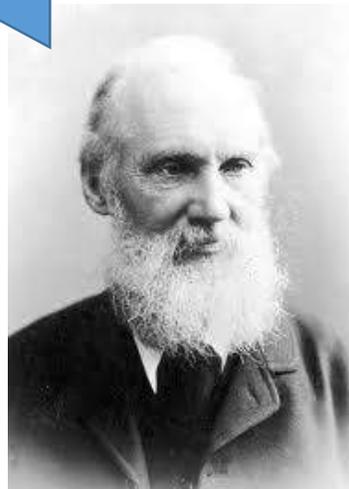
# Unità di misura di Galileo

- Per l'esperimento del piano inclinato usa:
  - come unità di lunghezza braccia e dita
  - come unità di tempo gocce d'acqua che colano da un serbatoio, contate per mezzo di una bilancia
  - in alternativa, le "battute di polso" fino alla decima parte



# Conoscenza → Misura

*“When you can measure what you are speaking about and express it in numbers you know something about it; but when you cannot measure it, when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind”.*



*Possiamo conoscere qualcosa dell'oggetto di cui stiamo parlando, solo quando possiamo compiere su esso misure al fine di descriverlo mediante numeri; in caso contrario la nostra conoscenza é scarsa e insoddisfacente.*

Lord Kelvin (1883)

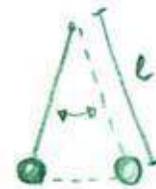
# La scienza «moderna» esige unità condivise

- Galileo, Keplero, Newton, Huygens
- Huyghens, 1657, propone di definire **unità di misura semplice univoca e riproducibile**
- Picard, 1670, Tito Livio Burattini, 1675 propongono di basare le unità di misura su **fenomeni fisici universali**.
- Newton, 1672, propone di utilizzare la luce per misurare le lunghezze

# Proposte per un unità di misura che dovrà essere:

Pratica  
Universale  
Decimale

- Periodo del pendolo



$$T = 1\text{s}$$

- Equatore

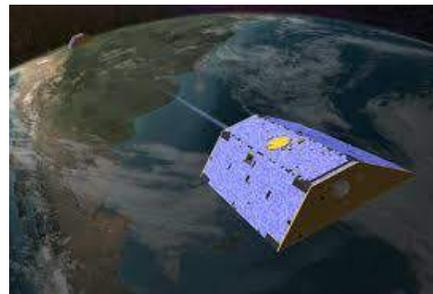
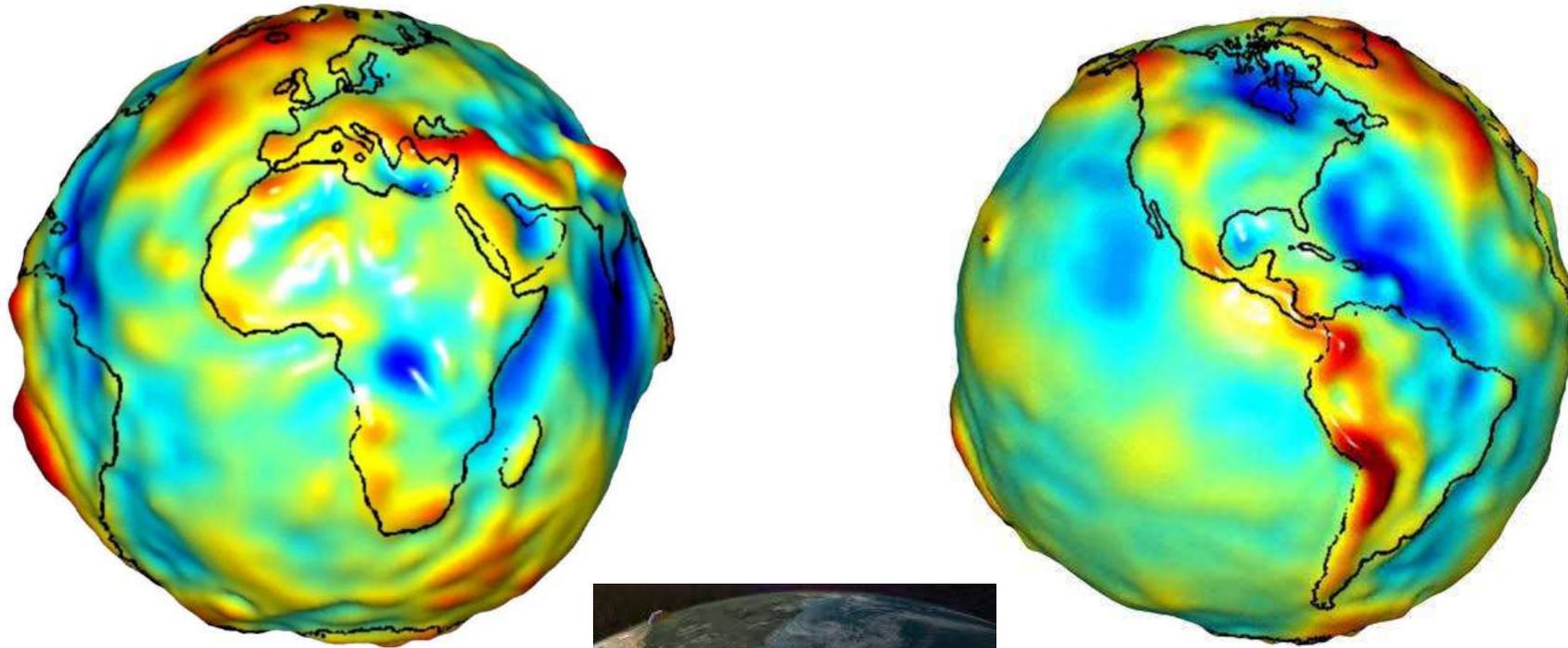


- Meridiano



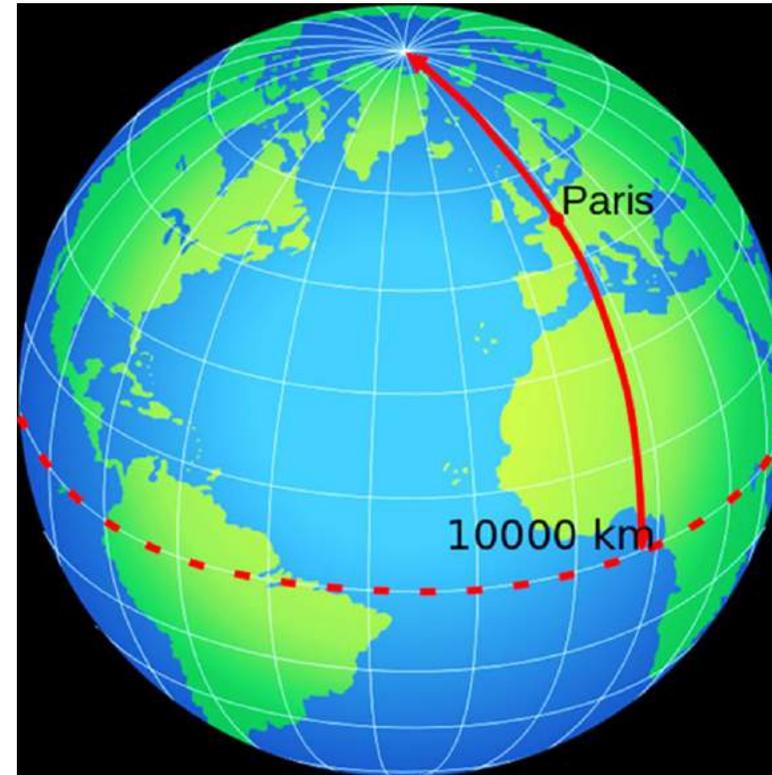
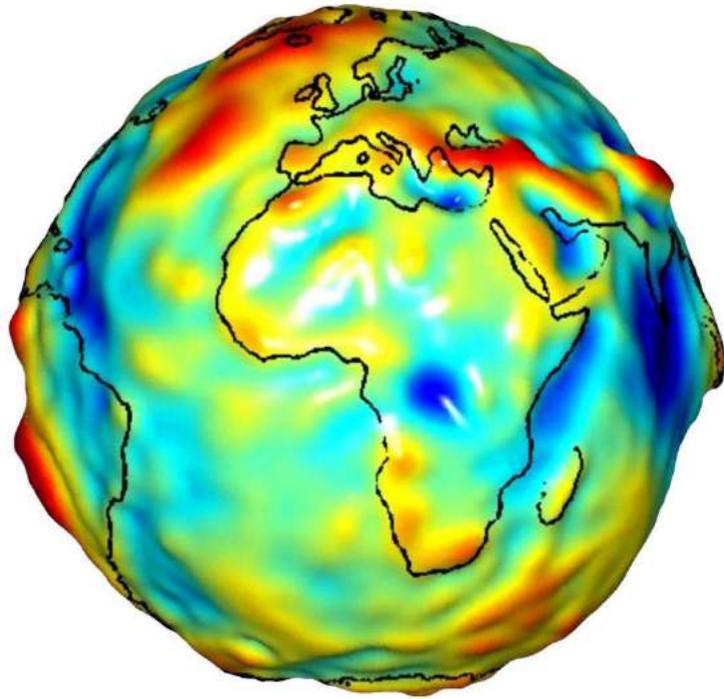
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

# Problema: $g$ non è costante



Risultati della missione NASA «GRACE»

# Equatore o meridiano?

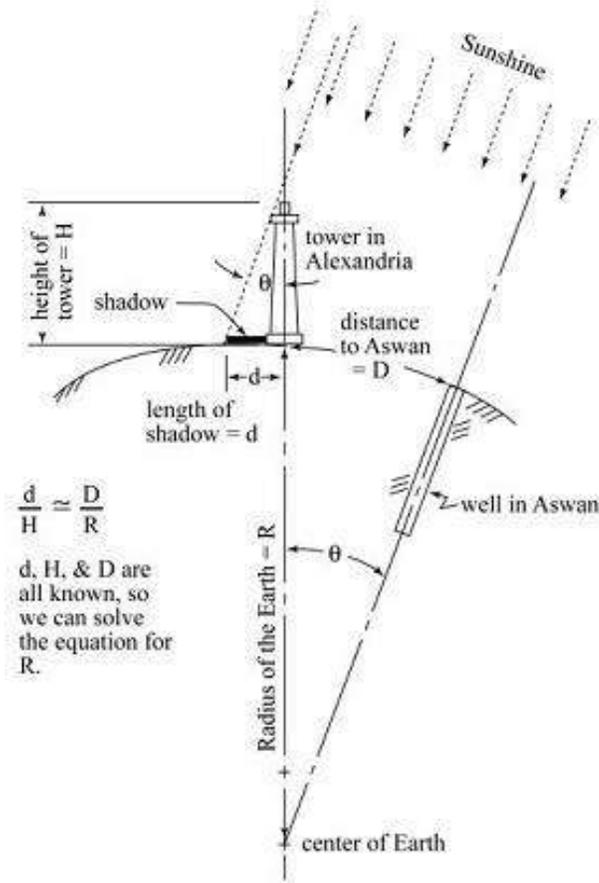


# Come si misura la Terra?

Pitagora (570-490): dimostra che la terra è una sfera

**Eratostene** (276-194): 1ª misura del meridiano (sole)

Posidonio (135-51): 2ª misura del meridiano (stelle)

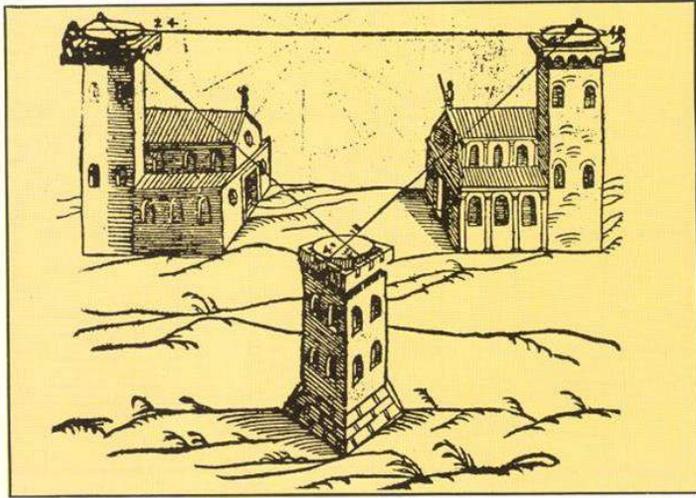


# Esplorazioni e cartografia

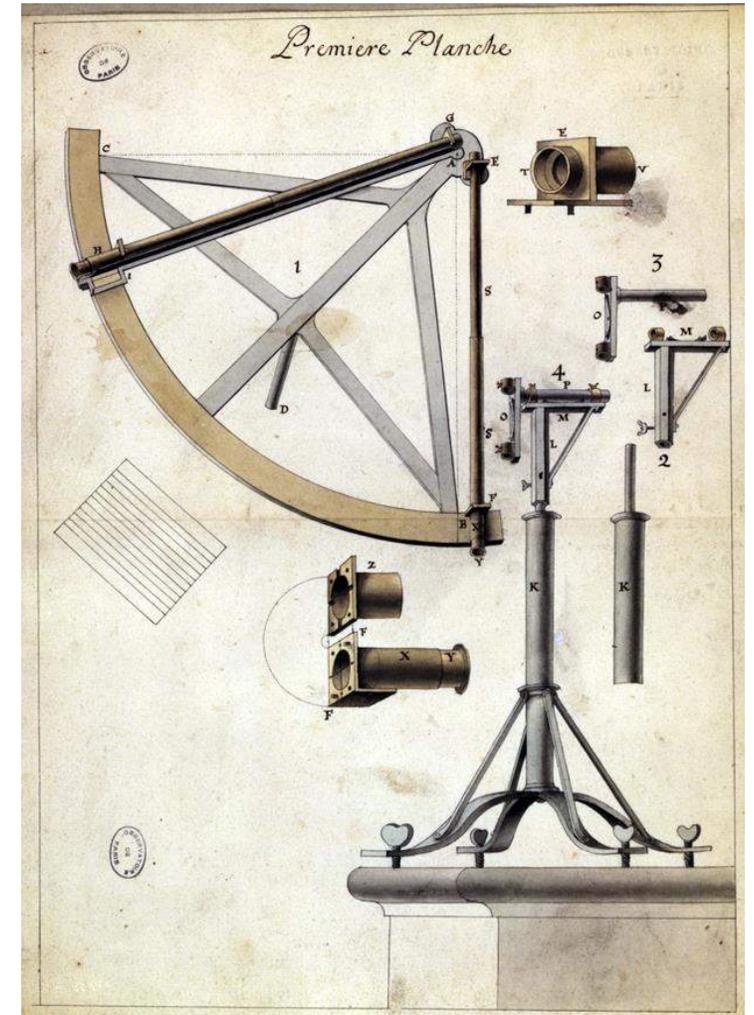
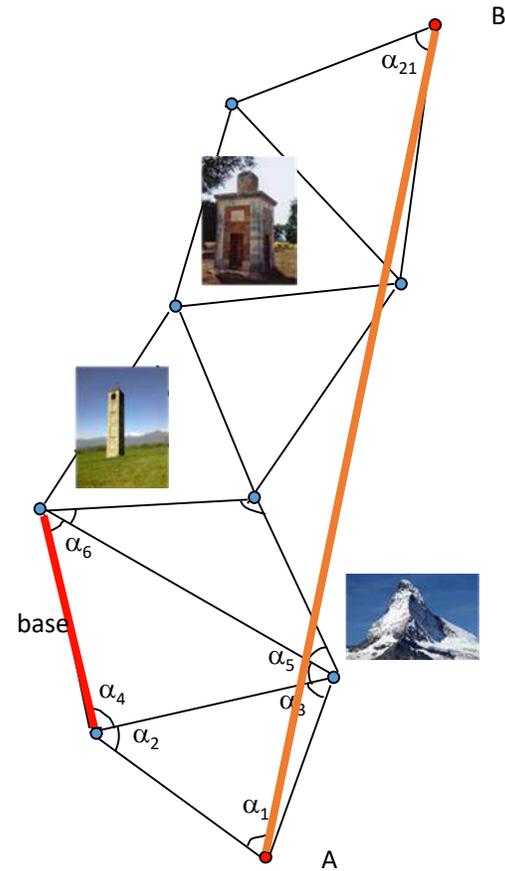
Il mondo nel 1520  
Il mondo nel 1664



# Una tecnica moderna: la triangolazione



Snellius, Olanda, nel 1614



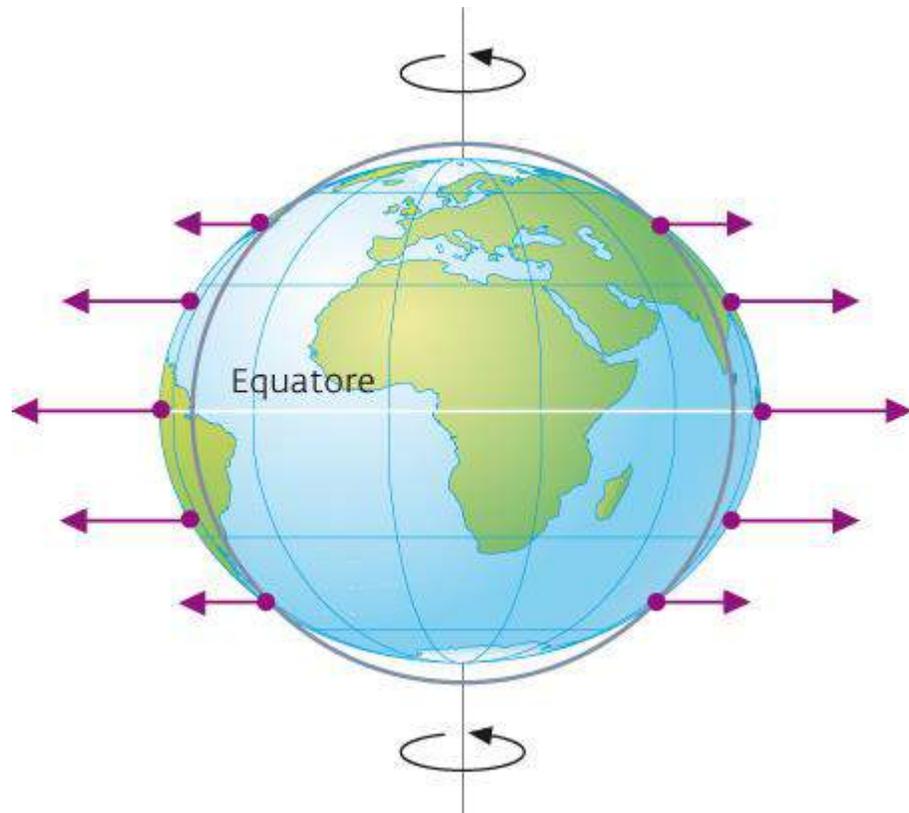
# Misure del meridiano nel 17° e 18° secolo

Picard, France (1670)

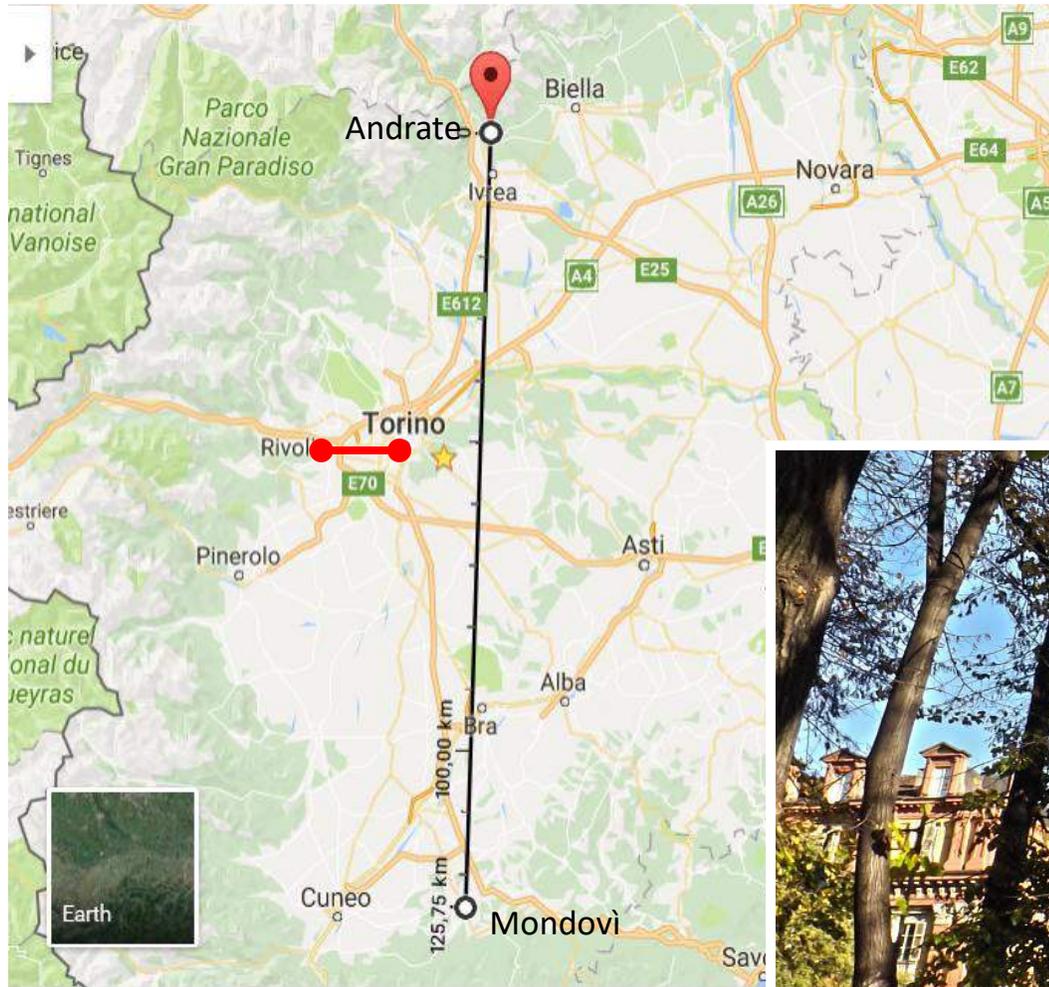
Cassini, France (1718)

Maupertuis, Lapponia (1736)

La Contamine, Perù (1745)



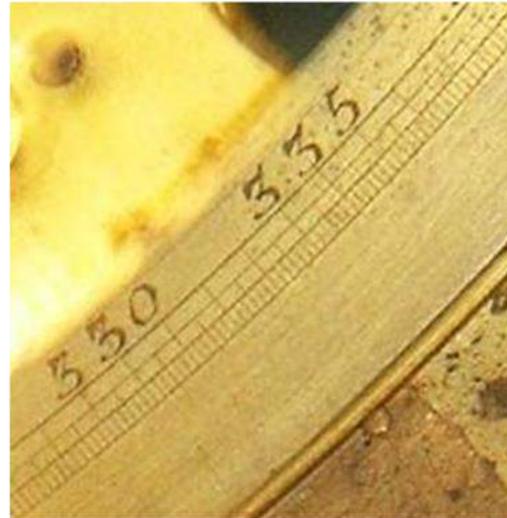
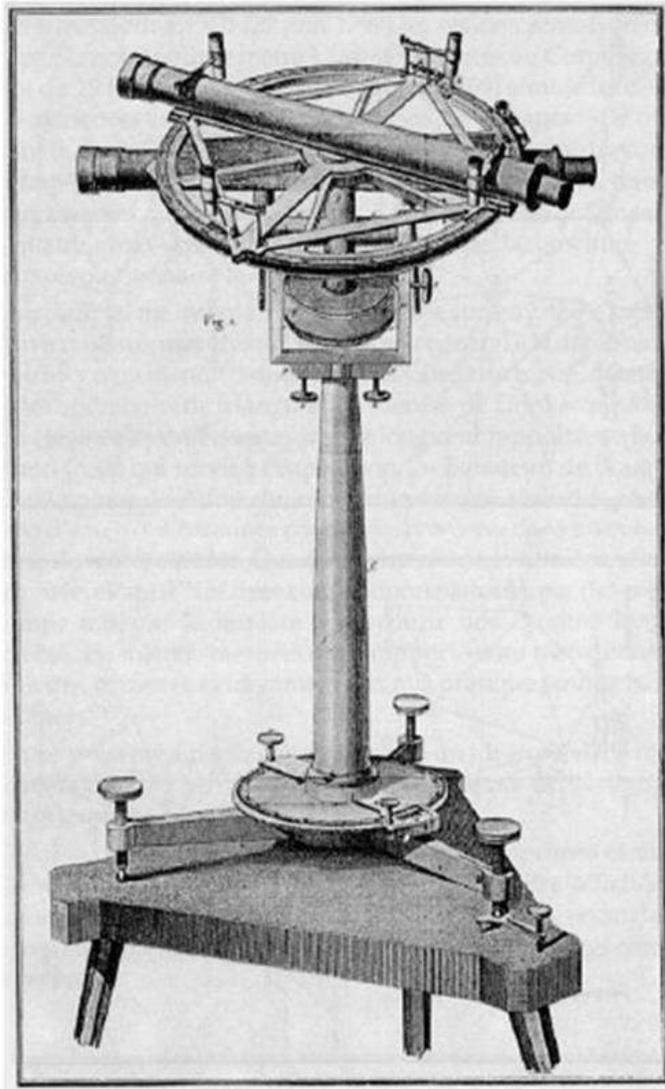
# The Savoia Meridian, 1760



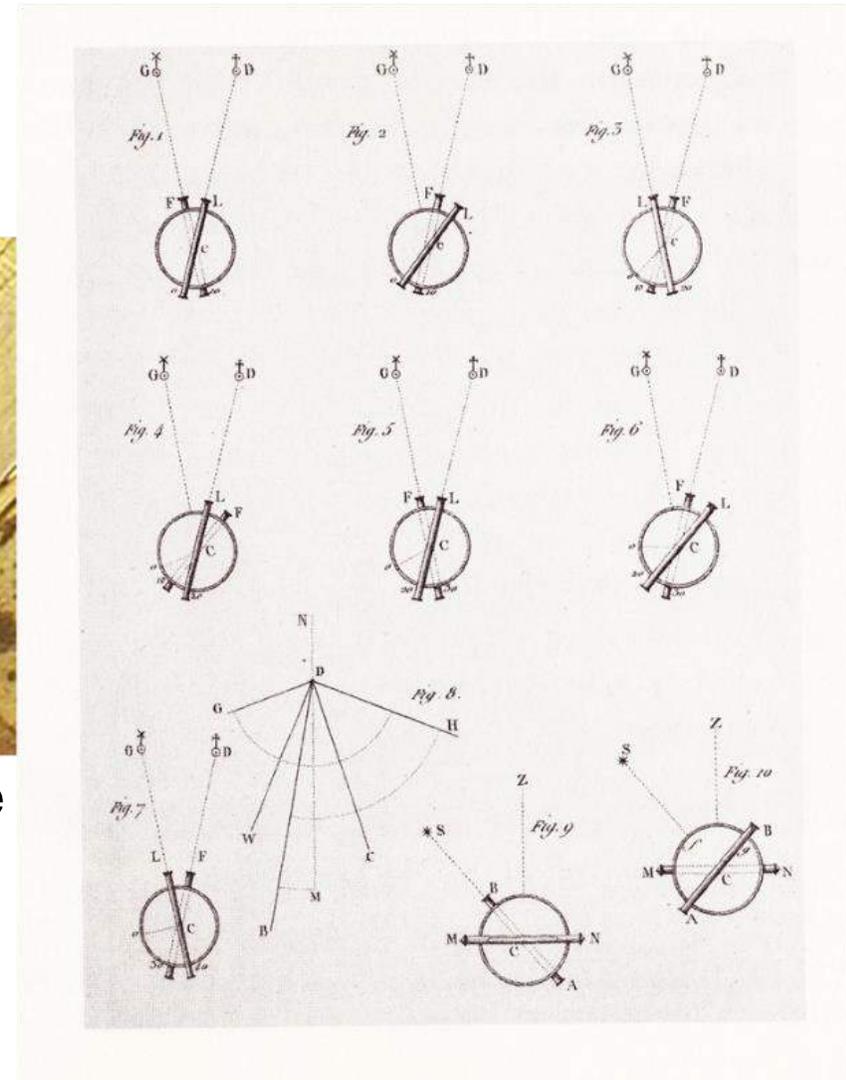
Carlo Emanuele III incarica  
Giovanni Battista Beccaria di  
misurare il «gradus taurinensis»



# Strumenti moderni e raffinatissimi



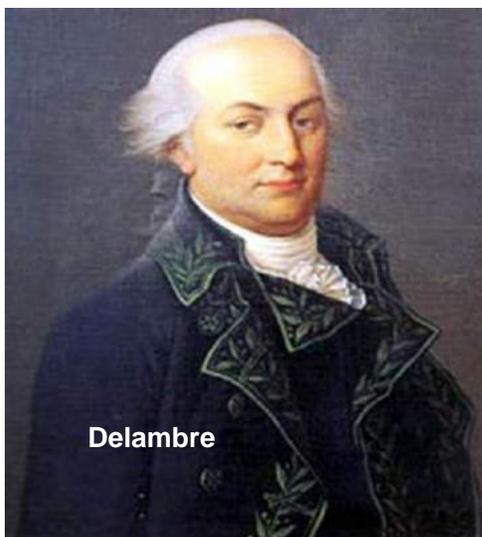
Il cerchio ripetitore  
di Borda e Lenoir  
accuratezza 1  
arcosecondo



# L'avventura di Mechain e Delambre



Mechain



Delambre



La misura della lunghezza del meridiano

Dunkerke - Barcellona

1792 - 1798

Triangolazioni precedenti:

1740 Lacaille (meridiano Parigi)

1735 - 1745 (meridiano Perù)

1735 - 1737 (meridiano Lapponia)

arco di meridiano

angolo=  $9.5^\circ$

lunghezza = 1075 km

115 triangoli

2 basi (Melun, Perpignan)

# L'avventura di Mechain e Delambre



# L'avventura di Mechain e Delambre



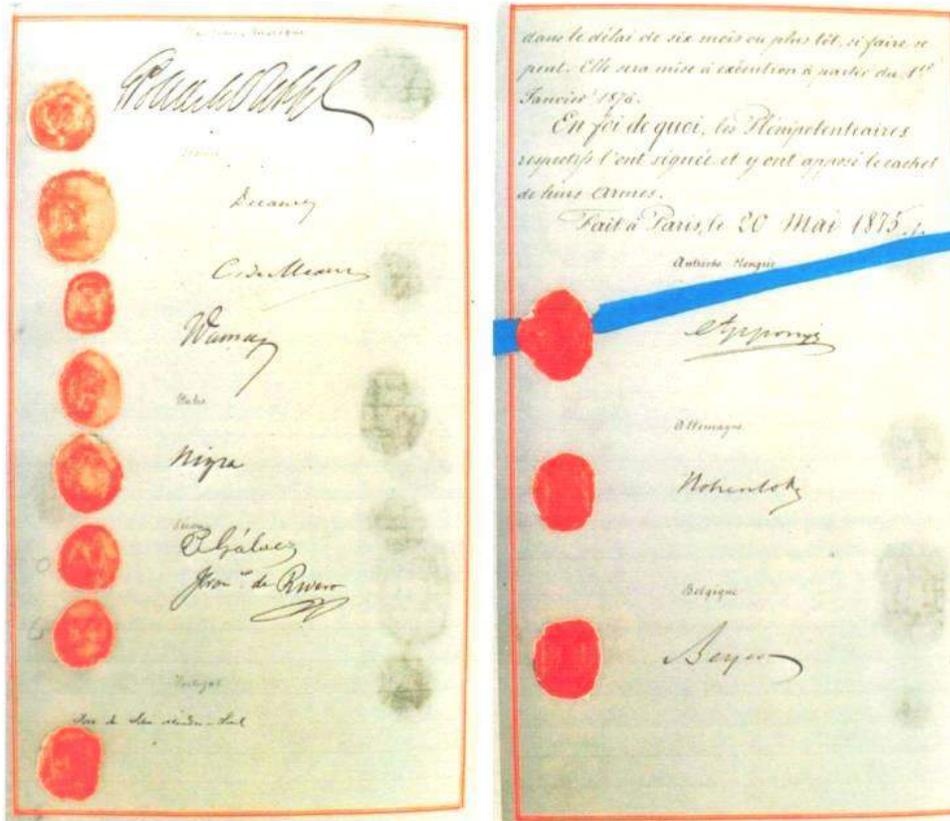
Alla fine...



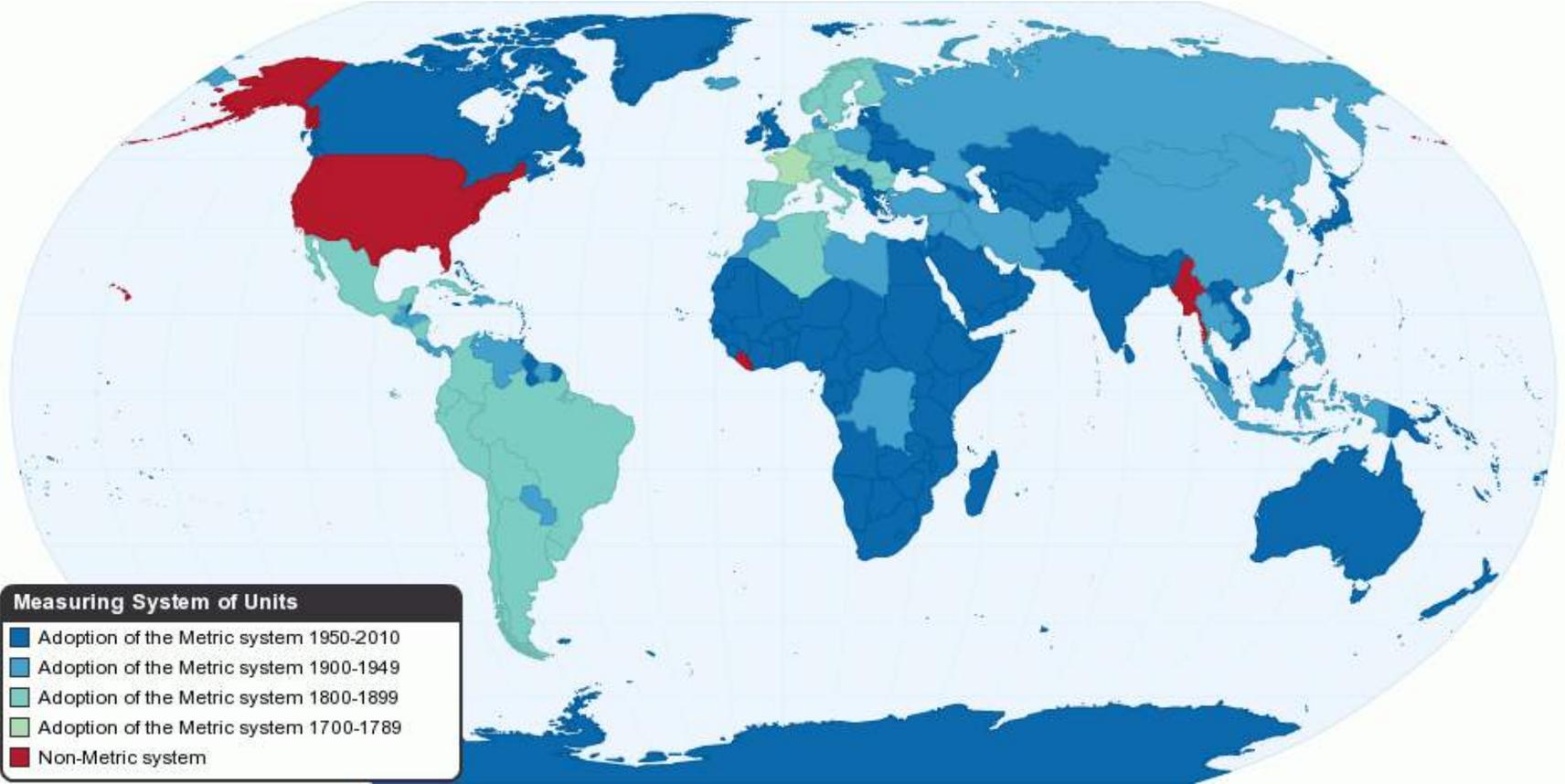


# 1875: La Convenzione del metro

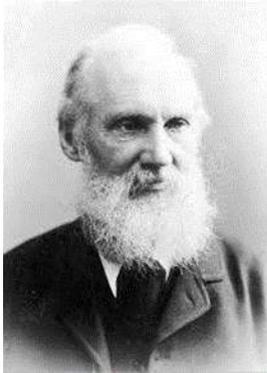
Il sistema metrico decimale diventa un trattato internazionale



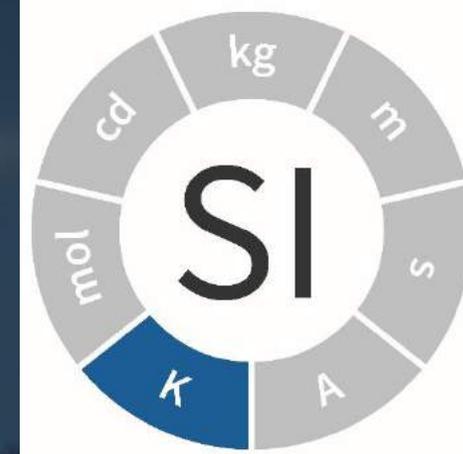
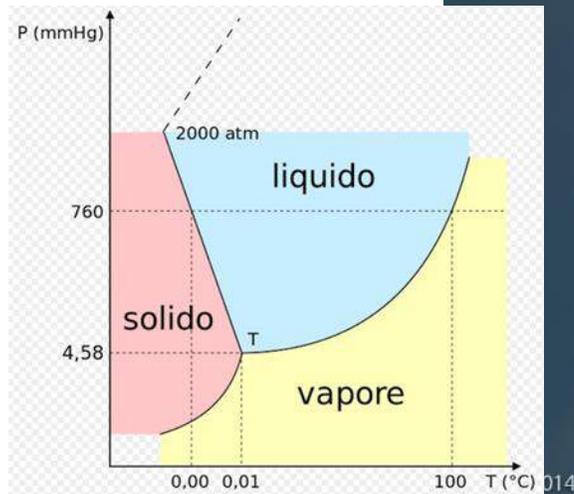
# La Convenzione del metro evolve



# Il kelvin è definito dallo zero assoluto...



## ...e dal punto triplo dell'acqua



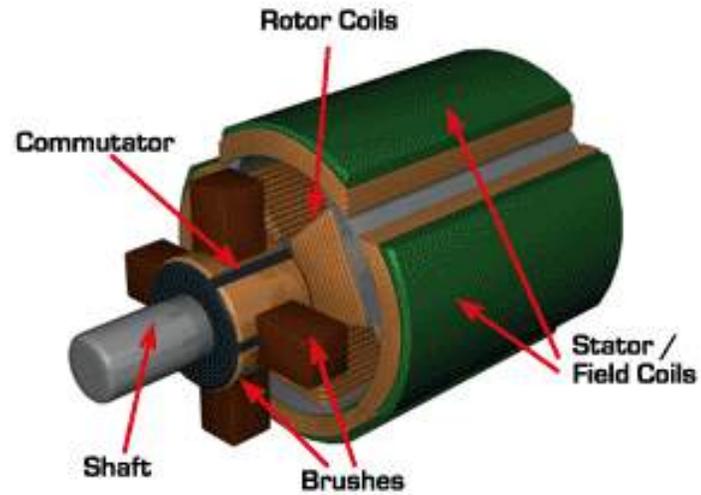
$$T = 273.16 \text{ K}$$

Il kelvin è la frazione  $1/273,16$  della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua

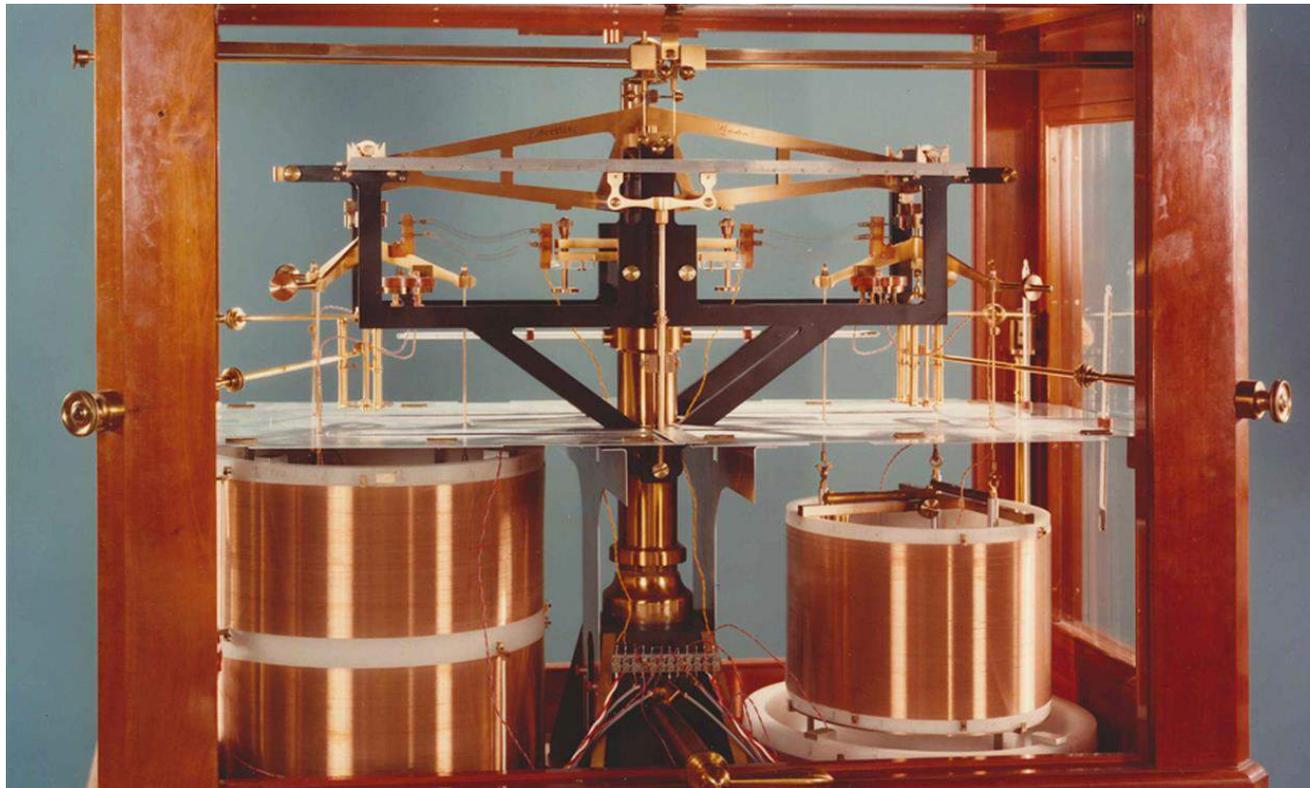
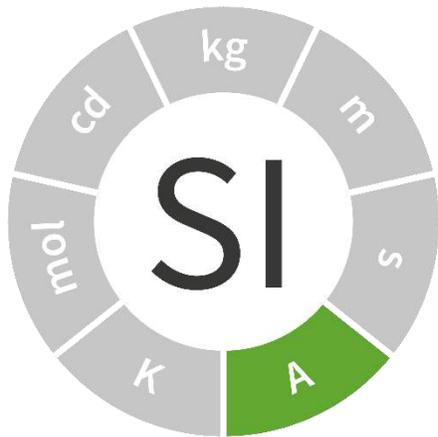
# L'ampere

1821 Andrè-Marie Ampere:

**Forze meccaniche** tra conduttori percorsi da correnti elettriche

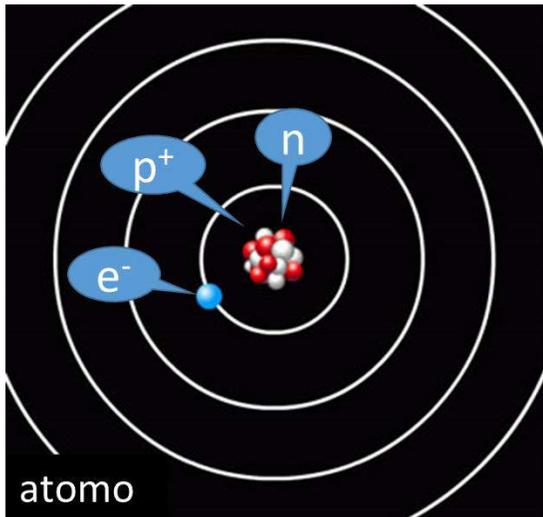
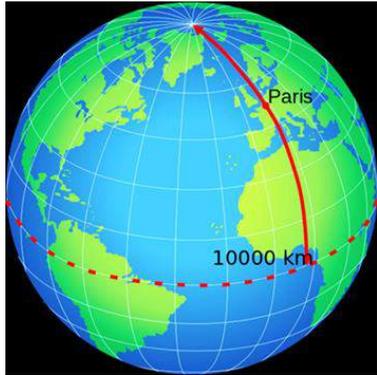


# L'ampere: definizione

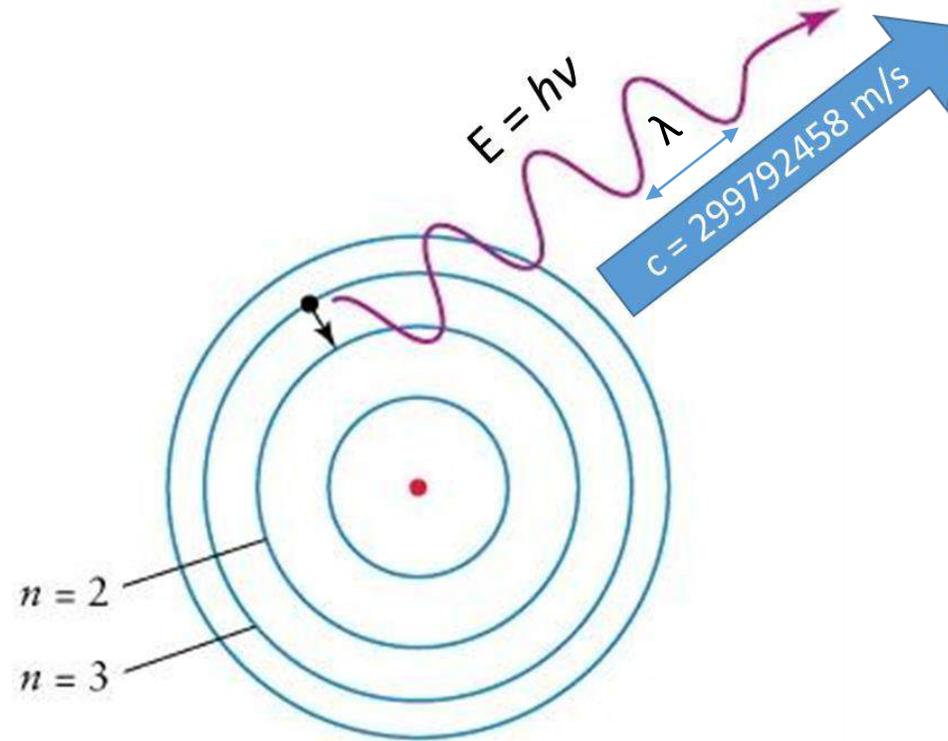


L'ampere è l'intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori paralleli, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro, nel vuoto, produrrebbe tra i due conduttori la forza di  $2 \times 10^{-7}$  newton per ogni metro di lunghezza

# Il XX secolo: i nuovi campioni Universali



massa



Il **secondo** è definito «contando» le vibrazioni del fotone  $\nu_{Cs}$

Il **metro** è definito attraverso il **secondo** e la velocità della luce  $c$

# Anticipazione... metro e secondo nel nuovo SI



## secondo | s

Il secondo è l'intervallo di tempo che contiene 9192631770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.



Il secondo è definito dal valore numerico prefissato della frequenza del cesio  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  (la frequenza della transizione iperfine dello stato fondamentale imperturbato dell'atomo di cesio 133), pari a **9 192 631 770** quando espresso in **Hz** (che equivale a  $\text{s}^{-1}$ ).

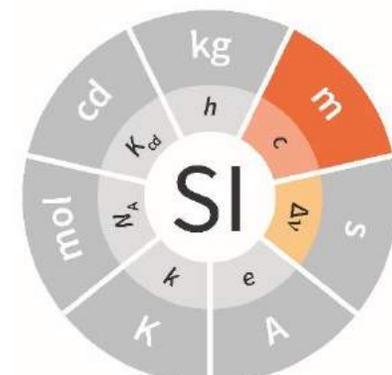
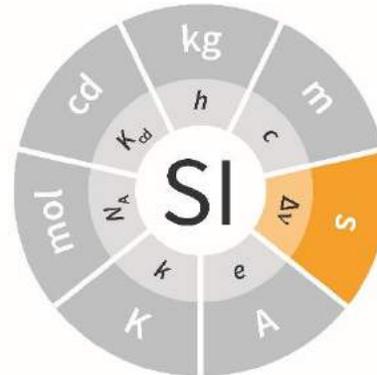


## metro | m

Il metro è la lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo di 1/299 792 458 di secondo.



Il metro è definito dal valore numerico prefissato della velocità della luce nel vuoto  $c$ , pari a **299 792 458**, quando espresso in  **$\text{m s}^{-1}$** .



# 1960: nasce il Sistema Internazionale... e cresce

1960 - sei unità di base (m, kg, s, A, K, cd);

1967 - il tempo viene ridefinito su transizione atomica;

1971 - introdotta una nuova unità "la mole";

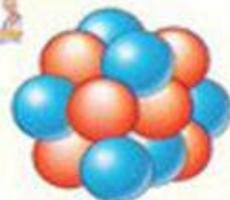
1979 - la candela è ridefinita come radiazione monocromatica;

1983 - il metro è definito mediante la velocità della luce in vuoto;

1990 - unità elettriche convenzionali per il volt e ohm, scala pratica ITS -90



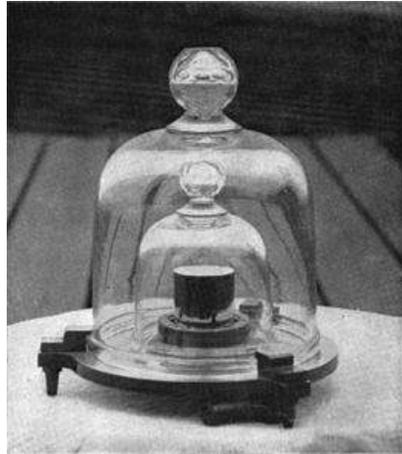
**CARBONIO 12**



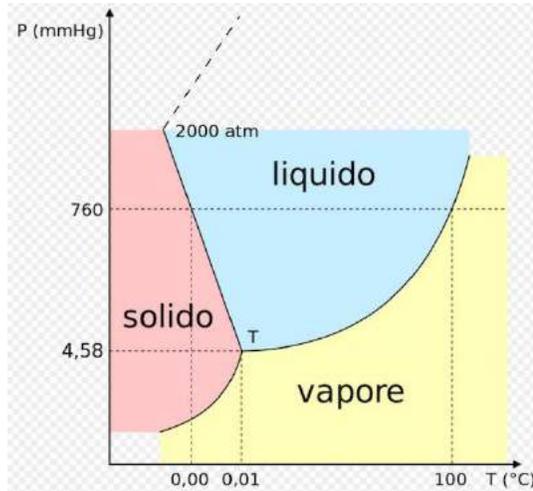
<b>Protoni 6</b>
<b>Neutroni 6</b>
<b>Elettroni 6</b>
<b>Numero atomico 6</b>
<b>Numero di massa 12</b>



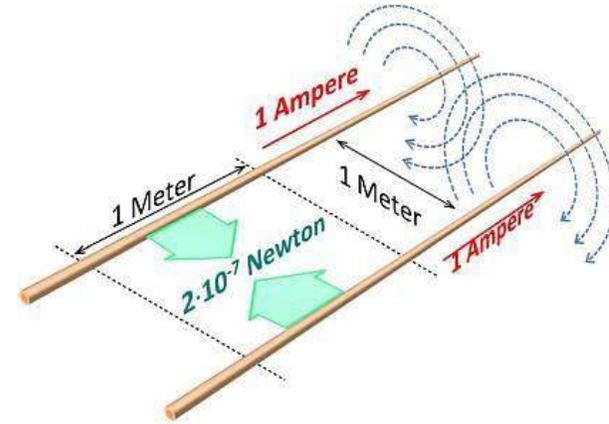
# SI attuale: non omogeneo



Il kilogrammo  
un artefatto



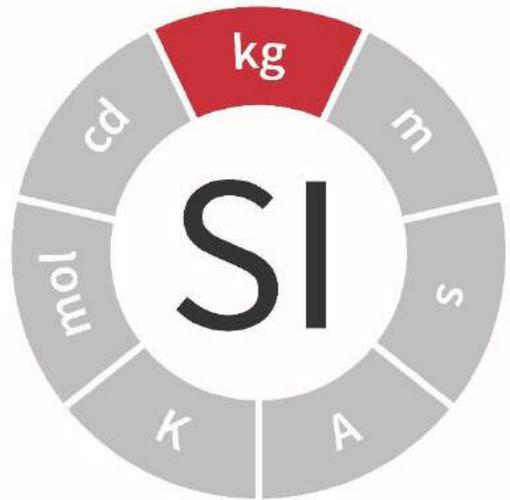
Il kelvin  
una proprietà  
della materia



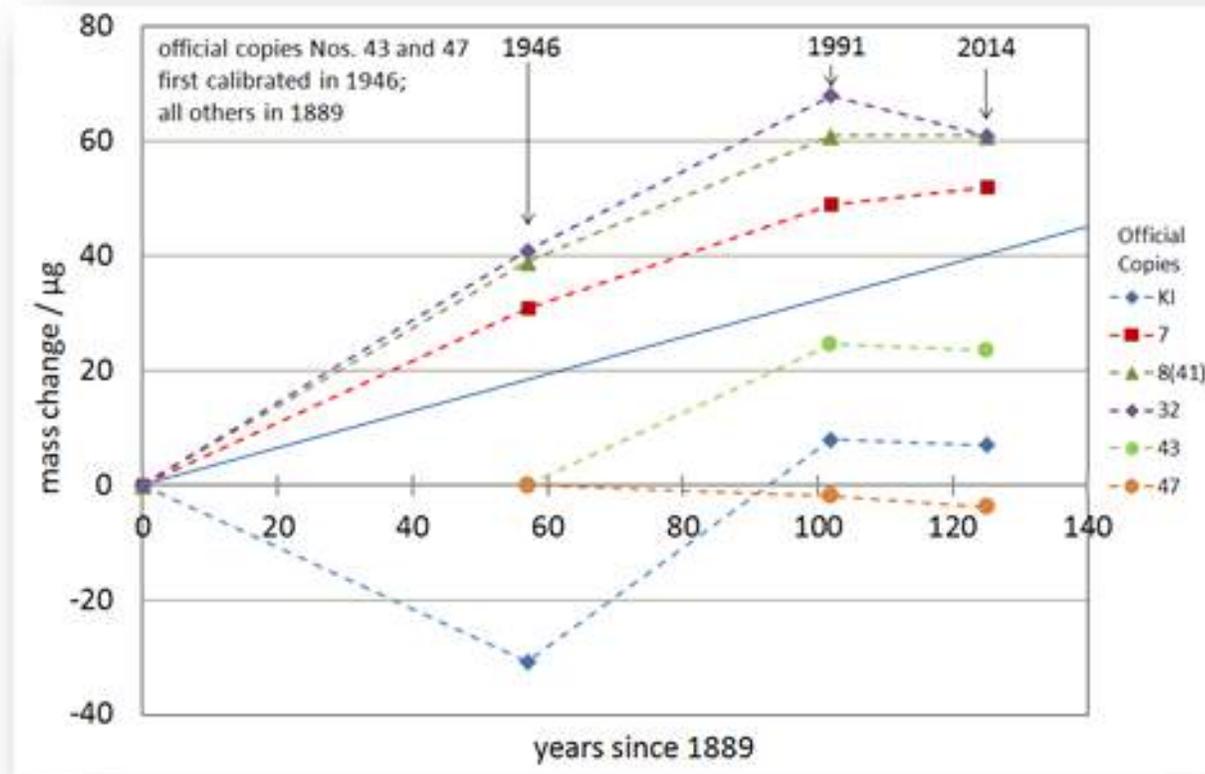
L' ampere  
un esperimento  
ideale

# Il kilogrammo nel Sistema Internazionale

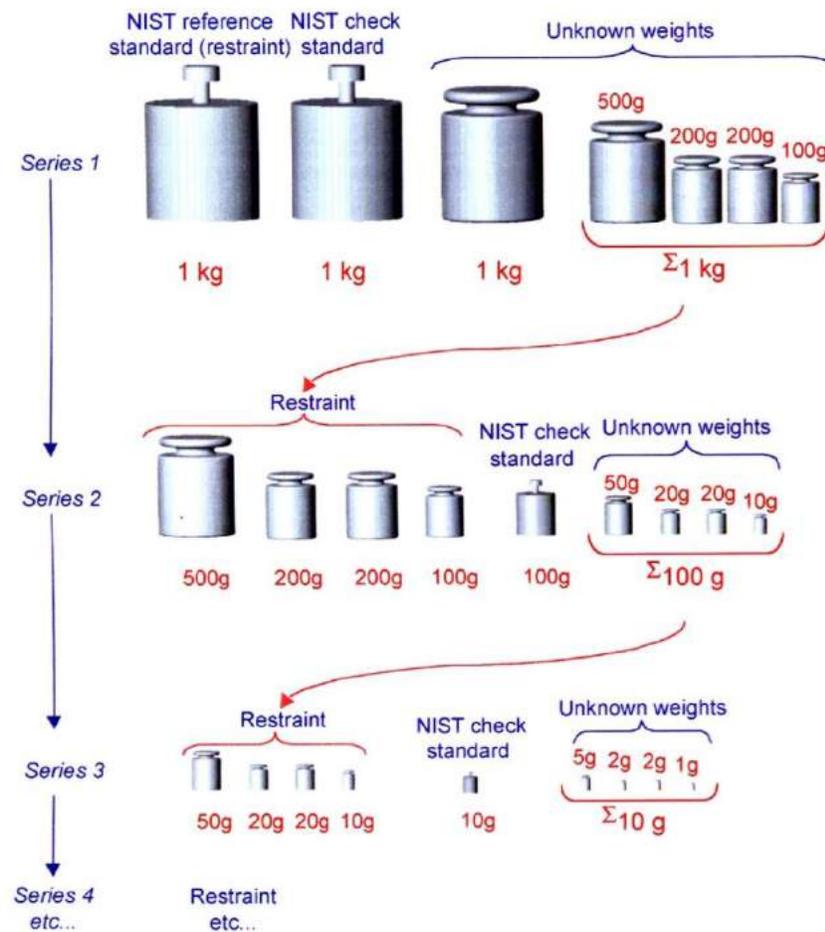
“The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram.”



# Il “problema” del kilogrammo



# Il “problema” del kilogrammo



# Il nuovo kilogrammo: la bilancia di Kibble

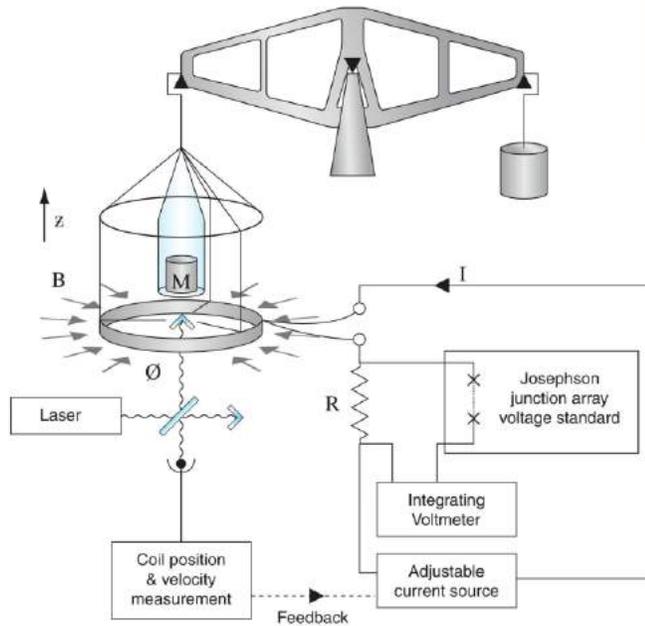
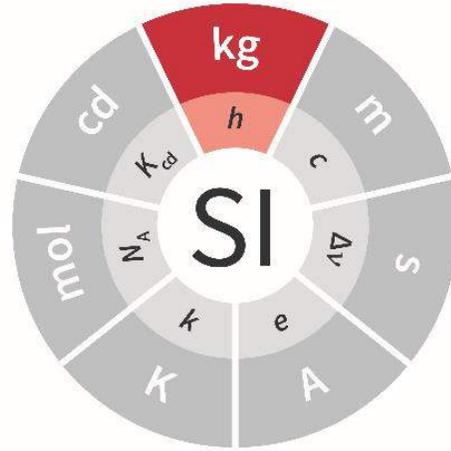
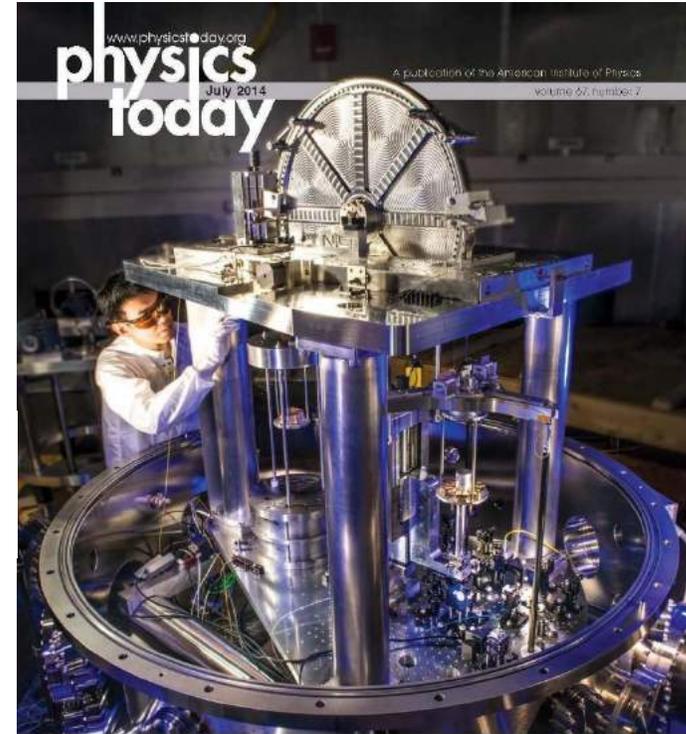


Figure 1. The Kibble balance in weighing mode.

$$UI = mgv.$$

$$\Rightarrow mgv = hf \epsilon f_1 \frac{n}{r}$$

$h$  can be measured mechanically



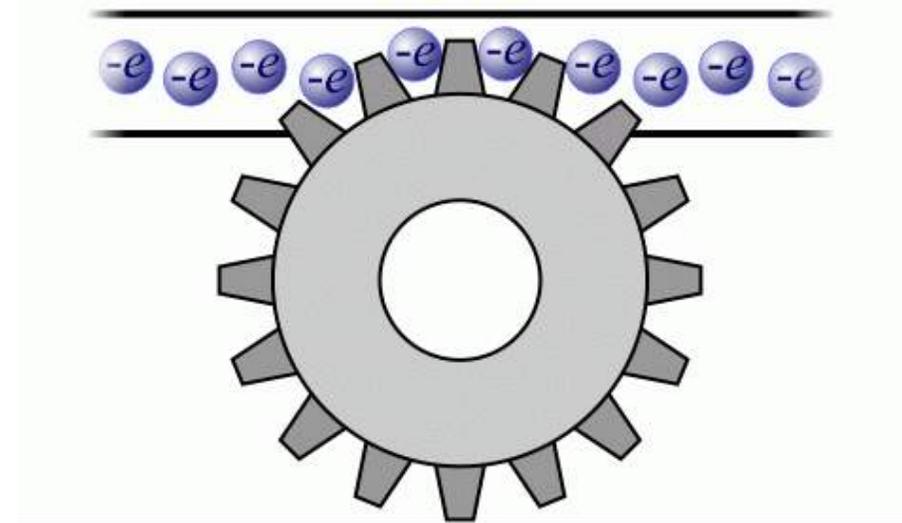
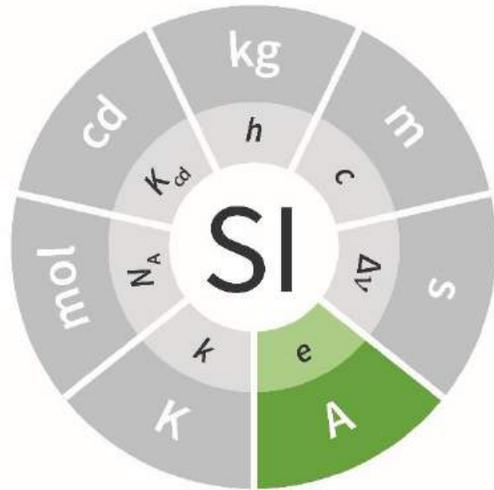
A makeover for the SI

# Il nuovo Sistema Internazionale: l'ampere

$$e = 1.6\ 021\ 760\ 34 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

## Conteggio di elettroni

1 A  $\approx$  6.24 miliardi di miliardi

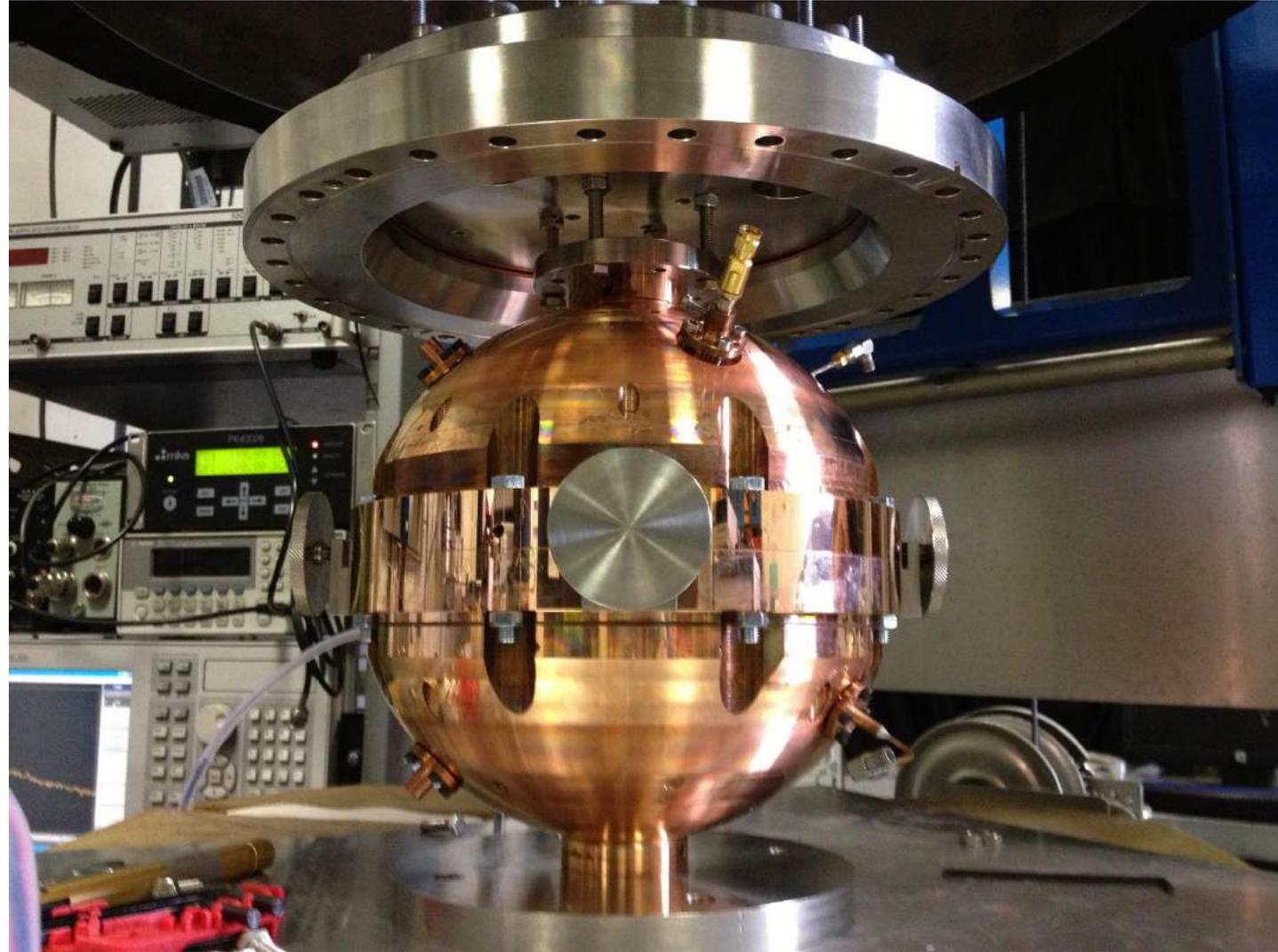
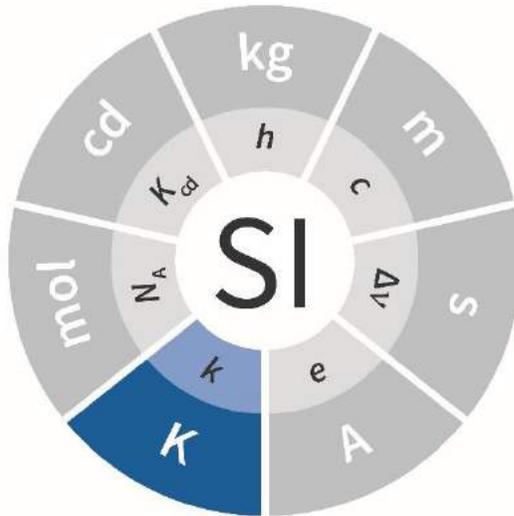


# Il nuovo Sistema Internazionale: il kelvin

## Ideal Gas Law, Physics Version

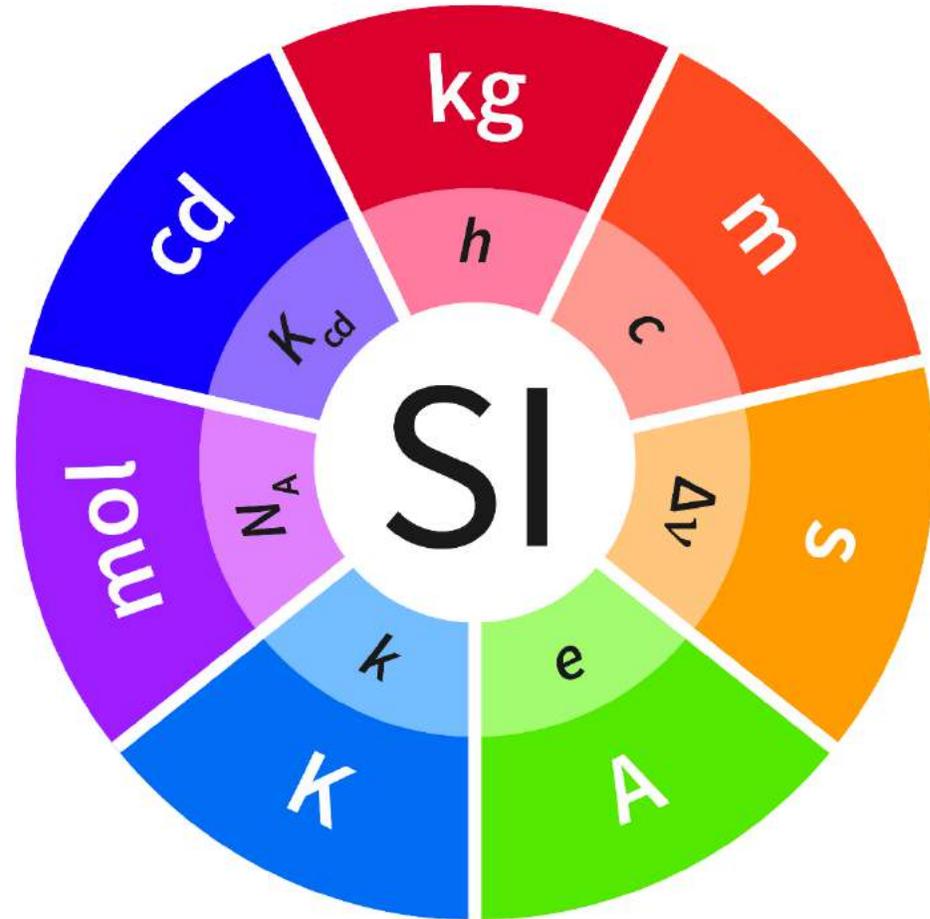
▶  $P V = N k_B T$

- $k_B$  is *Boltzmann's Constant*
- $k_B = R / N_A = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- $N$  is the total number of molecules

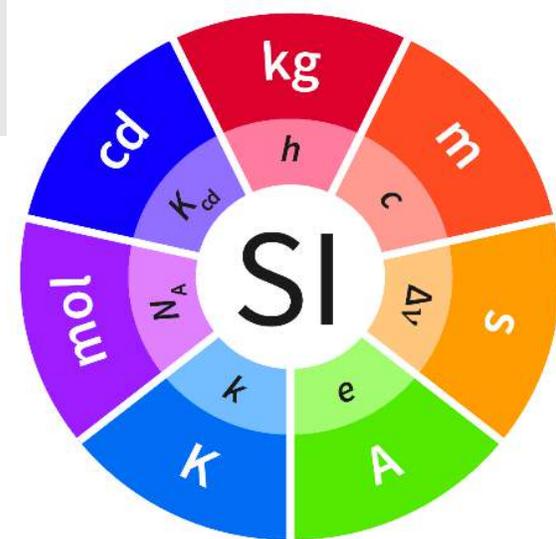


# Il nuovo Sistema Internazionale

Tutte le unità basate  
su costanti fondamentali



# Il Nuovo Sistema Internazionale



## secondo | s

Il secondo è definito dal valore numerico prefissato della frequenza del cesio  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  (la frequenza della transizione iperfine dello stato fondamentale imperturbato dell'atomo di cesio 133), pari a **9 192 631 770** quando espresso in **Hz** (che equivale a  $\text{s}^{-1}$ ).

## metro | m

Il metro è definito dal valore numerico prefissato della velocità della luce nel vuoto  $c$ , pari a **299 792 458**, quando espresso in **m s<sup>-1</sup>**.

## kilogrammo | kg

Il kilogrammo è definito dal valore numerico prefissato della costante di Planck  $h$ , pari a  **$6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$** , quando espresso in **J s** (che equivale a  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

## ampere | A

L'ampere è definito dal valore numerico prefissato della carica elementare  $e$ , pari a  **$1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$** , quando espresso in **C** (che equivale ad A s).

## kelvin | K

Il kelvin è definito dal valore numerico prefissato della costante di Boltzmann  $k$ , pari a  **$1.380\,649 \times 10^{-23}$**  **J K<sup>-1</sup>** (che equivale a  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ ).

## mole | mol

Una mole contiene esattamente  **$6.022\,140\,76 \times 10^{23}$**  entità elementari. Questo numero corrisponde al valore numerico prefissato della costante di Avogadro  $N_A$ , espresso in **mol<sup>-1</sup>**, ed è chiamato numero di Avogadro.

## candela | cd

La candela è definita dal valore numerico prefissato del coefficiente di visibilità della radiazione monocromatica con frequenza  **$540 \times 10^{12}$**  **Hz**  $K_{\text{cd}}$ , pari a **683**, espresso in **lm W<sup>-1</sup>**, o in **cd sr W<sup>-1</sup>** (che equivale a  $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$ ).

# Il Nuovo Sistema Internazionale

The International System of Units, the SI, is the system of units in which:

the unperturbed ground state [...] of the  $^{133}\text{Cs}$  atom,  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$  is 9 192 631 770 Hz

the speed of light in vacuum  $c$  is 299 792 458 m/s

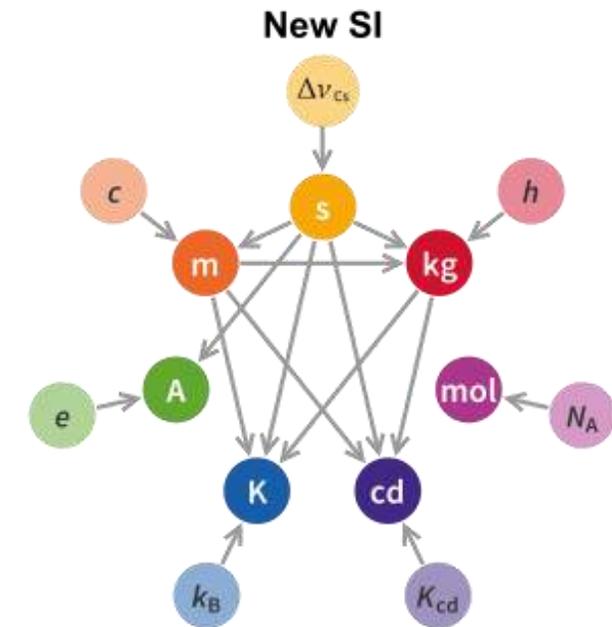
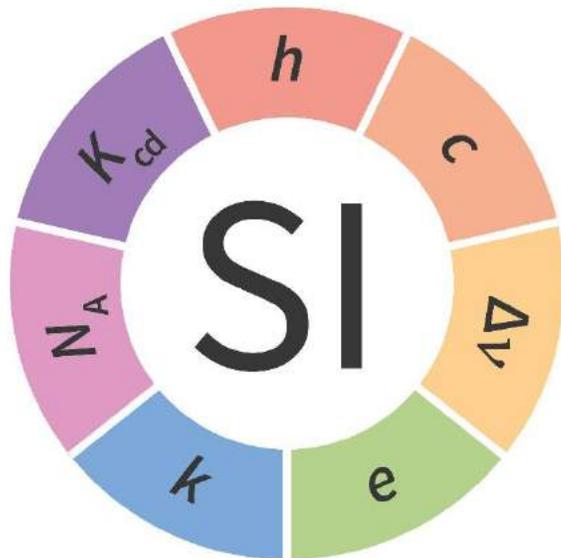
the Planck constant  $h$  is  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  J s

the elementary charge  $e$  is  $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$  C

the Boltzmann constant  $k$  is  $1.380\,649 \times 10^{-23}$  J/K

the Avogadro constant  $N_A$  is  $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$  mol $^{-1}$

the luminous efficacy [...]  $K_{\text{cd}}$ , is 683 lm/W



where the hertz, joule, coulomb, lumen, and watt, with unit symbols Hz, J, C, lm, and W, respectively, are related to the units second, metre, kilogram, ampere, kelvin, mole, and candela, with unit symbols s, m, kg, A, K, mol, and cd, respectively, according to  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ ,  $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ ,  $\text{C} = \text{A s}$ ,  $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ , and  $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$

## XXVI Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure



**B**ureau  
International des  
**P**oids et  
**M**esures

BIPM channel: <https://www.youtube.com/channel/UC9ROltu1--gjcrk5ZcWbHVQ>

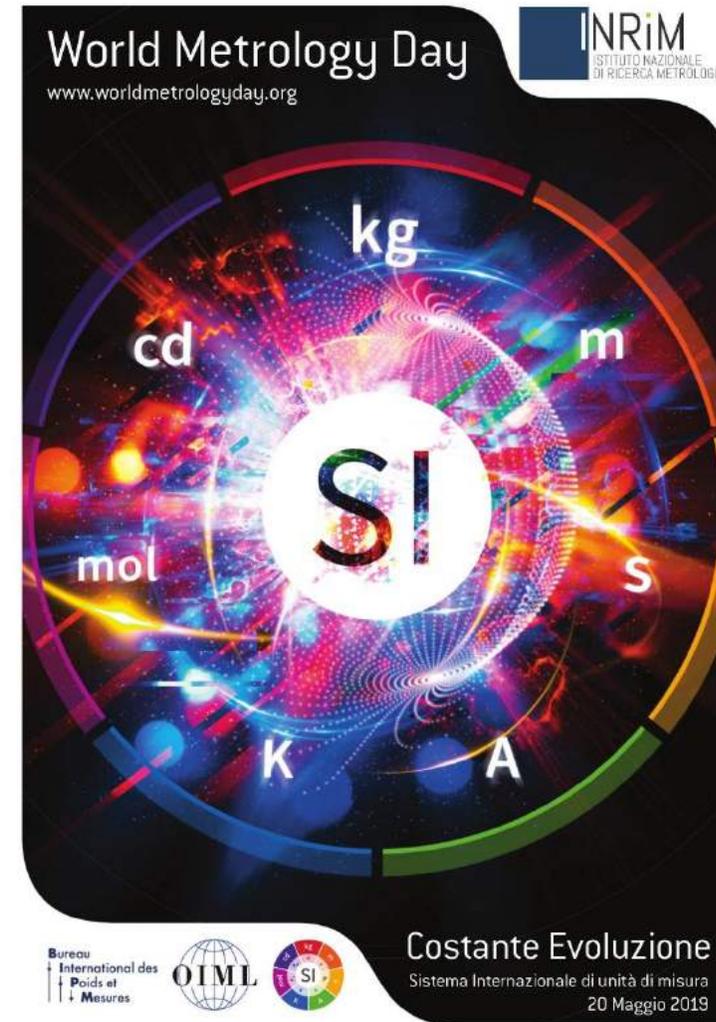
# Le tappe

20 maggio 2019:  
*World Metrology Day*



Implementation Day  
of the new SI

<http://aulascienze.scuola.zanichelli.it/come-tenlo-spiego/2019/01/14/il-nuovo-sistema-internazionale-delle-unita-di-misura/>

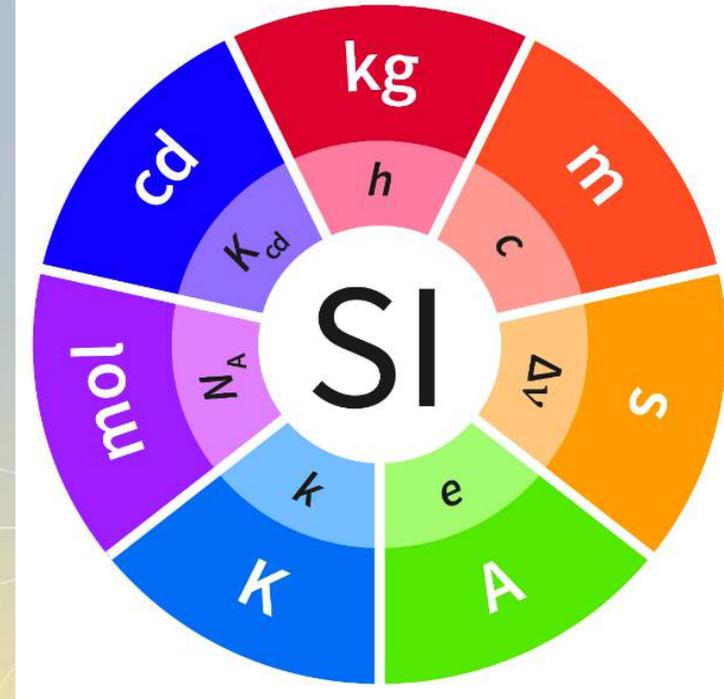


Grazie per l'attenzione!



# INNOVATION IN MEASUREMENT

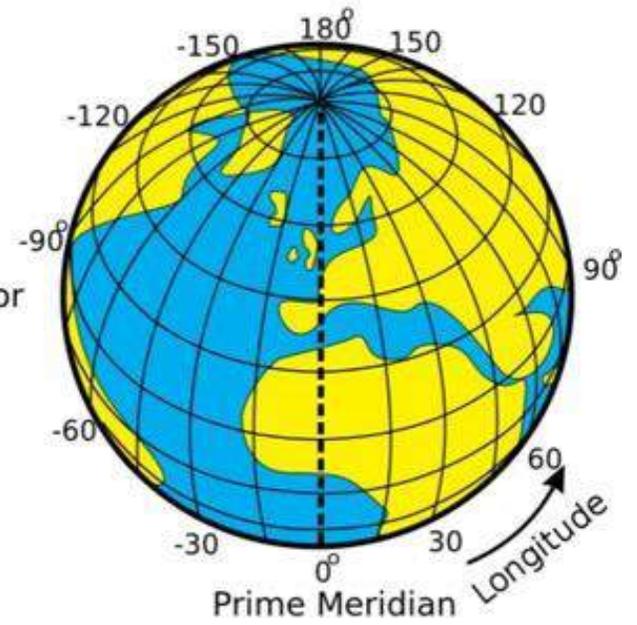
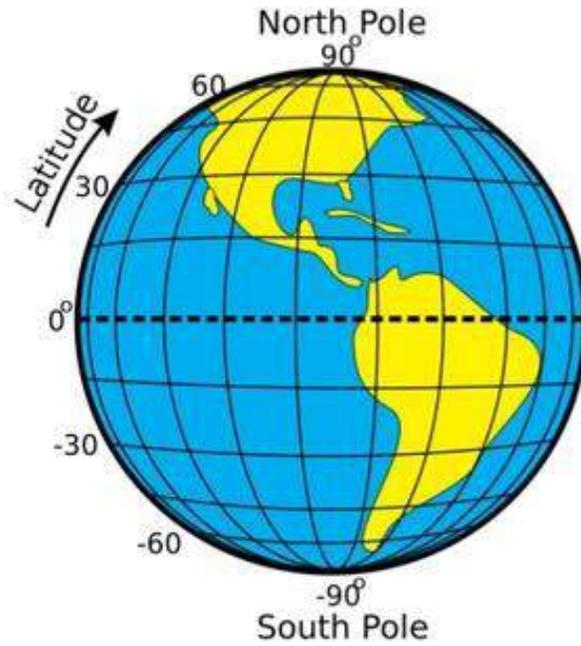
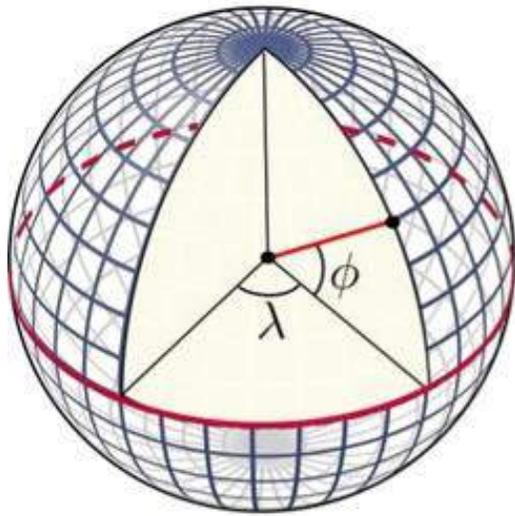
Diamo il benvenuto al nuovo  
**SISTEMA INTERNAZIONALE  
DELLE UNITÀ DI MISURA**  
*Let's welcome the new*  
**INTERNATIONAL SYSTEM OF UNITS**



# Il problema della longitudine



# Il problema della longitudine



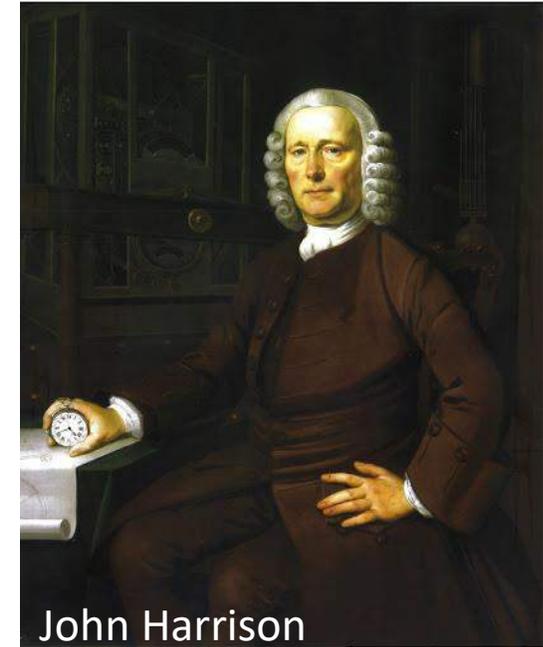
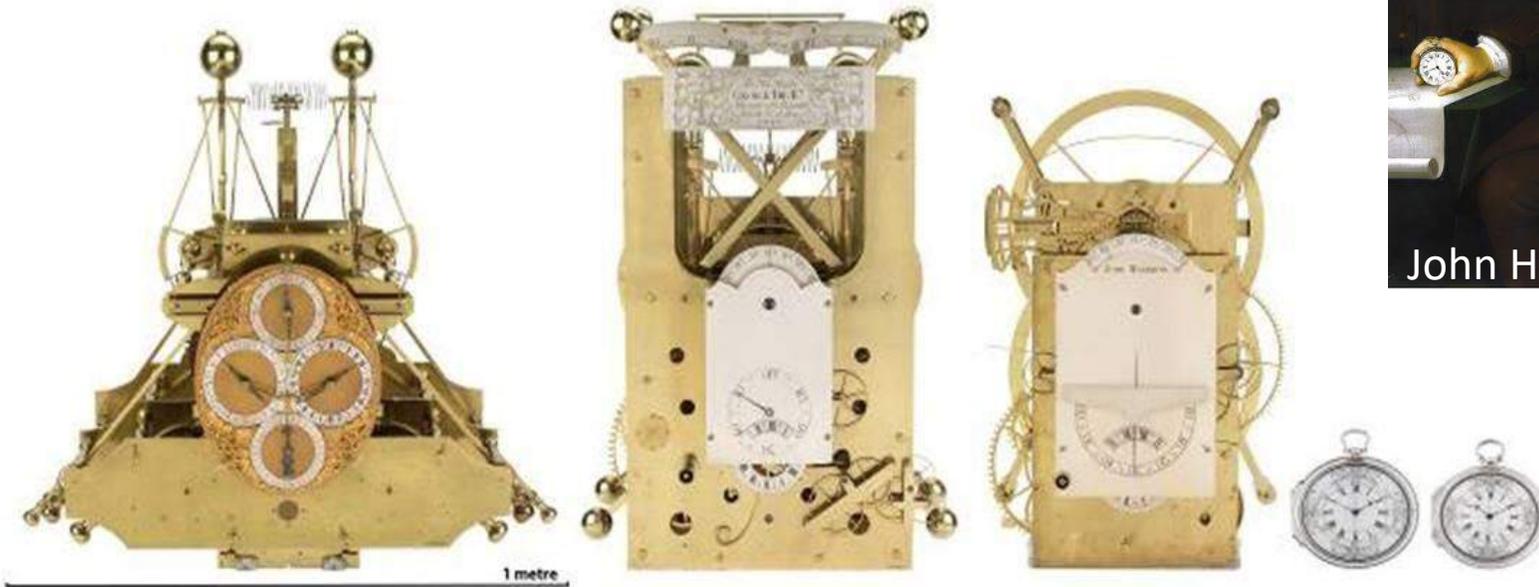
# Finanziamento pubblico alla ricerca

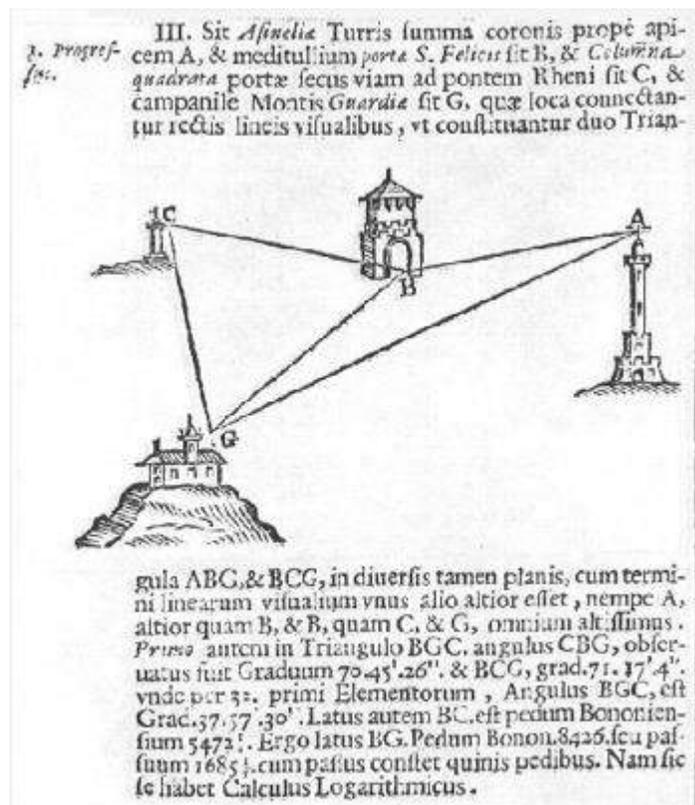
## 1714 Longitude Act

£10,000 for a method that could determine longitude within 1 degree at the equator

£15,000 for a method that could determine longitude within 40 minutes

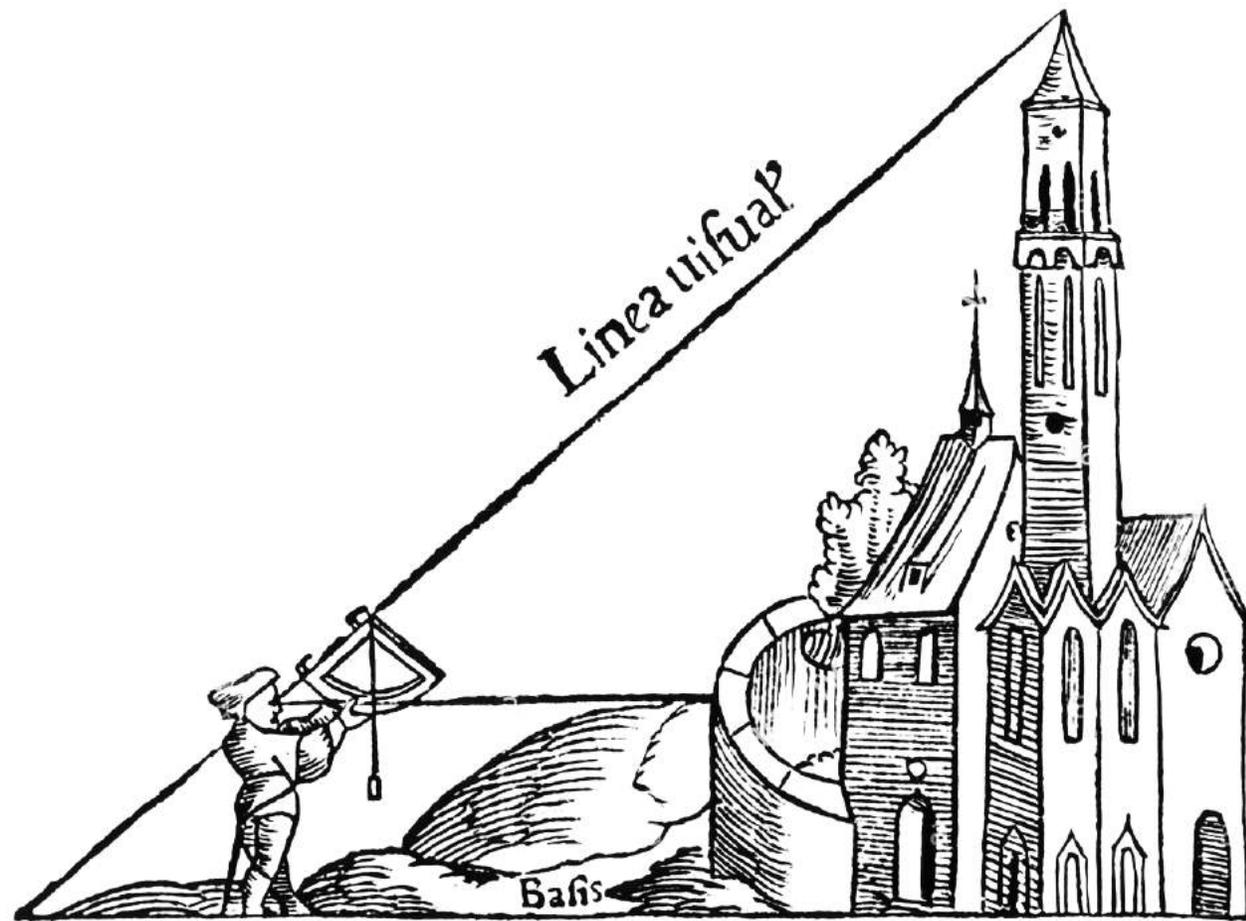
£20,000 for a method that could determine longitude within 30 minutes





utilizzando un antico disegno, riferito ad alcuni edifici salienti della città di Bologna. Misurati la distanza tra i due punti accessibili A e B (rispettivamente la Torre degli Asinelli e Porta San Felice) e gli angoli GAB e GBA, il triangolo ABG è univocamente definito, e i lati GA e GB, cioè le distanze tra il punto inaccessibile G (nella figura il Monte della Guardia, noto per il Santuario della B.V. di S.Luca) ed A e B, risultano determinati.

Figura tratta da Geographiae et hydrographiae reformatae di G.B. Riccioli (1672) (Biblioteca del Dipartimento di Astronomia, Università di Bologna)



An engraving from a 16th-century treatise by Levinus Hulsius (1546–1606).

