

## Capitolo 1

# Teoria della misura

### 1.1. Il metodo sperimentale

E' difficile non rimanere affascinati dalla contemplazione di un cielo stellato, soprattutto se si ha la fortuna di trovarsi lontano dalle luci fastidiose delle grandi città come, ad esempio, quando si è in alta montagna, dove l'oscurità e la trasparenza dell'atmosfera esaltano appieno la bellezza del firmamento. Non pochi poeti si sono lasciati condurre da sensazioni simili per comporre versi straordinari, e altrettanti pittori, musicisti e scrittori hanno saputo trarne ispirazione per realizzare opere indimenticabili!

Uguale, di fronte al fascino e alla bellezza della Natura, sono le sensazioni emotive dell'Uomo di Scienza: diversa la forma che esse prendono, che non è quella della parola, della musica o del colore. Un cielo stellato potrà, cioè, far nascere nell'animo dello scienziato, del fisico, delle domande del tipo: "Qual è la natura delle stelle, quanto sono distanti, quanto sono luminose, come nascono e come producono energia e per quanto tempo, come e quando muoiono . . . ?"

La contemplazione della Natura e dei suoi fenomeni diventa allora il punto di partenza per un'analisi che è fondamentalmente di tipo quantitativo. La domanda: "Quanto sono distanti le stelle che vediamo . . . ?" necessita, per avere una risposta, di una misura, di un numero, di una espressione matematica che traduca la *contemplazione* della realtà che ci circonda in un processo di *osservazione e di misura*, senz'altro più rigoroso di quello artistico, ma non per questo meno affascinante.

L'**osservazione** della realtà è quindi il primo passo verso quella che è la meta finale della Scienza: la profonda comprensione della Natura e dei fenomeni che la regolano.

Ma l'osservazione da sola non basta, e per essere ragionevolmente sicuri che le teorie proposte a spiegazione dei fenomeni naturali siano corrette è fondamentale produrre degli **esperimenti** che controllino la validità dei presupposti teorici. E se la verifica sperimentale non dovesse confermare le ipotesi di partenza, il destino della teoria scientifica considerata è segnato e non c'è motivo alcuno per continuare a tenerla in considerazione.

Questa stretta relazione tra speculazione teorica ed indagine sperimentale è un evento relativamente recente nella storia del pensiero occidentale: la filosofia antica, che pure ha il merito di fare il primo tentativo in direzione di una spiegazione razionale del mondo che ci circonda (tracciando quindi una separazione netta con le interpretazioni “mitologiche” e “magiche” della Natura), non si preoccuperà mai di produrre degli esperimenti a sostegno delle teorie prodotte, fermandosi ad una analisi di tipo prettamente qualitativo.

E' solo con la figura di **Galileo Galilei** (1564-1642) che, all'inizio del Seicento, si gettano le basi di un nuovo modo di indagare la natura, dove la conoscenza (“l'apprendersi al vero”) ha un oggettivo riscontro con la realtà solo a condizione di applicare una corretta procedura operativa, che da questo momento in avanti prenderà nome di **metodo scientifico**.

Con estrema sintesi, si può affermare che il **metodo scientifico galileano** si fonda su questi quattro punti essenziali:

1. l'osservazione e lo studio dei fenomeni naturali devono essere compiuti attraverso **l'esperimento**, realizzato con procedure chiare e *ripetibili* da chiunque operi con analoga strumentazione e nelle identiche condizioni ambientali
2. la procedura sperimentale deve condurre, attraverso l'uso di strumenti di misura adeguati, alla **valutazione numerica e quantitativa** delle grandezze fisiche in gioco
3. la **matematica** diventa il mezzo più valido per analizzare le misure ottenute e per estrarre da esse una *teoria esplicativa*, che solo così può essere chiamata *scientifica*
4. la teoria che se ne deduce, però, *non può mai essere considerata un punto fermo indiscutibile, ma deve essere continuamente sottoposta alla prova e alla critica di nuovi esperimenti* sempre più raffinati, e se è necessario, deve essere migliorata, corretta in continuazione ed eventualmente rigettata qualora risulti superata da nuovi paradigmi teorici.

Il metodo galileano ha quindi una evidente struttura ciclica: lo studio della realtà inizia dall'osservazione e dalla prova sperimentale, si conclude con essa ed eventualmente da essa riparte. A differenza dei modelli filosofici, in cui la teoria non rischia la prova dell'esperienza, nel senso che non fornisce alla natura un linguaggio (matematico) che le consenta di esprimersi in un modo comprensibile all'Uomo, quello galileano affida all'esperimento l'ultima parola sulla bontà di ogni teoria scientifica.

Sono questi rivoluzionari presupposti che danno vita, all'inizio del 1600, alla Scienza moderna e alla Fisica. Con esse prende forma un nuovo modo di impostare lo studio dei fenomeni naturali: la *geometria e la matematica* ne diventano strumenti essenziali.

Al proposito, così si esprime Galileo: “La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intendere la lingua e conoscere i caratteri, nei quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, e altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto. . .”.

Si noti, però, come, cercando la spiegazione dei fenomeni naturali **solo** attraverso l'interpretazione matematica delle proprietà misurabili dei corpi (le cosiddette “grandezze fisiche”), la neonata scienza ritagli la realtà limitandone l'analisi ai suoi soli aspetti quantitativi, e rinunciando volutamente a quello sguardo d'insieme complessivo sul reale che rimarrà d'ora in avanti una caratteristica del solo pensiero filosofico. Le domande di “senso” e le riflessioni su tutto ciò che “non è quantificabile” sono così estromesse dall'indagine scientifica. Il solco tra scienza e filosofia è ormai tracciato e accompagnerà la storia del pensiero occidentale nei secoli successivi.

## 1.2. Le grandezze fisiche

Il metodo sperimentale impone che l'indagine fisica sia circoscritta solo a quegli enti che è possibile quantificare, ossia sottoporre a un'operazione di misura: questi enti reali si chiamano *grandezze fisiche*. Qualunque speculazione teorica, ancorché logica e razionale, che formuli ipotesi su entità non misurabili è al di fuori dell'indagine scientifica e del suo raggio d'azione.

Le caratteristiche dei corpi come il colore, l'odore, la bellezza, l'utilità, oppure il fascino di una persona, la sua simpatia, il suo livello culturale rappresentano qualità evidentemente non quantificabili in modo oggettivo. Altre caratteristiche, invece, come la massa, il peso, l'altezza, la lunghezza, la superficie, la densità, la temperatura, la velocità . . . sono perfettamente misurabili ed esprimibili con un numero ben definito e la corrispondente unità di misura. Queste ultime proprietà sono dette *grandezze fisiche*.

In sintesi: si definiscono **grandezze fisiche** le caratteristiche misurabili dei corpi.

Vi sono tre tipi diversi di misura: diretta, indiretta ed eseguibile con strumenti tarati. Vediamole in dettaglio.

## 1.3 Misure dirette, indirette e con strumenti tarati

Si esegue una **misura diretta** quando si procede all'analisi di una grandezza attraverso il confronto con uno strumento campione assunto come unità di riferimento.

Supponiamo, ad esempio, di voler conoscere la lunghezza di un'aula scolastica: è sufficiente prendere un metro campione e confrontare le due grandezze facendo scorrere l'unità di misura lungo il lato del locale. Con la stessa procedura possiamo ottenere la massa di un corpo usando una bilancia a bracci uguali: sul primo piatto depositiamo l'oggetto di massa ignota, sul secondo piatto poniamo invece una massa campione. Dal loro confronto otteniamo la misura che ci interessa.

Si ottiene una **misura indiretta** tutte le volte che il procedimento di misura avviene attraverso una espressione matematica, una formula, che fornisce il risultato attraverso la combinazione algebrica di altre misure note in modo diretto.

Ad esempio, se volessimo calcolare la superficie dell'aula scolastica sopra accennata, di forma rettangolare, dopo aver ricavato per via diretta la sua lunghezza e la sua larghezza, dovremmo fare ricorso alla formula che esprime l'area di un rettangolo:

$$\text{Area} = \text{larghezza} \times \text{lunghezza}$$

Alcune grandezze fisiche si misurano utilizzando uno **strumento tarato**. In questo caso si esegue una lettura di un indice mobile su una scala graduata, opportunamente regolata dal costruttore per il tipo di misure per le quali lo strumento è stato progettato. Qualche volta, prima di iniziare l'esperimento, lo strumento necessita di una seconda taratura ad opera dello sperimentatore. Esempi di strumenti tarati sono i cronometri, i termometri, i tachimetri, gli amperometri . . .

Tali apparecchi si dicono *analogici* se la misura avviene attraverso la lettura di un indice mobile su di una scala graduata: si dicono, invece, *digitali* se il valore della grandezza compare direttamente in forma numerica su un opportuno display.

Anche queste possono essere considerate *misure dirette*.

Gli strumenti tarati si differenziano tra loro per le seguenti proprietà:

**Sensibilità:** è il più piccolo valore che lo strumento è in grado di misurare attraverso lo spostamento di una suddivisione della scala graduata. Nel caso di un comune righello da disegno, ad esempio, la sensibilità  $S$  è:  $S = 1\text{mm}/\text{linea}$

**Portata:** la portata è il massimo valore che lo strumento può misurare senza danneggiarsi e coincide spesso con il fondo scala, che è il numero maggiore riportato al termine della scala graduata.

**Prontezza:** è la rapidità con cui vengono segnalate le variazioni della grandezza studiata. Un esempio di strumento di bassa prontezza è il termometro; uno di prontezza molto elevata è il cronometro.

**Precisione:** consideriamo uno strumento molto sensibile, ad esempio un cronometro elettronico da laboratorio tipicamente in grado di valutare il millesimo di secondo. Usiamolo per misurare il tempo di caduta di una biglia di ferro da un'altezza di 2 metri. Se ripetiamo l'esperienza molte volte ci accorgeremo, non senza un po' di sorpresa, che i valori ottenuti non sono tutti uguali, ma differiscono l'uno dall'altro (anche se, in genere, queste differenze sono molto piccole).

Il motivo per cui succede ciò lo analizzeremo in dettaglio nel prossimo capitolo, per ora ci basti sapere che in parte esso è dovuto ad una caratteristica dello strumento usato detta *precisione*, definita come la capacità di ripetere la stessa misura fornendo risultati che differiscono poco (elevata precisione) o tanto (bassa precisione) l'uno dall'altro.

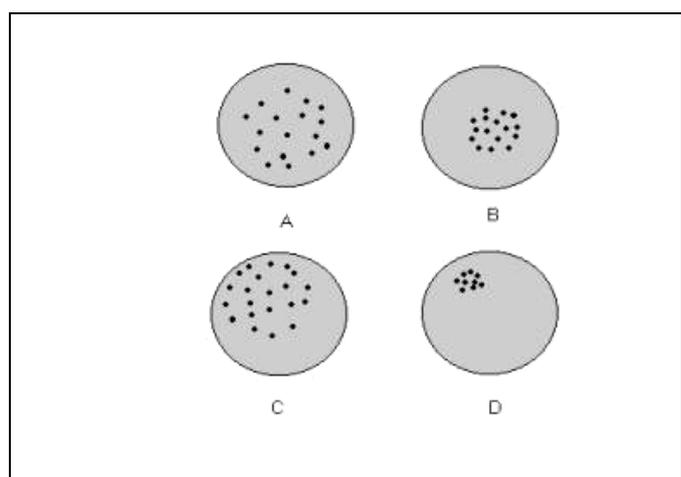
**Accuratezza:** per quanto detto in precedenza a proposito della sensibilità e della precisione degli strumenti, entrambe limitate in misura maggiore o minore, deve subito risultare chiaro allo studente che lo sperimentatore non sarà mai in grado di ottenere il **valore vero** di una grandezza fisica. Si è così costretti, inevitabilmente, a considerare "valore vero" la misura ottenuta con lo strumento migliore a disposizione e con la migliore attrezzatura sperimentale possibile, oppure determinato attraverso un raffinato procedimento teorico. Se rappresentiamo tale valore come il centro di un bersaglio e le singole misure (ripetute più volte) come i colpi andati a segno, possiamo definire *accuratezza* di uno strumento la sua proprietà di ripetere le misure in modo tale che la loro media sia il più vicino possibile al cosiddetto "valore vero" della grandezza studiata, cioè il centro del bersaglio (figura 3).

Si potranno così realizzare le seguenti situazioni:

- .) misure accurate ma poco precise (A)
- .) misure accurate e molto precise (B)
- .) misure poco accurate e poco precise (C)
- .) misure accurate ma poco precise (D)

**Fig. 3**

Precisione e accuratezza di una serie di misure



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

Fino al 1960 si usavano contemporaneamente quattro diversi sistemi di misura. Tale varietà era imputabile a motivazioni storiche, di tipo teorico-pratico e, non ultimo, ad aspetti più prettamente economico-politici. In tale anno, però, la *Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure* riunitasi a Sèvres (vicino a Parigi) propone alla Comunità Scientifica Internazionale l'adozione di un unico sistema basato su sette grandezze fondamentali, più due supplementari, definite in modo univoco.

Queste sette grandezze sono: il tempo, la lunghezza, la massa, la temperatura, l'intensità di carica, la quantità di sostanza e l'intensità luminosa.

Le due supplementari sono l'angolo piatto e l'angolo solido.

Tutte le altre grandezze con cui si ha normalmente a che fare nello studio della fisica, come la forza, la velocità o l'accelerazione, derivano dalle prime sette e sono esprimibili come una loro combinazione algebrica. La velocità, per esempio, è definita da uno spazio diviso il tempo impiegato per percorrerlo. Per questo motivo le prime si chiamano *grandezze fondamentali*, le seconde *grandezze derivate*.

Le unità di misura che servono per definirle costituiscono il **Sistema Internazionale di Unità**, detto anche **S.I.**, che è di gran lunga il sistema più usato nel mondo ed è quello a cui faremo sempre riferimento, se non diversamente accennato, nel corso del seguente testo.

La loro definizione è in appendice al capitolo.

**Unità di tempo:** *il secondo (s)*

**Unità di lunghezza:** *il metro (m)*

**Unità di massa:** il chilogrammo (kg).

**Unità di temperatura:** *il kelvin (K)*.

**Unità di intensità di corrente elettrica:** *l'ampere (A)*.

**Unità di intensità luminosa:** *la candela (cd)*.

**Unità di quantità di sostanza:** *la mole (mol)*.

Ad esse si aggiungono due unità supplementari per la misura degli angoli:

**Unità di angolo piano:** *il radiante (rad)*.

**Unità di angolo solido:** lo steradiano (sr).

E' utile ricordare la seguente definizione:

**il chilogrammo** è la massa pari a quella di un quantitativo di acqua distillata che alla temperatura di 4 °C occupa il volume di 1 dm<sup>3</sup>. Tale volume si chiama **litro**.

Quindi, per la sola acqua distillata: 1kg → 1 dm<sup>3</sup> → 1 litro.

Nel caso più generale di gas o fluidi che non siano acqua distillata, il volume di 1 dm<sup>3</sup> di sostanza equivale sempre a 1 litro, ma la massa risulterà diversa da 1 chilogrammo.

## 1.5 Norme di scrittura

Sono regole che riguardano il modo di scrivere le *unità di misura S.I.* e i relativi simboli:

- 1) Le unità di misura, anche se derivate da nomi propri, devono essere sempre scritte in caratteri minuscoli e senza accenti. Quindi *ampere*, e non *Ampère* o *ampère*. Le unità di misura, inoltre, rifiutano la *s* del plurale inglese: si scrive *12 volt* e non *12 volts*.
- 2) I simboli delle unità di misura devono essere scritti con l'iniziale maiuscola se derivano da nomi propri; con la minuscola in tutti gli altri casi. Quindi, *W* per *Watt* e *Hz* per *Hertz*, ma *kg* per *chilogrammo* e *cd* per *candela*.
- 3) I simboli delle unità non devono essere seguiti dal punto e devono essere sempre preceduti dal valore numerico. Per esempio, si scrive *30 m*, non *30 m.* (con il punto) e neanche *m 30*.
- 4) Se un'unità di misura non è accompagnata da un valore numerico, deve sempre essere riportata per esteso. Ad esempio: " *il chilogrammo* è l'unità di misura della massa".

## 1.6 Notazione scientifica e ordine di grandezza

I limiti del campo numerico che serve per descrivere la realtà fisica nel suo complesso, dall'infinitamente piccolo del mondo atomico all'estremamente grande di quello astronomico, sono talmente estesi che la normale notazione numerica si dimostra, in molti casi, alquanto inefficace.

Scrivere, infatti, che il raggio di una particolare particella atomica è *0,000 000 000 245 m*, o che un corpo celeste dista dalla Terra la bellezza di *566 800 000 000 000 000 000 000 km*, non è sicuramente molto comodo.

La **notazione scientifica** consente di rappresentare ogni numero come il prodotto tra un'opportuna potenza di 10 e un coefficiente chiamato "mantissa", compreso tra 1 e 10.

In questo modo, i due valori precedenti possono essere così rappresentati:

$$0,000\ 000\ 000\ 245\ \text{m} = 2,45 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

$$566\ 800\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ \text{km} = 5,668 \times 10^{23}\ \text{km}.$$

Si definisce **ordine di grandezza** la potenza di dieci più vicina al numero considerato.

Siano date, ad esempio, le seguenti espressioni:

$$75 \qquad 5.000 \qquad 24.500 \qquad 922.000.000.000$$

scritte in *notazione scientifica* diventano:

$$7,5 \times 10 \qquad 5 \times 10^3 \qquad 2,45 \times 10^4 \qquad 9,22 \times 10^{11}$$

Il loro *ordine di grandezza* è dato da:

$$10^2 \qquad 10^4 \qquad 10^4 \qquad 10^{12}.$$

## 1.7 Unità di misura: multipli e sottomultipli

Si ricorda che le unità di misura fondamentali di lunghezza, tempo, massa, velocità e densità sono le seguenti:

- *lunghezza*                    il metro (non il chilometro)
- *tempo*                            il secondo (non l'ora, il minuto o il giorno)
- *massa*                            il chilogrammo (non il grammo)
- *velocità*                        i metri al secondo,  $m/s$  ( e non i chilometri all'ora)
- *densità*                         i chilogrammi al metro cubo,  $kg/m^3$

Il prefisso non dipende dal tipo di grandezza fisica considerata. Ad esempio, con *milli-* si intende la millesima parte dell'unità. Si potranno allora avere i seguenti casi: millimetro, millisecondo, milligrammo, milliamperè, millivolt, milliwatt, millifarad, milliohm . . .

Prefissi del Sistema Internazionale				
$10^n$	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente <u>decimale</u>
$10^{12}$	tera	T	Bilione	1 000 000 000 000
$10^9$	giga	G	Miliardo	1 000 000 000
$10^6$	mega	M	Milione	1 000 000
$10^3$	kilo o chilo	k	Mille	1 000
$10^2$	etto	h	Cento	100
10	deca	da	Dieci	10
$10^{-1}$	deci	d	Decimo	0,1
$10^{-2}$	centi	c	Centesimo	0,01
$10^{-3}$	milli	m	Millesimo	0,001
$10^{-6}$	micro	$\mu$	Milionesimo	0,000 001
$10^{-9}$	nano	n	Miliardesimo	0,000 000 001
$10^{-12}$	pico	p	Bilionesimo	0,000 000 000 001

**Tab. 1** – Prefissi per multipli e sottomultipli

Ricordiamo, infine, che tra il millesimo dell'unità e mille volte il suo valore esistono dei prefissi particolari che aiutano a dare un nome alle grandezze più frequentemente usate nella vita quotidiana. Nel caso del metro, ad esempio, si dice:

milli-metro, centi-metro, deci-metro, (metro), deca-metro, ettometro, chilometro.

-----  
Esempi:

$$2,56 \text{ Gm} = 2,56 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$25 \text{ ms} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$0,0187 \text{ } \mu\text{g} = 0,0187 \cdot 10^{-6} \text{ g} = 1,87 \cdot 10^{-8} \text{ g}$$

$$125 \text{ cm}^2 = 125 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$8,76 \text{ km}^3 = 8,76 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

-----

## 1.7 Le cifre significative

Si definiscono **cifre significative** le cifre effettivamente misurate dallo strumento utilizzato.

Supponiamo di misurare l'altezza di tre studenti di una classe con un "metro a nastro" e di ottenere questi risultati: 180 cm, 182 cm, 179 cm. Se ora calcoliamo il valore medio  $x_m$  delle tre altezze otteniamo:

$$x_m = 180,3333333333 \dots \text{ cm}$$

Sicuramente non ha molto senso scrivere il risultato in questo modo. Le infinite cifre decimali che compaiono sono frutto di un'operazione aritmetica, di un calcolo, e non di un reale processo di misura. Il risultato deve allora essere riscritto considerando solo le **cifre significative**,

Nel nostro caso lo strumento è in grado di misurare i centimetri, ma non i millimetri. Per esprimere il risultato in modo corretto non possiamo spingerci oltre il centimetro. Dobbiamo quindi "gettar via" le cifre in più usando la **regola di approssimazione**, che può essere così enunciata: *in una misura, se l'ultima cifra realmente misurata è seguita da 0, 1, 2, 3, 4, essa viene arrotondata per difetto, mentre se è seguita da 5, 6, 7, 8, 9, viene arrotondata per eccesso*. In questo caso si perviene al seguente risultato:

$$x_m = 180 \text{ cm}$$

Dobbiamo ora analizzare il caso in cui al risultato si pervenga attraverso una successione di più operazioni di tipo algebrico (somme, moltiplicazioni...) che coinvolgono varie misure. E' la classica situazione che si presenta nella risoluzione di un esercizio o di un problema.

Il suggerimento è di seguire la seguente procedura:

- 1) Prima di affrontare il problema, prestare attenzione al numero di cifre significative con cui sono espressi i dati di partenza

- 2) Eseguire i calcoli senza curarsi del numero di cifre con cui si trovano i risultati parziali, ma tenendo qualche cifra in più rispetto a quelle realmente necessarie (senza esagerare, sono le cosiddette “cifre di controllo”)
- 3) Quando si arriva al risultato finale, approssimarlo correttamente usando le seguenti due regole:
  - a) **In una somma o differenza di misure, il risultato deve avere lo stesso numero di cifre DECIMALI della misura che tra i dati di partenza ne ha di meno.**
  - b) **In un prodotto, in una divisione o in un elevamento a potenza (compreso l'estrazione di radice di qualunque indice), il risultato deve avere lo stesso numero di cifre significative GLOBALI della misura che tra i dati di partenza ne ha di meno.**

Occorre poi prestare attenzione alle seguenti precisazioni:

1) gli zeri non sempre sono cifre significative. Ad esempio: 56,4002 ha sei cifre significative globali, quattro decimali; 12,400 ha cinque cifre significative globali, tre decimali, perché si suppone che sia stato possibile misurare anche il millesimo; il valore 0,0026 ha invece solo due cifre significative globali (e quattro decimali).

La misura 35 000 è ambigua perché a chi legge non risulta chiaro il significato da attribuire alle ultime tre cifre: è stato possibile misurare anche l'unità oppure si tratta di una espressione già data in modo approssimato? Questo dubbio è risolvibile facendo ricorso, da parte di chi scrive, alla *notazione esponenziale* (o scientifica): l'espressione  $3,5 \times 10^4$  vorrà allora significare che considero significative solo due cifre. In caso contrario devo scrivere  $3,500 \times 10^4$ .

2) Da quanto detto in precedenza si deduce che, se per la matematica i numeri come 3,5 o 3,500 sono la stessa cosa (anzi, la seconda scrittura è pure considerata inutile), per la fisica e le scienze sperimentali le due scritture hanno un significato molto diverso: nel primo caso si esprime un valore misurato solo fino al decimo, nel secondo caso la stessa grandezza risulta scritta con una precisione che raggiunge il millesimo!!

-----  
Esempi:

$$3,883 \text{ g} + 15,7 \text{ g} = 4,583 \text{ g} = 4,6 \text{ g}$$

$$10,546 \text{ mm} + 0,450 \text{ m} = 10,546 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 450 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 460,546 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,461 \text{ m}$$

$$5,377 \text{ m} \cdot 1,7 \text{ m} = 9,1409 \text{ m}^2 = 9,1 \text{ m}^2$$

-----

## APPENDICE 1.A

**Unità di tempo:** *il secondo (s).*

E' l'intervallo di tempo durante il quale avvengono 9 192 631 770 oscillazioni tra due particolari stati atomici della radiazione emessa da un atomo di cesio  $^{133}\text{Cs}$ .

**Unità di lunghezza:** *il metro (m).*

E' la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a 1/299.792.458 s. Il campione di riferimento è una sbarra di platino-iridio depositata presso Parigi, a Sèvres.

**Unità di massa:** il chilogrammo (kg).

E' la massa di un campione di platino-iridio depositato dopo la prima Conferenza generale dei Pesi e delle Misure, tenutasi a Parigi nel 1889, presso l'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure.

**Unità di temperatura:** *il kelvin (K).*

E' l'intervallo che si ottiene dividendo per 273,16 il valore della temperatura del punto triplo dell'acqua, misurata con un termometro a ciclo di Carnot.

**Unità di intensità di corrente elettrica:** *l'ampere (A).*

E' l'intensità di corrente costante che fluisce tra due conduttori rettilinei, paralleli, posti nel vuoto ad una distanza di un metro, di sezione trascurabile, tale che la forza tra essi risulti uguale a  $2 \times 10^{-7}$  N per ogni metro di conduttore.

**Unità di intensità luminosa:** *la candela (cd).*

E' l'intensità luminosa, in una direzione prefissata, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza  $540 \cdot 10^{12}$  Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è  $1/683 \times \text{W/sr}$  (Watt/steradiante).

**Unità di quantità di sostanza:** *la mole (mol).*

E' la quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari (atomi, molecole, ioni...) quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio  $^{12}\text{C}$ .

E per le due unità aggiuntive:

**Unità di angolo piano:** *il radiante (rad).*

E' un angolo piano con il vertice nel centro di una circonferenza di riferimento che sottende un arco di lunghezza uguale al raggio.

**Unità di angolo solido:** *lo steradiante (sr).*

E' un angolo solido con il vertice nel centro di una sfera di riferimento che sottende una calotta sferica la cui area è uguale a quella di un quadrato di lato uguale al raggio della sfera.

Qualche volta questo sistema di unità di misura è chiamato *Sistema M.K.S.* (perché fondato sulle definizioni di metro, chilogrammo e secondo). Una convenzione alternativa, ma ora non più in uso, consisteva nel considerare il cosiddetto *Sistema c.g.s.* (centimetro, grammo, secondo).

## APPENDICE 1.B

Nome	Simbolo	Equivalenza in termini di unità fondamentali SI
<a href="#">minuto</a>	min	1 min = 60 s
<a href="#">ora</a>	h	1 h = 60 min = 3 600 s
<a href="#">giorno</a>	d	1 d = 24 h = 86 400 s
<a href="#">grado</a>	°	1° = 60' = 3 600 "
<a href="#">minuto primo</a>	'	1' = 60"
<a href="#">minuto secondo</a>	"	1" = (1/60)' = (1 /3 600)°
<a href="#">litro</a>	l, L	1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
<a href="#">tonnellata</a>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg