

1. METROLOGIA

1.1 Premessa

Scopo di queste dispense è di illustrare alcuni concetti fisici fondamentali per lo studio del comportamento termico, igrometrico, luminoso ed acustico degli edifici, per la verifica delle loro prestazioni energetiche, delle condizioni generali di comfort al loro interno e per la scelta consapevole di soluzioni impiantistiche.

Il metodo di studio della fisica è basato sull'osservazione dei fenomeni e sulla costruzione di modelli semplificati per la loro interpretazione. Questi modelli richiedono l'uso dello strumento matematico. Pertanto le pagine che seguono richiedono la conoscenza di alcuni elementi di matematica, in particolare del concetto di derivata e di quello di integrale. Non si richiede la capacità di utilizzo di questi strumenti (di saper eseguire il calcolo) ma la comprensione del loro significato fisico-matematico.

Vengono richiamati in questi primi due capitoli alcuni argomenti di base (nozioni di fisica elementare e metrologia), necessari a comprendere come la scienza sia soprattutto misura e quindi costruzione di modelli dei fenomeni fisici.

"I concetti fisici sono creazioni libere dell'intelletto umano e non vengono, come potrebbe credersi, determinati esclusivamente dal mondo esterno" A. Einstein [1].

1.2 Il metodo di indagine della fisica

La percezione del mondo fisico ha stimolato approcci conoscitivi di carattere diverso che, nel campo delle scienze, sono essenzialmente i seguenti.

- Approccio di tipo induttivo. E' tipico delle scienze naturali che utilizzano metodi descrittivi per rintracciare nel molteplice il carattere unitario. Così, ad esempio, dalla descrizione morfologica e dimensionale delle peculiarità delle varie specie animali e vegetali si giunge ad identificare l'elemento unificante che permette di classificare le specie affini in famiglie e in generi come specifiche manifestazioni di un identico ente.
- Approccio di tipo deduttivo. E' tipico invece delle scienze matematiche che desumono i risultati in modo logico da principi o postulati fondamentali. Così ad esempio dagli enunciati delle proprietà di un ente, che si presentano immediatamente evidenti (alla ragione) e che pertanto si *postula* di accettare come vere, si deducono secondo logica necessità delle proprietà più complesse e meno evidenti le quali delle prime sono le conseguenze.
- Approccio di tipo sperimentale. E' infine quello tipico della fisica moderna introdotto per la prima volta da *Galileo Galilei*. Esso sostanzialmente riunisce gli approcci induttivo e deduttivo traendo dal primo la capacità di riconoscere quelle caratteristiche affini che permettono di riunire nella medesima classe fenomeni apparentemente diversi, dal secondo la capacità di formulare mediante processi logici le leggi che li governano.

Il metodo sperimentale o galileiano si basa sull'attitudine a ricercare il “come” piuttosto che il “perché” accadano i fenomeni e sulla volontà di esprimerli analiticamente attraverso gli strumenti messi a disposizione dalla matematica. Per raggiungere lo scopo il metodo si articola in quattro fasi.

1. Osservazione precisa e spregiudicata dei fenomeni fino ad individuarne gli aspetti qualitativi essenziali.
2. Loro rappresentazione schematica separando gli aspetti fondamentali da quelli secondari, costruzione cioè di un modello fisico (formulazione di un'ipotesi). Il modello è una rappresentazione necessariamente incompleta e semplificata della realtà interessata dal fenomeno, vanno verificati di volta in volta i limiti entro cui sono ammissibili le semplificazioni operate. I modelli fisici possono essere in scala ridotta quando è possibile, come nel caso dei modelli architettonici per lo studio dei problemi illuminotecnici, per lo studio dei fenomeni acustici l'uso degli stessi modelli è già più difficoltoso in quanto bisogna ridurre di scala anche la lunghezza d'onda del suono, la densità del mezzo di propagazione (in genere l'aria), le caratteristiche meccaniche di materiali e strutture; riguardo le semplificazioni operabili nel modello finalizzato allo studio illuminotecnico è importante la riproduzione del colore mentre in quello per lo studio acustico non lo è.
3. Loro riproduzione sperimentale per verificare la congruità della rappresentazione schematica con la realtà (verifica dell'ipotesi formulata).
4. Formulazione quantitativa delle leggi che li governano, ovvero traduzione della loro rappresentazione in termini matematici, o elaborazione di un modello matematico.

La sequenza così descritta può apparire, ad una prima analisi, alquanto astratta. Si può obiettare, in particolare, che la sequenza dei processi porti l'osservatore a perdere di vista il fenomeno originario del quale, in ultima analisi, non gli rimane che una “rappresentazione”. L'obiezione tuttavia viene a cadere quando si constata la corrispondenza tra i risultati forniti dalla rappresentazione matematica e quelli propri del fenomeno fisico, dunque la capacità della prima di descrivere il fenomeno.

Quest'ultimo confronto, che può costituire una quinta fase, verifica se il modello analitico (ovvero la *legge fisica* formulata) riproduce correttamente l'essenza del fenomeno naturale.

La determinazione di tali leggi rappresenta molto di più che la semplice descrizione quantitativa del fenomeno. Esse, infatti, sono in grado di descrivere fenomeni apparentemente diversi ma appartenenti alla medesima classe e di predire gli effetti che si avrebbero modificando i valori delle diverse grandezze in gioco.

1.3 Unità di misura

“Le formule delle scienze esatte sono da considerare relazioni tra quantità e cioè tra nostri costrutti, non tra fantomatici ‘enti’ indipendenti dal nostro operare. Una qualunque grandezza fisica esiste soltanto se è definita da nostre operazioni metriche; è cioè una nostra interpretazione di alcune componenti della situazione (evento) in cui siamo immersi; interpretazione, si badi bene, su cui concordano tutti gli interessati” [2].

Lo studio dei fenomeni fisici si basa sulla possibilità di definire e misurare quelle entità, che sono proprietà o qualità dei corpi materiali, dette **grandezze fisiche**, quali ad esempio lo

spazio, il tempo, la forza. I **fenomeni fisici** possono essere descritti come **interrelazioni tra queste grandezze**.

Definire una grandezza fisica significa descriverne in modo univoco ed oggettivo il significato; misurare una grandezza fisica significa attribuire ad essa un preciso valore numerico. Si definisce **misura** il processo mediante il quale si fa corrispondere un numero ad una grandezza fisica; più esattamente si intende per misura “**l’informazione costituita da un numero, un’incertezza ed un’unità di misura**, assegnata a rappresentare un parametro in un determinato stato del sistema” (UNI 4546 1984).

La **misura** di una grandezza fisica implica la scelta di:

- un *campione*, ovvero un’altra grandezza della stessa specie, a cui si attribuisce valore unitario, in altri termini di un’unità di misura;
- una modalità di misura, ovvero la serie di operazioni che devono essere compiute per stabilire il rapporto tra l’entità da misurare ed il campione, ad esempio; nel caso di lunghezze, vedere quante volte l’unità di misura è contenuta nella grandezza da misurare.

Dunque ogni grandezza fisica sarà caratterizzata da un numero, che ne rappresenta la misura, seguito da un simbolo, che ricorda la specifica grandezza utilizzata come unità di misura. L’incertezza è necessaria per ricordare l’approssimazione con cui nella realtà si realizza qualsiasi confronto.

È evidente che se si procedesse semplicemente come sopra descritto occorrerebbero tanti campioni quante sono le infinite grandezze fisiche che è possibile definire. Per ridurre il numero dei campioni si ricorre allora alle relazioni che legano tra loro le varie grandezze; si ottengono così delle unità di misura che utilizzano campioni di altre grandezze e vengono dette **unità derivate**, invece quelle che sono definite direttamente da un campione sono dette **unità fondamentali**.

Le **grandezze fisiche** possono essere o no tra loro **omogenee**: nel primo caso i valori delle grandezze sono esprimibili con le **stesse unità di misura** ed ha senso eseguire su di esse tutte le operazioni matematiche ed in particolare la somma e la sottrazione, nel secondo caso è possibile eseguire su di esse solo operazioni di moltiplicazione e divisione. Si osservi allora che i risultati forniti da operazioni matematiche su grandezze omogenee vengono descritti numericamente mediante la stessa unità di misura e con le sue potenze; i risultati forniti da operazioni matematiche su grandezze non omogenee vengono descritte, invece, mediante unità derivate da quelle che competono alle grandezze poste tra loro in relazione.

Nasce così il concetto di **dimensione** inteso come la potenza con cui la grandezza fondamentale compare nella grandezza derivata: così si dirà che l’area ha le dimensioni di una lunghezza al quadrato, e si scriverà:

$$[A] = [L^2]$$

Il concetto base della fisica è che tutte le equazioni che descrivono un fenomeno devono essere indipendenti dalle unità di misura, il che significa che le equazioni stesse devono risultare **dimensionalmente omogenee**. L’espressione “dimensionalmente omogeneo” sta a

significare che il cambiamento di una qualsiasi unità di misura non deve modificare quei termini dell'equazione in cui essa figura. Se così non fosse sarebbe possibile modificare l'equazione con un semplice cambiamento delle unità di misura, il che significherebbe modificare il fenomeno fisico che quell'equazione vuole rappresentare.

Per poter porre in relazione tra loro grandezze non omogenee è necessario disporre di un sistema di unità di misura. L'insieme delle regole che determinano le caratteristiche dei campioni delle unità fondamentali, delle leggi fisiche e delle definizioni da applicare per ottenere le unità derivate costituisce **un sistema di unità di misura**.

Questo si dice **coerente** se non si introducono mai dei coefficienti numerici nelle formule che legano tra loro le grandezze derivate.

Ad esempio si consideri la grandezza "velocità" definita dalla relazione:

$$v = k \cdot s / \tau$$

dove "k" è un coefficiente numerico.

Tra le unità di misura delle grandezze velocità, lunghezza e tempo (u_v , u_s ed u_t) sussisterà una relazione del tipo:

$$u_v = (1 / k) \cdot (u_s / u_t)$$

Assunte come unità fondamentali il metro (m) per la lunghezza ed il secondo per il tempo, si vede che, mentre l'unità di misura derivata m/s è coerente ($k=1$), l'unità km/h non lo è. Infatti, volendo tradurre in m/s una velocità espressa in km/h, si ha:

$$1 \text{ km / h} = 1000 \text{ m / (3600 s)}$$

dunque $k = 3,6$.

Sebbene nel seguito si faccia riferimento solo al **Sistema Internazionale (SI)**, esistono diversi sistemi di unità di misura. Il Sistema Internazionale è un sistema omogeneo, coerente, assoluto e decimale adottato fin dagli anni '70 dalla maggior parte dei Paesi ed è stato **adottato ufficialmente in Italia dal 1982** con DPR del 12.08.82 n. 802 in attuazione della direttiva CEE n. 80/81 relativa alle unità di misura (ed è obbligatorio dal 31.12.85).

Omogeneo significa che, scelte alcune grandezze fisiche fondamentali e le loro unità di misura, da esse si possono derivare tutte le altre grandezze e le corrispondenti unità di misura. Per esempio lunghezza e tempo sono grandezze fisiche fondamentali cui corrispondono le unità di misura fondamentali metro (m) e secondo (s). Da tali grandezze e dalle loro unità di misura sono ottenibili le grandezze fisiche e le corrispondenti unità di misura derivate che implicano una qualsiasi relazione tra lunghezza e tempo: per esempio la velocità (che si misura in m/s), l'accelerazione (che si misura in m/s^2), la viscosità cinematica (che si misura in m^2/s) etc.

Coerente significa che il prodotto o il rapporto delle unità di misura di una o più grandezze costituisce l'unità di misura di una grandezza il cui significato fisico corrisponde al prodotto o

al rapporto delle prime, senza l'intervento di coefficienti numerici. Ad esempio il prodotto di una massa unitaria (1 kg) per un'accelerazione unitaria (1 m/s²) corrisponde ad una forza unitaria: così l'espressione (kg·m/s²) corrisponde all'unità di misura delle forze detta *newton* (N).

Assoluto significa che le unità di misura scelte sono invariabili in ogni luogo e in ogni tempo. Non è assoluta, per esempio, l'unità di misura "campo" che nella zona di Padova corrisponde a 3862 m² e nella zona di Treviso corrisponde a 5204 m².

Decimale significa che multipli e sottomultipli delle varie unità di misura corrispondono alle potenze di dieci. Tali multipli e sottomultipli vengono spesso indicati mediante opportuni *prefissi delle unità di misura* che sono riportati in tabella I.

TABELLA I - Prefissi delle unità di misura del sistema SI.

multipli e sottomultipli	prefissi	Simboli
10 ¹⁸	exa	E
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	etto	h
10 ¹	deca	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	milli	m
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹⁸	atto	a

Il Sistema Internazionale di Misura comprende sette *unità di misura fondamentali* (metro, chilogrammo, secondo, kelvin, candela, ampere, mole) affiancate da due unità supplementari (radiante e steradiano) che servono rispettivamente per la misura degli angoli piani e solidi. Dalle sette unità di misura fondamentali è possibile ricavare tutte le *unità di misura derivate* necessarie a misurare le grandezze fisiche.

Le sette grandezze fisiche assunte come fondamentali dal Sistema Internazionale sono riportate in tabella II assieme alle definizioni delle loro unità di misura e al simbolo che deve loro corrispondere. Le unità di misura delle grandezze fisiche derivate sono, riportate in tabella III.

TABELLA II - Definizione delle unità di misura fondamentali del sistema SI.

Grandezza fondamentale unità di misura	Definizione
Lunghezza metro [m]	Il <i>metro</i> è la lunghezza pari a 1650763,73 lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione tra i livelli 2 p ₁₀ e 5 d _s dell'atomo di cripto 86. (11° CGPM, 1960, ris. 6) [1]. il <i>metro</i> corrisponde alla distanza percorsa nel vuoto dalla luce in 1/299792458 secondi [2].
Massa kilogrammo [kg]	il <i>kilogrammo</i> è l'unità di massa, esso è pari alla massa del prototipo internazionale del kilogrammo (3° CGPM, 1901, pag. 70 del resoconto) [1]. il <i>kilogrammo</i> è la massa uguale a quella del campione primario N.1, cilindro di platino-iridio conservato a Sévres presso il B.I.P.M. (Bureau Internationale Poids et mesures) [2]
Intervallo di tempo secondo [s]	il <i>secondo</i> è l'intervallo di tempo che corrisponde a 9192631770 cicli della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'isotopo 133 del cesio. [1-2]
Intensità di corrente elettrica ampere [A]	l' <i>ampere</i> è l'intensità di corrente costante che, se mantenuta in due conduttori paralleli, rettilinei, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di un metro l'uno dall'altro nel vuoto, produce tra i conduttori una forza eguale a 2×10^{-7} N per metro di lunghezza (CGPM, 1946, ris. 2 approvata dalla 9° CGPM, 1948).
Intervallo di temperatura kelvin [K]	il <i>kelvin</i> , unità di temperatura termodinamica, è la frazione 1/273.16 della temperatura del punto triplo dell'acqua. (13° CGPM, 1967, ris. 4) [1]
Intensità luminosa candela [cd]	dopo il XVI CGPM del 1979 la definizione di <i>candela</i> è: l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è di 1/683 W/sr [1-2].
Quantità di sostanza mole [mol]	la <i>mole</i> , è la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante unità elementari quanti sono gli atomi contenuti in 0.012 kg di carbonio 12 . Quando si usa la mole le unità elementari debbono essere specificate, esse possono essere: atomi, molecole, ioni, elettroni o altre particelle, oppure raggruppamenti specificati di tali particelle (14° CGPM, 1971, ris. 3) [1]

Fonti:

[1] Allegato al DPR 12.08.82 n. 802

[2] NIST Guide for the Use of the International System of Units (SI) – 1995

Non tutte le sette grandezze fondamentali, e quindi non tutte le sette unità di misura del SI, sono utili allo studio dei settori della Tecnica del controllo Ambientale che affronteremo. Per quanto riguarda la termodinamica basterà fare riferimento a sole quattro grandezze fondamentali e alle loro unità di misura. Queste quattro grandezze fondamentali sono:

il **tempo**, o meglio l'intervallo di tempo, la cui unità di misura è il secondo [s],
 la **lunghezza**, la cui unità di misura è il metro [m],
 la **massa**, la cui unità di misura è il kilogrammo [kg],
 la **temperatura**, o l'intervallo di temperatura, la cui unità di misura è il kelvin [K].

Mediante queste quattro grandezze potranno essere definite tutte le altre grandezze utili allo

studio della termodinamica e le loro unità di misura. In particolare verranno utilizzate le seguenti grandezze: *volume*, *velocità*, *forza* (definita come prodotto di massa per accelerazione), *pressione* (definita come forza diviso superficie nell'ipotesi che la forza agisca normalmente alla superficie).

È interessante rilevare che mentre il SI: assume la **massa** "m" tra le grandezze fondamentali, e la forza è conseguentemente una grandezza derivata, altri sistemi di unità di misura precedentemente in uso come il sistema tecnico europeo ed anglosassone assumevano come fondamentale la **forza** "F", rispettivamente il chilogrammo forza (kg_f) e la libbra forza (lb_f), la massa risultava essere una grandezza derivata. Va sottolineato che il campione di riferimento per la massa nel SI è lo stesso usato nel sistema tecnico europeo per definire il campione di forza (ovvero il newton) attraverso la relazione:

$$F_g = m \cdot g$$

dove g è l'accelerazione di gravità standard pari a 9,81 m/s², ed F_g sta per forza-peso.

Malgrado il Sistema Internazionale sia obbligatorio anche in Italia dal 31.12.85, nella pratica è ancora possibile imbattersi in unità di misura appartenenti a sistemi diversi, in particolare al Sistema Tecnico o al Sistema Anglosassone. E' pertanto necessario ricorrere ad operazioni di conversione che permettano di ottenere il corrispondente valore della grandezza in unità del SI. In genere tali operazioni consistono nella moltiplicazione del valore espresso nelle unità di misura da convertire per un opportuno fattore. Per comprendere come sono stati ricavati i fattori di conversione bisogna analizzare le *unità di misura che esprimono le sette grandezze fondamentali nei Sistemi Tecnico e Anglosassone* che sono riportate in tabella IV.

Tuttavia il solo confronto tra le unità di misura non rende pienamente ragione delle differenze concettuali esistenti tra i sistemi. E' necessario, infatti, rilevare che **la più importante differenza tra il SI e gli altri due sistemi considerati riguarda l'unità di misura della grandezza derivata energia.**

Come appare chiaramente considerando le unità di misura derivate del Sistema Internazionale, l'unica unità di misura dell'energia risulta essere il Joule: pertanto **nel SI vengono misurate in joule** (grandezza derivata dalle grandezze fondamentali lunghezza, massa e tempo) **tutte le forme che l'energia assume prima, dopo e durante le trasformazioni.** Ciò significa, in particolare, che vengono misurate in Joule **anche lavoro e calore.**

Nei Sistemi Tecnico ed Anglosassone quest'omogeneità, invece, non esiste e l'energia in transito sotto forma di calore viene espressa da unità di misura indipendenti dalle unità di misura di lunghezza, massa e tempo che sono rispettivamente la *kilocaloria* (per il Sistema Tecnico) e la *British Thermal Unit* (per il Sistema Anglosassone). La *kilocaloria* viene definita come la quantità di calore necessaria per elevare di 1 °C (da 14,5°C a 15,5°C) la temperatura di una massa di acqua pari a 1 kg.

TABELLA III - Unità derivate del sistema SI.

Grandezza fisica	unità di misura	simbolo	Equivalenza
Superficie	metro quadrato	m ²	
Volume	metro cubo	m ³	
Frequenza	hertz	Hz	1/s
Numero d'onde	onda per metro	m ⁻¹	
Velocità	metro per secondo	m/s	
Accelerazione	metro per secondo quadrato	m/s ²	
Velocità angolare	radiante per secondo	r/s	
Accelerazione angolare	radiante per secondo quadrato	r/s ²	
Massa volumica	kilogrammo per metro cubo	kg/m ³	
Forza	newton	N	kg·m/s ²
Pressione	pascal	Pa	kg/(m·s ²)
Viscosità dinamica	newton secondo per metro quadrato	N·s/m ²	kg/(m·s)
Viscosità cinematica	metro quadrato per secondo	m ² /s	
Energia, lavoro	joule	J	kg·m ² /s ²
Potenza	watt	W	kg·m ² /s ³
Entropia	joule per kelvin	J/K	kg·m ² /(s ² ·K)
calore specifico	joule per kilogrammo kelvin	J/(kg·K)	m ² /(s ² ·K)
Conducibilità termica	watt per metro kelvin	W/(m·K)	kg·m/(s ³ ·K)
carica elettrica	coulomb	C	
Tensione elettrica	volt	V	
Campo elettrico	volt per metro	V/m	
Capacità elettrica	farad	F	
Permittività	farad per metro	F/m	
Resistenza elettrica	ohm	Ω	
Induzione magnetica	tesla	T	
flusso induzione magnet.	weber	Wb	
Campo magnetico	ampere per metro	A/m	
forza magnetomotrice	ampere	A	
Induttanza	henry	H	
Permeabilità	henry per metro	H/m	
flusso luminoso	lumen	lm	
Luminanza	candela per metro quadro	cd/m ²	
Illuminamento	lux	lx	
Intensità energetica	watt per steradiante	W/sr	

Analogamente la *British Thermal Unit* (btu) viene definita come la quantità di calore necessaria per elevare di 1 °F la temperatura di una massa di acqua pari a 1 libbra.

Queste differenze si rispecchiano ovviamente in tutte le grandezze derivate nelle quali compaiono le grandezze fondamentali *tempo, temperatura, calore*.

La conversione dall'uno all'altro sistema di unità di misura avviene per mezzo di opportuni *fattori di conversione tra i sistemi di unità di misura* riportati in tabella V.

TABELLA IV - Unità di misura che esprimono le sette grandezze fondamentali nei Sistemi Tecnico e Anglosassone.

Grandezza fondamentale	unità di misura		
	SISTEMA INTERNAZIONALE	SISTEMA TECNICO	SISTEMA ANGLOSASSONE
Lunghezza	metro [m]	metro [m]	piede [ft]
Massa	kilogrammo [kg]	kilogrammo [kg _m]	libbra [lb _m]
Intervallo di tempo	secondo [s]	ora [h]	ora [h]
Intensità di corrente elettrica	ampere [A]	ampere [A]	ampere [A]
Intervallo di temperatura	kelvin [K]	grado celsius [°C]	grado fahrenheit [°F]
Intensità luminosa	candela [cd]	candela [cd]	candela [cd]
Quantità di sostanza	mole [mol]	mole [mol]	mole [mol]

TABELLA V - Fattori di conversione tra i sistemi di unità di misura

Grandezza	per convertire		moltiplicare per
	da	a	
Lunghezza	ft	m	0.3048
Superficie	ft ²	m ²	0.092903
Volume	ft ³	m ³	0.028317
Massa	lb	kg	0.45359
Tempo	h	s	3600
Accelerazione	m/ h ²	m/s ²	7.7160 10 ⁻⁸
Portata di massa	lb/h	kg/s	1.260 10 ⁻⁴
Densità	lb/ft ³	Kg/m ³	16.018
Forza	lbf	N	4.4482
	kgf	N	9.8066
Pressione	kgf/ cm ²	N/m ²	98066
Differenza di temperatura	°F	K	0.55556
Quantità di calore	btu	J	1055.07
	kcal	J	4186.8
Potenza termica	btu/ h	W	0.29307
	kcal/ h	W	1.1630
Calore specifico	btu / (lb·°F)	J/(kg·K)	4186.8
	kcal / (kg·°C)	J/(kg·K)	4186.8
Conduktività termica	btu / (ft·h·°F)	W/(m·K)	1.73078
	kcal / (m·h·°C)	W/(m·K)	1.163
Viscosità dinamica	lb / (ft·h)	kg/(m·s)	4.1342 10 ⁻⁴

Nota: $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \cdot \frac{5}{9}$; $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot \frac{9}{5} + 32$

Omogeneità Dimensionale

Ogni equazione deve essere composta di termini dimensionalmente omogenei.

In riferimento ad esempio ad un moto rettilineo uniformemente accelerato si può scrivere che lo spazio percorso all'istante τ è pari a:

$$s = s_0 + v \cdot \tau + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \tau^2$$

$$[m] = [m] + [m/s][s] + [m/s^2][s^2]$$

$$[m] = [m] + [m] + [m]$$

$$\text{lunghezza} = \text{lunghezza} + \text{lunghezza} + \text{lunghezza}$$

Se una relazione dimensionalmente omogenea non è necessariamente corretta, una relazione non dimensionalmente omogenea è sicuramente errata.

Grandezze incoerenti e fattori di conversione

E' necessario che tutti i termini di un'equazione siano espressi nello stesso sistema di unità di misura. Se ad esempio si vuole esprimere lo spazio s percorso all'istante τ da un oggetto in moto rettilineo uniformemente accelerato:

$$s = s_0 + v \cdot \tau + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \tau^2$$

$$[m] = [cm] + [m/s] [h] + [m/s^2] [min^2]$$

usare le unità di misura indicate per i vari termini **non ha senso**.

Si ha quindi la necessità di **trasformare** le grandezze utilizzando quelli che sono chiamati **fattori di conversione**

Per la potenza: 1 CV = 735 W

1 CV = 0.75 HP

Alcune convenzioni formali da rispettare

- I simboli delle unità di misura che derivano da nomi propri vanno scritti con l'iniziale maiuscola (Es.: Ampere [A]; Watt [W]; Hertz [Hz]).
- Le unità di misura scritte per esteso hanno sempre la prima lettera minuscola (Es.: watt e non Watt).
- Il prefisso kilo, ossia mille-volte, ha l'iniziale minuscola e quindi si scrive km e kg e non Km e Kg.
- Il grado kelvin va indicato senza il ° quindi si scrive 273 K, mentre invece i gradi Celsius si indicano con °C.
- Dopo il simbolo delle unità di misura non va mai indicato il punto, si scrive cioè: m e non m. kg e non kg..
- I metri quadrati e i metri cubi non si indicano con mq e mc ma con m² e m³.
- L'unità di misura SI del tempo è il secondo con simbolo s e non sec.
- Il separatore decimale è la virgola.

Errori di misura

Misurare significa confrontare la grandezza fisica in esame con la corrispondente unità di misura attraverso uno strumento.

Anche se questo è estremamente perfezionato il risultato dell'operazione è sempre affetto da un certo errore. Questi errori di misura possono essere distinti in: errori sistematici ed errori accidentali.

Gli **errori sistematici** sono dovuti a cause ben determinate che lo sperimentatore può riuscire ad individuare; essi hanno origine dal fatto che nessun strumento è perfetto e introduce un certo errore nel risultato della misura che è sempre nello stesso senso: sempre in eccesso o sempre in difetto. Un metro che per difetto di costruzione è 1mm più lungo del metro campione porterà a misure di lunghezza tutte affette da un errore sistematico per difetto. Questo tipo di errori possono essere individuati e corretti.

Gli **errori accidentali** sono quelli che persistono anche eliminati tutti gli errori sistematici. Essi sono legati a cause non individuabili, variabili in eccesso o in difetto in maniera imprevedibile da una misura all'altra e dovuti a imponderabili cambiamenti nelle condizioni di misura. L'argomento è studiato dalla 'teoria degli errori' di Gauss (1809).

Il valore più attendibile si ottiene facendo la media dei risultati delle n misure eseguite:

$$\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 \dots + L_n}{n}$$

È possibile individuare l'errore da cui una misura è affetta, un indicatore è lo *scarto quadratico medio* δ :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{L} - L_i)^2}{n}}$$

I numeri che rappresentano misure di grandezze fisiche: le cifre significative

Il numero che rappresenta una misura ha in sé anche una indicazione sulla **bontà** di tale misura, ossia sulla corrispondenza al valore reale della grandezza misurata.

Dire che la temperatura dei gas di scarico di una marmitta vale 223,157 °C significa che si è stati in grado di valutare anche il millesimo di grado, operazione peraltro assai difficile nella realtà.

Si capisce allora come sia importante **non esagerare** con le cifre che utilizziamo nel rappresentare una grandezza fisica, ma utilizzare solo quelle necessarie o in ogni caso compatibili con la precisione della nostra conoscenza della sua misura.

Un buon criterio è quello di scrivere tutte le cifre certe più la prima incerta.

E' utile allora ricordare come ogni numero può essere espresso nella cosiddetta notazione scientifica:

0,0357	$3,57 \cdot 10^{-2}$
8925,7	$8,9257 \cdot 10^3$
20456789,467	$2,0456789467 \cdot 10^7$

Vengono dette **cifre significative** del numero quelle utilizzate per la sua espressione ossia:

5,765489	$5,765489 \cdot 10^0$	7 cifre significative
8925,7	$8,9257 \cdot 10^3$	5 cifre significative

Un numero a n cifre significative può essere approssimato a m cifre significative eliminando n-m cifre e aumentando di un'unità l'm-esima se la (m+1)-esima è maggiore di 5. Ad esempio:

6,786543 7 cifre significative

una cifra significativa	7
due cifre significative	6,8
tre cifre significative	6,79
quattro cifre significative	6,786
cinque cifre significative	6,7865
sei cifre significative	6,78654

N.B. : l'operazione da fare è quella di arrotondamento non di troncamento.

Operazioni con le grandezze fisiche

Somma: gli addendi vanno approssimati all'ultima cifra significativa del termine con minor numero di decimali:

$$42,5 \text{ kg} + 3,68 \text{ kg} + 0,072 \text{ kg} = 42,5 \text{ kg} + 3,7 \text{ kg} + 0,1 \text{ kg} = 45,3 \text{ kg}$$

Moltiplicazione e divisione: il risultato ha un numero di cifre significative pari al fattore che ne ha di meno:

$$6,32 \times 5,2 = 31,864 = 31,9$$

In altre parole: non si possono aumentare le cifre significative con le operazioni!!!

Il risultato di una serie di operazioni potrà avere al massimo lo stesso numero di cifre significative dei vari termini considerati.

Bibliografia

- [1] A.Einstein, L. Infeld. *L'evoluzione della fisica*. Boringhieri, Torino 1965.
- [2] D. Faggiani. *Fondamenti di termodinamica tecnica*. Di Stefano Editore, Genova 1981.
- [3] M. Bragadin, G. Rossi . *Meccanica - Termodinamica*. CEDAM, 1994.
- [4] A. Cavallini, L. Mattarolo. *Termodinamica Applicata*, CLEUP – Padova – 1992.
- [5] G.F.C. Rogers, Y.R. Meyhew. *Engineering Thermodynamics*, 4th Edition, Longman, 1992.
- [6] National Institute of Standards and Technology *Guide for the Use of the International System of Units (SI)* – NIST, Boulder (USA), 1995.