LEZIONE # 1

- INTRODUZIONE AL CORSO

Il corso è articolato in 2 parti fondamentali + una serie di esercitazioni pratiche di laboratorio da svolgere con l'ausilio di strumentazione didattica:

1. **Nozioni fondamentali sui procedimenti di misura e sulle qualità metrologiche degli strumenti.**
2. **La misura di alcune delle principali grandezze meccaniche in ambito industriale.**

L'accesso al laboratorio sarà organizzato per gruppi di lavoro da 10-12 studenti. E' possibile redigere delle relazioni (report tecnici) su ciascuna lezione pratica di laboratorio.

- PROCEDIMENTI CONOSCITIVI: GRANDEZZE FISICHE

Molte sono le domande che l'uomo si è posto nella sua storia evolutiva al fine di comprendere i fenomeni fisici e naturali che lo circondano. "Conoscere" è una delle pulsioni connaturate all'intelligenza umana che trae le proprie motivazioni fondamentali direttamente dall'istinto di sopravvivenza. Lo studio dei procedimenti conoscitivi e della loro origine è materia che investe settori culturali quali le scienze umane e la filosofia, sconfinando anche in campi diversi, quali quello della religione.
Assai più modestamente, si è qui interessati a studiare alcuni "elementi" teorici e applicativi che possano mettere nelle condizioni di conoscere *in che stato si trova* e *come evolve* un qualunque processo tecnologico (prevalentemente per l'industria meccanica) e anche di capire *quanto bene* sta procedendo. Saranno quindi individuate e formalizzate le metodologie sperimentali fondamentali impiegate nell'ingegneria e verranno studiati alcuni degli strumenti tecnologici di ausilio nel procedimento conoscitivo.

La logica di un procedimento conoscitivo sperimentale si fonda su tre passi razionali in sequenza:

Classificazione: a) individuare le caratteristiche o le proprietà salienti di un oggetto o di un fenomeno fisico;
b) raggruppare gli oggetti o i fenomeni in ***classi*** ove le proprietà individuate siano ***omogenee***.
E' un metodo conoscitivo efficace ma puramente qualitativo.

Ordinamento: considerare solo quelle proprietà che possono essere ordinate secondo una ***scala***. E' una prima forma di quantificazione delle proprietà, basata sulla *intensità* della proprietà selezionata.

Misurazione: associare alla proprietà considerata in modo univoco un ***numero*** che la rappresenta ogni volta che tale proprietà si manifesta eguale a se stessa. Si instaura così una ***scala di misura***. Ciò significa istituire una *corrispondenza biunivoca* tra le proprietà fisiche degli oggetti, o dei fenomeni, ed i numeri reali.

Una ***operazione di misura*** è costituita da un'insieme di regole e/o convenzioni, o anche da un procedimento sperimentale, per mezzo dei quali alla proprietà fisica sotto osservazione viene associato un ***numero***. Il ***numero*** è la ***misura*** della grandezza considerata !

Conoscere vuol dire misurare ! La conoscenza scientifica prima e quella tecnologica dopo, sono basate su questo fondamento: la nostra stessa civiltà è fondata sulla conoscenza sperimentale.

Occorre osservare subito un limite importante: *non* si può conoscere mai fino in fondo la vera natura dei fenomeni fisici ! Questo perché *misurare vuol dire perturbare* !
I procedimenti e/o gli strumenti che sono a nostra disposizione per acquisire una conoscenza, interagiscono con la grandezza in esame e la *perturbano*. L'informazione che si ottiene mediante l'operazione di misura è quindi sempre un poco diversa dalla realtà del mondo fisico che vorremmo conoscere. Quanto più accurati risultano i procedimenti e/o quanto migliori gli strumenti tanto più vicina alla realtà risulterà la misura della grandezza fisica in esame. In linea di principio, la misura rappresenta la realtà fisica di un fenomeno con una certa ***approssimazione,*** che in gergo viene chiamata impropriamente ***errore***. Tale errore potrà essere valutato e reso anche molto piccolo, ma mai nullo !

Una volta associate alle *grandezze omogenee* di una stessa classe le rispettive misure (numeri) è possibile applicare alle grandezze di quella classe le stesse proprietà che si applicano ai numeri: eguaglianza e diseguaglianza, minoranza e maggioranza, somma e sottrazione, multiplo e sottomultiplo … Ma come si associa un numero ad una grandezza fisica ?

- CONCETTO DI MISURA

La misura di una grandezza fisica A qualunque è possibile quando si individua una grandezza B, omogenea con A, e si può fare il rapporto tra le due grandezze fisiche omogenee:

$\frac{A}{B} = \alpha$ ***misura di A rispetto a B*** α esiste *sempre* ed è un numero reale !

Quando viene scelta una ***grandezza campione*** o ***unità*** **B ≡ U** il procedimento di associare in modo univoco un numero alla grandezza fisica è compiuto e si può parlare di ***misura della grandezza A***.

$$\frac{A}{U} = a \quad \textbf{\textit{misura di A !}}$$

esempio: lunghezze $\frac{A}{m} = a$ *"metri"* … temperature $\frac{B}{°C} = b$ *"gradi centigradi"* …

Se considero $\frac{A}{U} = a$, $\frac{B}{U} = b$ per le misure a e b valgono tutte le proprietà che valgono per i numeri reali: somma, differenza, prodotto …

esempio: $A + B \Leftrightarrow \frac{A}{U} + \frac{B}{U} = a + b$

Si instaura una ***corrispondenza biunivoca*** tra le grandezze omogenee e i numeri reali. In definitiva, associare un numero ad una grandezza fisica consiste nell'individuare una ***unità U*** !
Esistono alcune eccezioni per le quali questa procedura non è possibile, ad es. il colore che è definito come lunghezza d'onda della radiazione monocromatica associata (sistema RGB; R $\rightarrow \lambda$ = 700 nm, G $\rightarrow \lambda$ = 546 nm, B $\rightarrow \lambda$ = 436 nm). In questi casi ci si accontenta di una *definizione operativa*.

- CAMBIAMENTO DELL'UNITA' DI MISURA

Se si sceglie una ***nuova unità U'*** omogenea con la grandezza A, il numero che la esprimerà sarà:

$$\frac{A}{U'} = a' \neq a$$

Per passare da *a* ad *a'* è sufficiente seguire la regola:

$$\frac{A}{U'} = \frac{A}{U} \times \frac{U}{U'} = \frac{A}{U} \times \tau \quad \text{ovvero} \quad a' = a \times \tau$$

Il fattore $\tau = \frac{U}{U'}$ prende il nome di **fattore di ragguaglio**.

esempio: $U = mm$

$U' = km$

$$\tau = \frac{U}{U'} = \frac{1mm}{1km} \quad \begin{cases} \dfrac{1mm}{10^6\,mm} = 10^{-6} \\[2ex] \dfrac{10^{-6}\,km}{1km} = 10^{-6} \end{cases}$$

Il fattore τ è sempre un *numero adimensionale*. Esso permette di porre in relazione grandezze fisiche classificate come *omogenee* ma espresse in *unità* differenti.

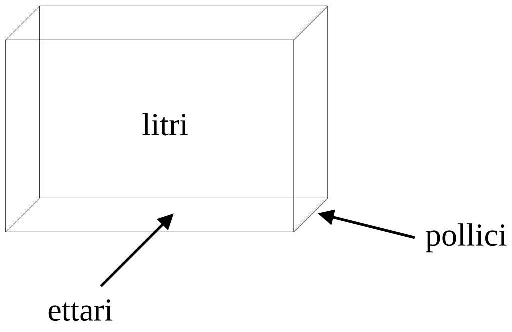
N.B. ogni grandezza A si esprime mediante un ***numero*** (*estensione* o *intensità*) ed una ***unità di misura*** (*campione*) :

$$A = a \times U$$

numero *unità o campione*

Ci si pone ora una domanda importante: è possibile mettere in relazione le misure di grandezze fisiche diverse (non omogenee) ?

esempio:



Nessuna relazione sembrerebbe possibile tra le misure dei lati, dell'area o del volume. Effettivamente, se non si esprimono le unità delle diverse classi di grandezze in conveniente relazione tra loro, l'impressione avuta risulta corretta.

Vediamo ora come è possibile ed entro quali limiti, porre in relazione tra loro grandezze <u>non</u> omogenee, ovvero appartenenti a classi diverse.

- GRANDEZZE GEOMETRICHE

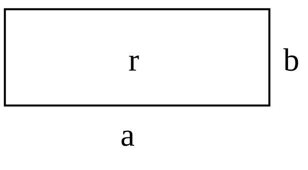
Le relazioni geometriche date da una figura si possono tradurre in relazioni numeriche per le misure delle grandezze appartenenti a classi non omogenee. Per fare questo, si deve rinunciare a definire le unità di ciascuna classe in modo completamente arbitrario. Alcune unità (chiamate ***fondamentali***) vengono definite in modo arbitrario, altre unità (chiamate ***derivate)*** devono essere definite in conveniente relazione con esse.

Lunghezza **[L]** $\longrightarrow$ grandezza ***fondamentale*** $\mathbf{U_L = m}$ (nel ***Sistema Internazionale***)

Area **[A]** $\longrightarrow$ grandezza ***derivata*** $\mathbf{U_A = m^2}$
[A] = [L × L] = [L^2] **"Dimensioni"**

Volume **[V]** $\longrightarrow$ grandezza ***derivata*** $\mathbf{U_V = m^3}$
[V] = [L × L × L] = [L^3]

vediamo ad esempio per la misura della superficie *r*



$$r = a \times b = \frac{A}{U} \times \frac{B}{U}$$

che succede alla misura dell'area *r* se cambia l'unità delle lunghezze ?

se $U \rightarrow U'$ $\quad \frac{A}{U'} \times \frac{B}{U'} = a' \times b' = r' \neq r$

ma $r' = \frac{A}{U}\frac{U}{U'} \times \frac{B}{U}\frac{U}{U'} = a \cdot \tau \times b \cdot \tau = a \times b \cdot \tau^2 = r \cdot \tau^2$

Il fattore di ragguaglio τ è uno schema, o una regola, che consente di calcolare come cambia la misura di una grandezza derivata quando vengono cambiate le unità di misura della grandezza fondamentale. Il fattore di ragguaglio porta con se le ***dimensioni*** della relazione numerica tra grandezze fondamentali e grandezze derivate.

esempio:

a = 0.15m *b= 0.25m* *r = 0.0375m*^{2} ora m (= U) → cm (= U’)

$r' = a' \times b' = a \times b \times \tau^2$ con $\tau = 1m/1cm = 100$ $\tau^2 = 10000 = 10^4$

$r' = 0.15 \times 0.25 \times 10^4 = 375 cm^2$

La ***dimensione*** non è un concetto assoluto, ovvero non è una *proprietà intrinseca* della classe, ma dipende dalla scelta della grandezza fondamentale.

esempio: se scelgo l’area come grandezza fondamentale [A]=[A], ottengo

per le lunghezze $[L] = [A^{1/2}]$

e per i volumi $[V] = [A^{3/2}]$

le dimensioni risultano essere *non intere*. Questa scelta è molto scomoda per la definizione di tutte le grandezze derivate che seguono.

- GRANDEZZE CINEMATICHE

Tempo **[t]** ⟶ grandezza ***fondamentale*** **U_t = s**

Velocità **[v]** ⟶ grandezza ***derivata*** **U_v = m/s**
[v] = [L × t $^{-1}$]

Accelerazione **[a]** ⟶ grandezza ***derivata*** **U_a = m/s^2**
[a] = [L × t $^{-2}$]

Per definire compiutamente le grandezze cinematiche appare necessario introdurre una seconda grandezza fondamentale.

esempio: $[v] = [L] \cdot [t^{-1}]$ ora 5 m/s → *v’* km/h ovvero: $v' = v \times \tau_v$

ma $\tau_v = \tau_L \cdot \tau_t^{-1}$

$$\tau_L = \frac{m}{km} = \frac{1m}{1000\,m} = \frac{0.001km}{1km} = 10^{-3}$$

$$\tau_t = \frac{s}{h} = \frac{1s}{3600\,s} = \frac{0.000278\,h}{1h} = 2.78 \cdot 10^{-4}$$

quindi: $$\tau_v = \left(\frac{1}{1000}\right) \cdot \left(\frac{1}{3600}\right)^{-1} = \frac{1}{1000} \times 3600 = 3.6$$

$v' = 5 \times 3.6 = 18 km/h$

- GRANDEZZE DINAMICHE

Massa	**[M]**	⟶ grandezza ***fondamentale***	U_M **= kg** (nel ***Sistema Internazionale***)	
Forza	**[F]**	⟶ grandezza ***derivata*** $[F] = [M \times L \times t^{-2}]$	U_F **= kg · m/s²**	= newton
Lavoro	**[J]**	⟶ grandezza ***derivata*** $[J] = [M \times L^2 \times t^{-2}]$	U_J **= kg · m²/s²**	= joule
Potenza	**[W]**	⟶ grandezza ***derivata*** $[W] = [M \times L^2 \times t^{-3}]$	U_W **= kg · m²/s³**	= watt

Anche per la definizione delle grandezze dinamiche appare necessario introdurre una terza grandezza fondamentale. Nel *Sistema Internazionale* la scelta è caduta sulla massa.

esempio: $[F]=[M]\cdot[L]\cdot[t^{-2}]$ ora $3\ N \rightarrow f'$ dine ovvero: $3\ kg\cdot m/s^2 \rightarrow f'\ g\cdot cm/s^2$

ma $F' = F\cdot\tau_F$ con $\tau_F = \tau_M\cdot\tau_L\cdot\tau_t^{-2}$

$$\tau_M = \frac{kg}{g} = 1000$$

$$\tau_L = \frac{m}{cm} = 100$$

$$\tau_t = \frac{s}{s} = 1$$

quindi: $\tau_F = 1000\cdot 100\cdot 1 = 10^5$ ed $f' = 3\cdot 10^5 \rightarrow F' = 3\cdot 10^5$ dine

Un'equazione dimensionale $[U]=[U_1^{\alpha_1}]\cdot[U_2^{\alpha_2}]\cdot[U_3^{\alpha_3}]$ esprime in notazione di Maxwell una qualunque ***grandezza derivata U*** in funzione delle ***grandezze fondamentali*** U_1, U_2, U_3, rispetto alle quali essa ha ***dimensioni*** α_1, α_2, α_3. Essa permette di valutare come cambia la misura della grandezza derivata quando vengono cambiate le unità di misura delle grandezze fondamentali.

Limitatamente al campo della meccanica, si possono scrivere le seguenti equazioni dimensionali:

$[L]=[L]$	→	m	(fondamentale)
$[A]=[L^2]$	→	m^2	(derivata)
$[V]=[L^3]$	→	m^3	(derivata)
$[t]=[t]$	→	t	(fondamentale)
$[v]=[L][t^{-1}]$	→	m/s	(derivata)
$[a]=[L][t^{-2}]$	→	m/s^2	(derivata)
$[M]=[M]$	→	kg	(fondamentale)
$[F]=[M][L][t^{-2}]$	→	$kg\cdot m/s^2 = N$	(derivata)
$[J]=[M][L^2][t^{-2}]$	→	$kg\cdot m^2/s^2 = J$	(derivata)
$[W]=[M][L^2][t^{-3}]$	→	$kg\cdot m^2/s^3 = W$	(derivata)

Si hanno 10 grandezze e 7 relazioni. Ne risultano 10 – 7 = 3 grandezze che vengono assunte come *grandezze* ***fondamentali***, le rimanenti 7 rimangono definite come *grandezze* ***derivate*** dalle relazioni che intercorrono in funzione delle grandezze fondamentali.

Ci si chiede ora se è possibile diminuire il numero delle grandezze fondamentali, magari ad 1, per esprimere tutte le altre grandezze in funzione di un'unica grandezza fondamentale. Teoricamente sarebbe possibile ! E' sufficiente individuare altre 2 relazioni tra le grandezze meccaniche riportate sopra.

Si potrebbe considerare, ad esempio, la *relazione di gravitazione universale* $F = k\frac{Mm}{d^2}$.

Se, per esprimere la forza, si scelgono come unità fondamentali la *lunghezza L* e la *massa M*, risulta $[F]=[M^2][L^{-2}]$ e non occorre più assumere il tempo come grandezza fondamentale.

Il tempo [t] diventa quindi una grandezza derivata $[t]=\frac{[M^{1/2}][L^{1/2}]}{[F^{1/2}]}=[M^{-1/2}][L^{3/2}]$.

Si immagini ora quanto diventa complesso esprimere anche solo la velocità $[v]=[L][t^{-1}]=[L][M^{1/2}][L^{-3/2}]=[L^{1/2}][M^{-1/2}]$ …

Diversi fattori sono importanti nella scelta delle grandezze fondamentali:

1. la facilità di costruzione del campione di riferimento
2. la stabilità di conservazione
3. la agevole riproducibilità … ma soprattutto …
4. la possibilità di ottenere grandezze derivate che abbiano dimensioni intere. Questo al fine di non appesantire troppo i calcoli durante le elaborazioni numeriche delle misure.