

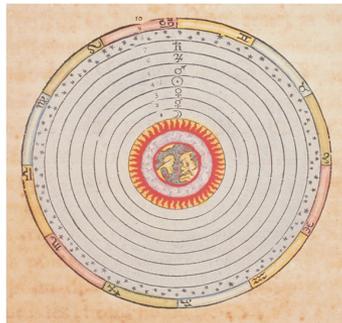
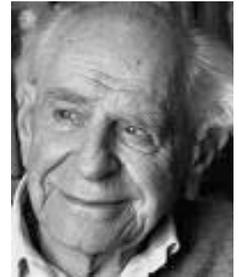
# Riepilogo: cos'è il Metodo Scientifico

La metodologia ufficialmente adottata dalla scienza si basa sull'**osservazione** dei fenomeni del mondo che ci circonda. La fisica, in particolare, si basa sull'osservazione dei fenomeni fisici, osservazione che comprende anche la progettazione e l'esecuzione di **esperimenti**.

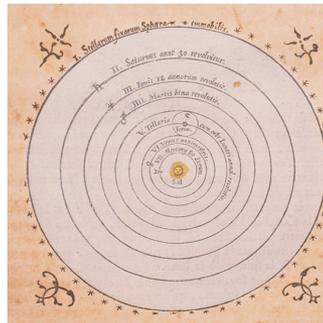


Per spiegare e mettere in ordine le loro osservazioni, i fisici elaborano (inventano) dei **modelli** (relativamente semplici) o formulano delle **teorie** (più ampie e dettagliate). Queste ultime sono generalmente espresse in un formalismo matematico, cioè sotto forma di **equazioni** che mettono in relazione tra loro le **grandezze fisiche** coinvolte, permettendo altresì di effettuare delle previsioni sul comportamento del sistema fisico osservato.

A questo punto le **previsioni** di un modello o di una teoria possono essere **controllate** per mezzo di ulteriori esperimenti. Se gli esperimenti sono in accordo con la teoria possiamo dire che quest'ultima è **corroborata** (ma non verificata); altrimenti, in presenza anche di un unico esperimento in disaccordo con essa, la teoria è **falsificata** (Popper).



(a)



(b)

Una **nuova teoria** può sostituirla una precedente se le sue previsioni sono in **migliore accordo** con gli esperimenti, o anche se essa spiega un insieme più grande di fenomeni rispetto alla vecchia teoria [es. Tolomeo (a) vs Copernico (b)]

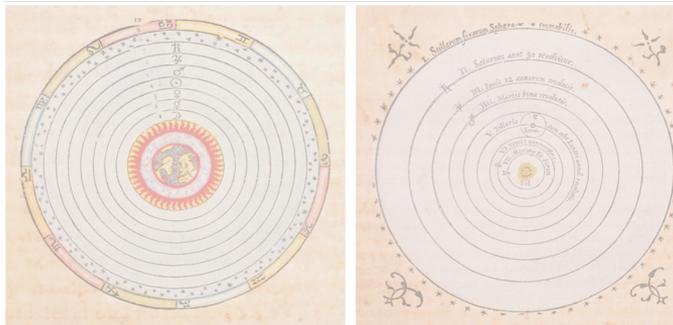
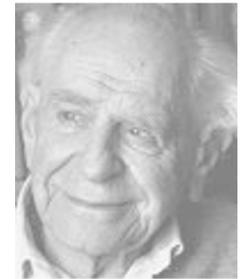
# Riepilogo: cos'è il Metodo Scientifico

La metodologia ufficialmente adottata dalla scienza si basa sull'**osservazione** dei fenomeni del mondo che ci circonda. La fisica, in particolare, si basa sull'osservazione dei fenomeni fisici, osservazione che comprende anche la progettazione e l'esecuzione di **esperimenti**.



Per spiegare e mettere in ordine le loro osservazioni, i fisici elaborano (inventano) dei **modelli** (relativamente semplici) o formulano delle **teorie** (più ampie e dettagliate). Queste ultime sono generalmente espresse in un formalismo matematico, cioè sotto forma di **equazioni** che mettono in relazione tra loro **le grandezze fisiche** coinvolte, permettendo altresì di effettuare delle previsioni sul comportamento del sistema fisico osservato.

A questo punto le **previsioni** di un modello o di una teoria possono essere **controllate** per mezzo di ulteriori esperimenti. Se gli esperimenti sono in accordo con la teoria possiamo dire che quest'ultima è **corroborata** (ma non verificata); altrimenti, in presenza anche di un unico esperimento in disaccordo con essa, la teoria è **falsificata** (Popper).



(a)

(b)

Una nuova teoria può sostituirla una precedente se le sue previsioni sono in **migliore accordo** con gli esperimenti, o anche se essa spiega un insieme più grande di fenomeni rispetto alla vecchia teoria [es. Tolomeo (a) vs Copernico (b)]

# Le Grandezze Fisiche

# Definizione operativa di ‘Grandezza Fisica’:

“Ente suscettibile di misura introdotto per la descrizione di un fenomeno fisico”

• Grandezze la cui misura è diretta (“grandezze fondamentali”):

- definizione di un “campione” di riferimento e di una **unità di misura**
- definizione di un **procedimento** (ripetibile) **di misura**, ossia di un confronto tra l’oggetto in esame e un oggetto omogeneo assunto come **unità di misura**

Esempi:

**grandezza fisica**

lunghezza

tempo

massa

temperatura

**unità di misura**

metro, pollice (“inch”),...

secondo

chilogrammo, oncia,...

grado (Celsius, Fahrenheit,...)

• Grandezze la cui misura è indiretta (“grandezze derivate”):

Sono espresse in funzione delle “grandezze fondamentali”

Esempi: velocità (metri al secondo), accelerazione (metri al secondo<sup>2</sup>),  
forza, energia, pressione, etc...

# Evoluzione nel tempo della definizione delle unità di misura e dei campioni di riferimento

Esempio: la grandezza fondamentale “lunghezza”

**1 metro:**

$-1/10^7$  distanza tra polo nord ed equatore calcolata sul meridiano di Parigi; (1791)



# Evoluzione nel tempo della definizione delle unità di misura e dei campioni di riferimento

Esempio: la grandezza fondamentale “lunghezza”

**1 metro:**

-  $1/10^7$  distanza tra polo nord ed equatore calcolata sul meridiano di Parigi; (1791)

- “metro campione” : dist. tra 2 righe incise su una barra di platino-iridio conservata a Sevrès (Parigi) ; (1889)



# Evoluzione nel tempo della definizione delle unità di misura e dei campioni di riferimento

Esempio: la grandezza fondamentale “lunghezza”

1 metro:

-  $1/10^7$  distanza tra polo nord ed equatore calcolata sul meridiano di Parigi; (1791)

- “metro campione”: dist. tra 2 righe incise su una barra di platino-iridio conservata a Sevres (Parigi); (1889)

-  $1.650.763,73 \lambda^{2p_{10} \rightarrow 5d_5}$  Krypton 86, nel vuoto (1960)

Periodic Table of the Elements

1 IA 1A	2 IIA 2A											17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A				
1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.003											3 B Boron 10.811	4 C Carbon 12.011	5 N Nitrogen 14.007	6 O Oxygen 15.999	7 F Fluorine 18.998	8 Ne Neon 20.180
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	3 III 3B	4 IV 4B	5 V 5B	6 VI 6B	7 VII 7B	8 VIII 8	9 VIII 9	10 VIII 10	11 IB 11	12 IIB 12	13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.294



# Evoluzione nel tempo della definizione delle unità di misura e dei campioni di riferimento

Esempio: la grandezza fondamentale “lunghezza”

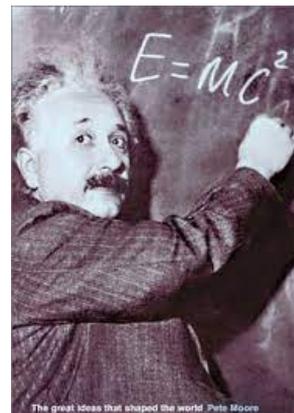
**1 metro:**

-  $1/10^7$  distanza tra polo nord ed equatore calcolata sul meridiano di Parigi; (1791)

- “metro campione” : dist. tra 2 righe incise su una barra di platino-iridio conservata a Sevrès (Parigi) ; (1889)

-  $1.650.763,73 \lambda^{2p_{10} \rightarrow 5d_5}$  Krypton 86, nel vuoto (1960)

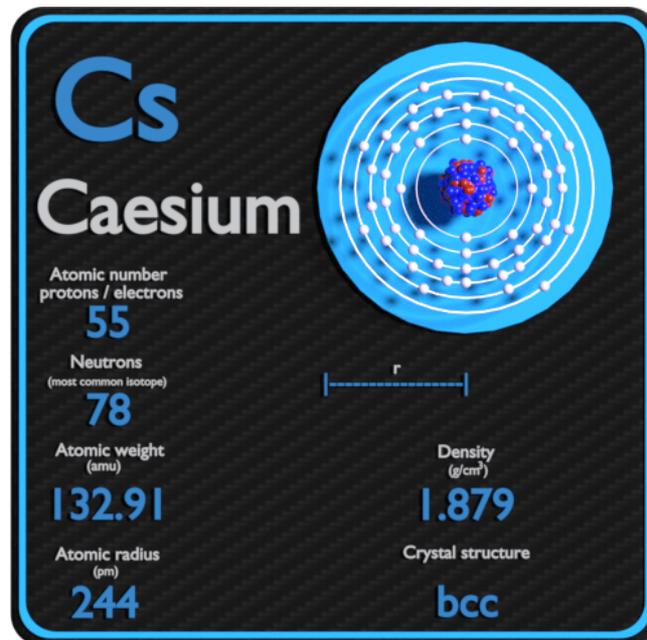
-  $1/299\,792\,458$  dello spazio percorso dalla luce nel vuoto in 1 secondo (1971)



# Sistema Internazionale (S.I.) di Unità di Misura

( adottato dalla XIV Conferenza Generale di Pesi e Misure, Parigi, 1971 )

Grandezza fondam.	Unità	Simbolo	Definizione
• <b>Lunghezza</b>	Metro	<b>m</b>	1/299792458 dello spazio percorso dalla luce nel vuoto in 1 s
• <b>Tempo</b>	Secondo	<b>s</b>	9192631,77 periodi della radiazione prodotta dalla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133



# Sistema Internazionale (S.I.) di Unità di Misura

( adottato dalla XIV Conferenza Generale di Pesi e Misure, Parigi, 1971 )

Grandezza fondam.	Unità	Simbolo	Definizione
• <b>Lunghezza</b>	Metro	<b>m</b>	$1/299792458$ dello spazio percorso dalla luce nel vuoto in 1 s
• <b>Tempo</b>	Secondo	<b>s</b>	$9192631,77$ periodi della radiazione prodotta dalla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133
• <b>Massa</b>	Chilogrammo	<b>kg</b>	massa di un campione cilindrico di Platino-Iridio conservato a Sevrès (fino al 2019)



# Sistema Internazionale (S.I.) di Unità di Misura

( adottato dalla XIV Conferenza Generale di Pesi e Misure, Parigi, 1971 )

Grandezza fondam.	Unità	Simbolo	Definizione
• <b>Lunghezza</b>	Metro	<b>m</b>	1/299792458 dello spazio percorso dalla luce nel vuoto in 1 s
• <b>Tempo</b>	Secondo	<b>s</b>	9192631,77 periodi della radiazione prodotta dalla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di Cesio 133
• <b>Massa</b>	Chilogrammo	<b>kg</b>	<del>massa di un campione cilindrico di Platino-Iridio conservato a Sevrès</del>

(dal 2019...)

Con votazione avvenuta il 16 novembre 2018, il [Bureau international des poids et mesures](#) ha stabilito che, dopo il 20 maggio 2019, il chilogrammo viene definito tramite una proprietà fisica correlata ad una costante fondamentale<sup>[8][9]</sup>, ossia come la quantità di massa necessaria per compensare una forza di  $6,62607015 \times 10^{-34}$  J·s in una [bilancia di Watt](#). Affinché quest'ultima sia in equilibrio, è necessario che sia percorsa da una data quantità di corrente  $e$ , a causa delle definizioni di [volt](#) e di [ohm](#), la misurazione del chilogrammo è correlata alla [Costante di Planck](#) ( $6,62607015 \times 10^{-34}$  J·s)<sup>[19]</sup> tramite la seguente relazione<sup>[20]</sup>:

WIKIPEDIA  
L'enciclopedia libera

$$1 \text{ kg} = \left( \frac{h}{6,62607015 \times 10^{-34}} \right) \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$$

Dove  $h$  è appunto la costante di Planck.

# Sistema Internazionale (S.I.) di Unità di Misura

- **Temperatura** Grado Kelvin **K** 1/273,16 della temperatura assoluta del punto triplo dell'acqua
- **Corrente elettrica** Ampère **A** intensità di corrente che in due conduttori rettilinei paralleli e di lunghezza infinita posti a distanza di 1 m produce una forza di  $2 \times 10^{-7}$  N
- **Intensità luminosa** Candela **cd** intensità luminosa di una sorgente di frequenza  $5 \times 10^{14}$  Hz la cui intensità energetica è 1/683 W/sterad
- **Quantità di sostanza** Mole **mol** quantità di sostanza contenente tante "unità elementari" (atomi /molecole/ioni...) pari al **numero di Avogadro**  
 $N_A = 6,02252 \cdot 10^{23}$

# Misura delle grandezze fisiche



*“Ogni **misurazione** è un’operazione chiaramente definita che dà un determinato risultato **numerico** e che, se immediatamente **ripetuta**, darà lo stesso **risultato**”.*  
E.Schrödinger



# Misura delle grandezze fisiche



*“Ogni **misurazione** è un’operazione chiaramente definita che dà un determinato risultato **numerico** e che, se immediatamente **ripetuta**, darà lo stesso **risultato**”.*  
E.Schrödinger

Come abbiamo visto, alla base di ogni teoria fisica c’è un processo di misura, ossia di confronto tra un oggetto da misurare, ad es. una **grandezza fisica  $B$** , e un opportuno oggetto ad esso omogeneo assunto come **unità di misura  $[b]$** . Il **risultato** della misura sarà dunque un **numero  $b$**  che esprime il rapporto tra la grandezza fisica e la sua unità di misura, ossia ci dice quante volte l’unità di misura è contenuta nella grandezza misurata:



$$b = \frac{B}{[b]} \rightarrow [b]b = \frac{B[b]}{[b]} \rightarrow [b]b = B \rightarrow B = b[b]$$

Ad esempio, se  $B$  è una lunghezza, allora  $[b]$  sarà il metro (m) e un ipotetico risultato di misura sarà del tipo:  $B = 2.5 \text{ m}$ . L’unità di misura  $[b]$  si può anche chiamare «**dimensione**» della grandezza fisica, e si può indicare con l’iniziale della grandezza corrispondente posta tra parentesi quadre: [L] per la Lunghezza, [T] per il Tempo, [M] per la Massa, etc... Grandezze che hanno la stessa dimensione si dicono **omogenee**.

## Reminder: come si ricavano le formule inverse?

Per sapere come ottenere le formule inverse bisogna anzitutto avere ben chiari due principi chiave dell'algebra: il primo e il secondo principio di equivalenza.

**Il primo principio di equivalenza** afferma che: aggiungendo o sottraendo ad entrambe i membri di un'equazione una stessa quantità, l'equazione resta equivalente alla data.

Ad esempio, data l'equivalenza

$$x - 3 = 2$$

posso sommare in entrambi i membri il valore + 3 ed ottenere un'equazione equivalente a quella data:

$$x - \cancel{3} + \cancel{3} = 2 + 3 \quad \dots -3 \text{ e } +3 \text{ si semplificano...}$$

È quindi come se avessi trasportato il - 3 nel membro di destra ma cambiandolo di segno.

$$x = 2 + 3 \quad \text{Poi si può ovviamente sommare per ottenere: } x = 5$$

Risulta quindi che: in un'equazione con somme e sottrazioni posso liberamente trasportare un termine da un membro all'altro cambiandolo però di segno.

## Reminder: come si ricavano le formule inverse?

Il **secondo principio dell'equivalenza** afferma che moltiplicando o dividendo entrambe i membri di un'equazione per una stessa quantità diversa da zero l'equazione resta equivalente alla data.

Ad esempio, data l'equivalenza

$$6 \cdot x = 18$$

posso dividere entrambi i membri per il valore + 6 ottenendo un'equazione equivalente a quella data:

$$\frac{6 \cdot x}{6} = \frac{18}{6}$$

.... il 6 al numeratore si  
semplifica con il 6 al  
denominatore...

È come se il 6 del membro di sinistra l'avessi portato nel membro di destra ma al denominatore.

$$x = \frac{18}{6}$$

Poi si può ovviamente semplificare  
la frazione per ottenere:  $x = 3$

Risulta quindi che: in un'equazione con moltiplicazioni e divisioni posso liberamente trasportare un termine da un membro all'altro cambiandolo però di posizione: se è al numeratore lo trasporto al denominatore e viceversa.

**Infine:** Le uguaglianze e quindi le equazioni hanno una **proprietà di simmetria**, cioè è sempre possibile scambiare tra loro i due membri dell'equazione.

$$3x - 2 = 4 - x \longleftrightarrow 4 - x = 3x - 2$$

# Conversione delle unità di misura

Una operazione utile in molte circostanze è la trasformazione delle unità di misura per mezzo del cosiddetto metodo di *conversione a catena*.

La misura originaria viene moltiplicata per un **fattore di conversione** che assume la forma di un *rapporto unitario fra due quantità identiche*.

$$\text{Ad esempio: } 1 \text{ min} = 60 \text{ s} \rightarrow \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1$$

La moltiplicazione per il fattore di conversione lascia quindi **inalterata** la quantità originaria, limitandosi a modificarne il valore numerico e l'unità di misura. Nella conversione conviene **scegliere il fattore in modo da elidere l'unità di misura originaria** e lasciare al suo posto quella desiderata. Tenere presente che la semplificazione delle unità obbedisce alle stesse regole delle variabili algebriche e dei numeri (ad es. una stessa quantità presente sia a numeratore che a denominatore si elide).

$$\text{Ad esempio: } 2 \text{ min} = (2 \text{ min})(1) = (2 \cancel{\text{ min}}) \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \cancel{\text{ min}}} \right) = 120 \text{ s}$$

$$80 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = (80 \frac{\text{Km}}{\text{h}})(1) = (80 \cancel{\frac{\text{Km}}{\text{h}}}) \left( \frac{1 \cancel{\text{ h}}}{3600 \text{ s}} \right) \left( \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{ Km}}} \right) = 22.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**NOTA:** quindi per passare da Km/h a m/s basta dividere per 3.6, mentre per la trasformazione inversa basta moltiplicare per 3.6

# Dimensioni di una grandezza fisica

Torniamo alla nostra espressione del risultato di una misura:

$$B = b [b]$$

Abbiamo visto che il simbolo  $[b]$  specifica il tipo di **unità di misura** della grandezza fisica  $B$ , al quale ci si riferisce anche utilizzando il termine ‘**dimensioni**’ di una grandezza fisica (da non confondere con il concetto di ‘dimensioni’ spaziali che utilizzeremo in seguito).

Quando specifichiamo le dimensioni di una grandezza derivata, di solito lo facciamo in termini di dimensioni delle grandezze fondamentali. Per la prima parte del nostro corso (Meccanica Newtoniana) avremo essenzialmente a che fare con tre grandezze fondamentali: **lunghezze, tempi e masse**, le cui dimensioni – come già detto – si indicano rispettivamente con  $[L]$  (= metri),  $[T]$  (= secondi) ed  $[M]$  (= kg). Le dimensioni di tutte le altre grandezze derivate che incontreremo si otterranno quindi a partire da queste tre.

Le dimensioni di un’**area**, ad esempio, sono sempre lunghezze al quadrato, e si indicano con  $[L^2]$ , mentre un **volume** sarà indicato da  $[L^3]$ . Le dimensioni di una **velocità**, invece, sono sempre del tipo  $[L]/[T]$ , ossia lunghezza diviso tempo, mentre le dimensioni dell’**accelerazione** saranno del tipo  $[L]/[T^2]$ , e via dicendo...

Le dimensioni sono spesso utilizzate per individuare relazioni tra grandezze fisiche: tale procedura viene chiamata ‘**analisi dimensionale**’, che si rivela molto utile per controllare se una certa relazione (equazione) è *sintatticamente corretta*, ossia se è *corretta dal punto di vista formale* (cioè se non ci sono simboli strani e se, una volta effettuate le eventuali semplificazioni, il primo e il secondo membro dell’equazione hanno le stesse dimensioni).

# Grandezze omogenee e analisi dimensionale

Controllare se una certa relazione tra grandezze fisiche (tipicamente rappresentata da una equazione) sia **sintatticamente** corretta non è sempre facile. Mentre ad esempio la sintassi dell'equazione  $\mathbf{F} \neq \mathbf{G} \neq \mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2 // \mathbf{r}^2$  è palesemente errata a causa della presenza di simboli privi di senso, non è altrettanto facile capire se lo stesso vale per quest'altra equazione, apparentemente corretta:

$$v = v_0 + 1/2 a t^2$$

In sostanza, questa equazione affermerebbe che *la velocità  $v$  di un corpo, dotato di una velocità iniziale  $v_0$  e soggetto ad una accelerazione costante  $a$ , varia nel tempo in un certo modo*. Prima ancora di chiederci se sia corretta dal punto di vista semantico (cioè se corrisponda ad una legge fisica reale), dobbiamo verificare se lo sia fino in fondo dal punto di vista **sintattico**, effettuando somme e sottrazioni solo tra grandezze omogenee e controllando se primo e secondo membro hanno la stessa dimensione. A questo scopo si può usare appunto l'**analisi dimensionale**, che consta dei seguenti due passaggi:

- 1) **Prima si sostituiscono alle grandezze fisiche le loro unità di misura**; nell'esempio che stiamo considerando, se si ricorda che le dimensioni della velocità sono  $[L]/[T]$ , quelle dell'accelerazione  $[L]/[T^2]$  e che i fattori numerici (1/2 in questo caso) non influiscono sul controllo dimensionale (e quindi si trascurano), otterremo la seguente **equazione dimensionale**:

$$[L]/[T] = [L] / [T] + ([L] / [T^2]) [T^2]$$

# Grandezze omogenee e analisi dimensionale

2) Poi si eseguono le operazioni richieste, come se le dimensioni fossero delle variabili letterali in una normale equazione algebrica, sommando o sottraendo solo quantità omogenee (ad es.  $[L] + [L] = [L]$ ) e moltiplicando o dividendo qualsiasi quantità (effettuando le eventuali semplificazioni, ad es.  $[L] [T] / [T^2] = [L] / [T]$  ,  $[L] / [L^2] = 1 / [L]$  ).

Riprendendo la nostra equazione di prima, la **semplificazione** è immediata:

$$[L]/[T] = [L]/[T] + ([L]/[T^2]) [T^2] \rightarrow [L]/[T] = [L]/[T] + [L]$$

ma si nota subito che la relazione ottenuta **non è corretta** dal punto di vista dimensionale, in quanto si cerca di sommare (nel secondo membro) due quantità non omogenee (una velocità con una lunghezza); concluderemo quindi che l'equazione originaria è anch'essa **non corretta già da un punto di vista sintattico**.

Studiando più avanti la Cinematica del moto uniformemente accelerato vedremo che l'equazione in questione **non è corretta nemmeno dal punto di vista semantico**, in quanto la legge che descrive come varia nel tempo  $t$  la velocità  $v$  di un corpo dotato di una velocità iniziale  $v_0$  e soggetto ad una accelerazione costante  $a$  è la seguente:  $v(t) = v_0 + a t$

Ovviamente si può verificare che anche la sua analisi dimensionale è corretta:

$$[L]/[T] = [L]/[T] + ([L]/[T^2])[T] \longrightarrow [L]/[T] = [L]/[T] + [L]/[T] \longrightarrow [L]/[T] = [L]/[T]$$

# Incertezza nella misura delle grandezze fisiche

Riprendendo ancora una volta l'espressione del risultato di una misura:

in realtà questa è incompleta poiché **nessuna misura di una grandezza fisica è precisa in assoluto** (la fisica non è matematica pura!). Ogni risultato numerico ottenuto tramite un processo di misura è infatti affetto da un **errore**, il quale **non è un difetto eliminabile** bensì un elemento intrinsecamente connesso alla misura stessa e che in qualche modo ne definisce la qualità. Avremo quindi:  $B = b \pm \Delta b$  [  $b$  ], dove  $\Delta b$  è appunto l'errore.  
Es:  $B = 2.5 \pm 0.2 m$

in realtà questa è incompleta poiché **nessuna misura di una grandezza fisica è precisa in assoluto** (la fisica non è matematica pura!). Ogni risultato numerico ottenuto tramite un processo di misura è infatti affetto da un **errore**, il quale **non è un difetto eliminabile** bensì un elemento intrinsecamente connesso alla misura stessa e che in qualche modo ne definisce la qualità. Avremo quindi:  $B = b \pm \Delta b$  [  $b$  ], dove  $\Delta b$  è appunto l'errore.  
Es:  $B = 2.5 \pm 0.2 m$

Gli errori, in fisica, sono dovuti a diversi **fattori di incertezza**, tra cui – escludendo gli errori grossolani – dobbiamo annoverare la **limitata accuratezza** (ossia la limitata capacità di restituire una misura vicina al valore reale) di tutti gli strumenti di misura e la **nostra incapacità** di leggere uno strumento al di là di alcune frazioni della più piccola divisione riportata.

