

# 1. Introduzione

## 1.1 Introduzione storica allo studio della Fisica.

### 1.1.1 Il valore della conoscenza fisica: all'origine dei fenomeni naturali.

Coloro che per la prima volta si accostano allo studio di una disciplina, possono spesso trovare importanti motivazioni ai loro sforzi quando vengono a conoscenza del valore che tale disciplina ha assunto nel corso della storia. Per comprendere il significato che ebbe in origine lo studio della Fisica, occorrerebbe ripercorrere migliaia di anni di pensiero filosofico e scientifico, tuttavia possiamo tentare una scorciatoia, che risulta davvero formidabile, riferendoci all'etimologia della parola *Fisica*.

Essa deriva dal latino “*physicus*” (agg. e sost.) il quale a sua volta deriva dal greco “*fùsicos*”, aggettivo di “*fùsis*” (φυσικός: phi, upsilon, sigma, iota, sigma) che significa **Natura**, e la parola “*fùsis*” ha la stessa radice del verbo “*fùo*” (φύω: phi, upsilon, omega) che significa **nascere** [per alfabeto greco vedi tabella 4 a pag. 510 del testo di S. Rosati].

Analogamente, la parola latina *natura* deriva da verbo “*nascor*”, che appunto significa **nascere**, o anche *aver origine*.

Anche la parola *ingegnere* deriva dal latino “*ingenium*”, che contiene il verbo “*gigno*” il quale significa *nasco*, e “*gignere*” significa *generare*.

**Dunque studiare la fisica per gli antichi significava studiare LA NATURA nella sua interezza, ed in particolare significava indagare sull'ORIGINE delle cose naturali.**

Questo valore della conoscenza fisica, pur avendo dimostrato nel corso dei secoli i propri limiti (pensiamo alla inevitabile specializzazione delle scienze moderne), sopravvive in seno alla cultura moderna come un ideale importante, cui riferirsi per orientare il complesso sviluppo delle tecno-scienze, partorite dalla civiltà occidentale del XX secolo.

### 1.1.2 La centralità della Fisica nel mondo occidentale.

Nel mondo occidentale i primi studi sistematici sulla natura sono da attribuire alla scuola ionica che ebbe in **Talete di Mileto** (624-546 a.c.) il suo primo rappresentante.

- Studiando il moto del sole e della luna, egli riuscì a predire le eclissi e gli equinozi.
- In geometria, oltre al teorema che porta il suo nome, fece importanti scoperte che gli permisero di calcolare l'altezza delle piramidi misurandone l'ombra.
- Nel campo della cosmogenesi, Talete riconosceva nell'acqua il principio primo, dando inizio a quella **ricerca di elementi di unificazione nella molteplicità dei fenomeni** che ha pervaso il pensiero occidentale fino ai giorni nostri, e che ancora oggi rappresenta il fine ultimo e più alto di ogni conoscenza scientifica.

Lo sviluppo della Fisica greca continuò grazie a *filosofi naturalisti* quali **Pitagora**, (570-495 a.c.) fino a **Democrito** (460-360 a.c.) della scuola degli *atomisti* che vide tra i suoi assertori anche il filosofo Epicuro.

Ma il culmine delle conoscenze scientifiche nel mondo antico si ebbe con **Aristotele** che riunì tutte le conoscenze umane in un grande compendio allo scopo di organizzarle secondo un modello prefissato, un sistema, su cui costruire una **teoria generale** (la parola “teoria” deriva dal greco “*theòria*” e significa nientemeno che “*visione divina*”). Alla base della teoria aristotelica, in una posizione del tutto fondante rispetto ad ogni altra disciplina, era la *Filosofia Prima*, anche detta *Fisica*.

**Dunque secondo Aristotele il punto di partenza per una profonda visione del mondo nella sua interezza è la Fisica.**

### 1.1.3 La Fisica aristotelica.

E' importante comprendere tuttavia di quale Fisica parlasse Aristotele. Quella di Aristotele era una Fisica basata sul *metodo deduttivo*, a discapito del *metodo induttivo*, cioè la conoscenza del mondo fisico per Aristotele avveniva esercitando unicamente le facoltà logico-deduttive a partire da alcuni dogmi assunti a fondamento del mondo naturale.

Aristotele riteneva che esistessero due categorie di corpi, quelli *celesti*, di natura perfetta, e quelli terrestri o più precisamente *sublunari*, di natura imperfetta. Ogni corpo terrestre poi doveva essere composto di un miscuglio di quattro elementi o essenze, che, in accordo con Empedocle, sono **Terra, Acqua, Aria e Fuoco**. In ogni corpo uno di questi elementi prevale sugli altri tre: così nei solidi prevale l'elemento Terra, nei liquidi l'acqua, negli aeriformi l'Aria e il Fuoco. Tutti i corpi terrestri sono soggetti a corruzione, mentre i corpi celesti sono immutabili ed incorruttibili, poiché composti da una sostanza immateriale detta *quinta essenza*. Ciascun elemento possiede un suo luogo naturale, assegnatogli dalla Natura e da Dio. Il luogo naturale della Terra si trova nel punto più basso dell'universo aristotelico, ed a mano a mano che saliamo verso il cielo troviamo il luogo naturale dell'Acqua, poi dell'Aria ed infine del Fuoco.

La *dinamica aristotelica*, per così dire, si basa sul principio che ogni elemento tende spontaneamente a raggiungere il suo luogo naturale: perciò il fuoco sale verso l'alto, l'acqua scende dal cielo e scorre verso il mare, mentre ***i gravi, che contengono in prevalenza l'elemento Terra, tendono verso il centro della terra con una rapidità (velocità) che è tanto maggiore quanto più Terra essi contengono, ossia quanto maggiore è il loro peso.***

Si pensi che, per quanto oggi possano farci sorridere, queste teorie rimasero in pieno vigore per tutto il Medio Evo, e fino all'inizio del XVII secolo, venendo insegnate nelle Università e coltivate dagli uomini più dotti di quel tempo: cattedratici, membri dei circoli culturali e delle accademie più prestigiose.

Secondo alcuni studiosi di filosofia della scienza, fu l'importanza attribuita da Aristotele al metodo deduttivo a totale discapito del metodo induttivo (riconosciuto essere alla base della scienza moderna), ciò che diede origine ad una formulazione così dogmatica delle scienze da rallentare il progresso per tanti secoli. Un tale giudizio tuttavia rischia forse di attribuire all'antico maestro ed alle sue straordinarie intuizioni ed innovazioni metodologiche le colpe dei discepoli che nei molti secoli successivi non seppero evolvere quegli insegnamenti, cristallizzandoli in un *corpus* dogmatico, sterile e quanto mai ingombrante.

### 1.1.4 La travagliata nascita del metodo sperimentale.

Le prime isolate voci di critica alla teoria di Aristotele sul moto dei gravi giunsero verso la fine del XVI secolo. La più celebre ed anche la più dura di tutte fu quella di **Simon Stevin** (ingegnere e fisico Belga) che pubblicò un'opera sulla meccanica in cui dimostrò, con un esperimento molto semplice (davvero alla portata di chiunque), che i corpi non cadono affatto con una velocità proporzionale al proprio peso. Egli dispose sul pavimento una robusta tavola di legno e vi fece cadere sopra, dalla medesima altezza, due palle di egual volume di cui una assai più pesante dell'altra. Secondo la teoria di Aristotele, lasciando cadere insieme le due palle, la più pesante sarebbe precipitata a terra molto più velocemente, quindi avrebbe impattato la tavola assai prima dell'altra, e dunque si sarebbero potuti udire due colpi d'impatto ben distinti. Invece, anche ripetendo l'esperimento da altezze maggiori, e quindi con tempi di caduta più lunghi, non fu mai possibile distinguere nettamente i due colpi. Fu semplice constatare quindi che non era affatto vero che la palla più pesante cadeva assai più velocemente della palla più leggera: Aristotele si sbagliava clamorosamente.

Quel che lascia senz'altro sconcertato l'uomo di oggi è che una simile evidenza, pressochè quotidiana, insieme a tante altre, avrebbe certamente dovuto colpire la mente di quegli uomini dotti, di quegli intellettuali aristotelici, che tuttavia non intesero mettere in discussione, per quasi duemila anni, l'autorità di Aristotele in merito alla teoria del moto!

Per comprendere l'origine di questo conservatorismo cieco, di questa reticenza, occorre porre l'attenzione su una questione molto generale, cioè sul problema della conoscenza. Occorre cioè chiedersi che cosa gli uomini dotti di quel tempo considerassero “vera conoscenza”. Non certamente i fenomeni che cadono sotto i nostri sensi, non gli accadimenti particolari della vita di ogni giorno. Si riteneva infatti che i sensi dell'uomo, attraverso i quali tali accadimenti ci sono comunicati, fossero ingannevoli, dunque essi davano l'impressione sì, ma solo quella, che le cose andassero diversamente da quanto le teorie affermavano. Solo la sapienza degli antichi, i libri e le deduzioni accademiche potevano salvare l'uomo dal caos delle percezioni ingannevoli! Rimane da chiedersi la ragione di queste posizioni così radicalmente anti-empiriste, ma questo è un tema assai vasto della filosofia della scienza e coinvolge un giudizio storico e filosofico sul mondo antico e sull'uomo del medioevo che non è possibile affrontare in breve.

Ad ogni modo è certo che diversamente da quanto accadeva tra i banchi delle Università, nelle botteghe artigiane, nei laboratori di ingegneria (o meglio dei proto-ingegneri ed alchimisti), le pratiche sperimentali contavano enormemente, anche solo per risolvere problemi pratici, talvolta assai comuni. E' precisamente in questi ambienti, lontano dalla cultura ufficiale, che si fece strada, tra studiosi che già si trovavano in posizione critica rispetto alla tradizione, il “nuovo spirito” della scienza moderna, il cosiddetto **metodo sperimentale**.

Si deve certamente a **Galileo** il riconoscimento pieno della fondamentale importanza del metodo sperimentale e si usa dire che con questa straordinaria figura del seicento italiano ebbe inizio la scienza moderna. Le sue due opere più importanti sono il “**Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo. Tolemaico e Copernicano**”, pubblicato nel 1632, dedicato al moto della Terra e dei pianeti, e i “**Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze**”, del 1638, dedicato al moto dei corpi terrestri, ed in particolare alla caduta dei gravi.

E' lo stesso Galileo ad informarci che il suo interesse per questi problemi fu stimolato, come nel caso di tutti gli altri grandi innovatori che lo precedettero, Leonardo, Tartaglia, Stevino, dai problemi posti dall'ingegneria del tempo, ed in particolare dal problema del moto dei proiettili, in quegli'anni al centro dei lavori di ricerca presso l'Arsenale di Venezia (dal quale infatti prende le mosse il secondo di questi dialoghi).

### 1.1.5 La Fisica Sperimentale oggi.

Fino alla fine del '700 la Fisica comprendeva tutte le scienze naturali (in inglese *physician* significa ancora oggi medico, e qualcuno sostiene che il “medico” sia il primo empirista conclamato nella storia di tutte le culture umane, cioè, per così dire, uno scienziato in senso atropologico). In seguito, lo studio della natura venne diviso in due parti principali, costituenti le *scienze fisiche* e le *scienze biologiche*. A sua volta le due più importanti scienze fisiche sono la *Fisica* propriamente detta e la *Chimica*.

La Fisica secondo la definizione moderna è una scienza sperimentale che studia i costituenti della materia e le loro interazioni. Scopo della Fisica è di costruire delle teorie basate su leggi fondamentali, espresse in forma matematica, in grado di predire i risultati degli esperimenti. In un certo senso la Fisica, riappropriandosi del significato originale di studio della nascita delle cose (cosmogonia), va alla ricerca delle poche leggi fondamentali che regolano l'universo, lasciando alle altre scienze, in particolare alle scienze biologiche, lo studio dei fenomeni complessi che non potrebbero essere interpretati in modo analitico.

La Fisica viene tradizionalmente divisa in *Fisica classica*, e *Fisica moderna*.

La **Fisica Classica** può essere a sua volta divisa nelle seguenti discipline, di cui sono indicati i più illustri esponenti:

i) Meccanica

- Galileo (1564 - 1642) cinematica del moto
- Keplero (1571 - 1630) leggi empiriche del moto dei pianeti
- Newton (1642 - 1727) dinamica del moto e legge di gravitazione universale

ii) Termodinamica

- Joule (1818 - 1889) teoria dinamica del calore
- Kelvin (1824 - 1907) secondo principio della termodinamica
- Carnot (1796 - 1832) teoria delle macchine termiche

iii) Acustica ed Ottica

- Fermat (1601 - 1665) principio di stazionarietà del cammino ottico
- Huygens (1629 - 1695) teoria ondulatoria della luce
- Newton (1642 - 1727) teoria corpuscolare della luce ed ottica geometrica
- Helmholtz (1821 - 1894) ottica fisiologica e acustica

iv) Elettromagnetismo

- Coulomb (1736 - 1806) elettrostatica e magnetostatica
- Ampère (1775 - 1836) elettrodinamica
- Faraday (1791 - 1867) induzione elettrostatica ed elettromagnetica
- Maxwell (1831 - 1879) teoria unificata dei fenomeni elettrici e magnetici

La **Fisica Moderna** riguarda gli sviluppi più recenti e comprende:

i) Teoria della relatività

- Einstein (1879 - 1955) teoria delle relatività speciale e generale

ii) Fisica quantistica

- Planck (1858 - 1947) ipotesi dei quanti
- Einstein (1879 - 1955) spiegazione dell'effetto fotoelettrico
- Bohr (1885 - 1962) modello quantistico dell'atomo
- Schrödinger (1887 - 1961) meccanica ondulatoria
- Heisenberg (1901 - 1976) principio di indeterminazione

iii) Fisica atomica, Fisica nucleare e Fisica delle particelle

## 1.2 Strumenti di base per lo studio della fisica.

### 1.2.1 Grandezze fisiche ed Indici di stato fisico

**Def. Grandezza fisica (classe di grandezze fisiche).**

Quando la nostra percezione del mondo, sia essa diretta (attraverso i nostri sensi) o indiretta (mediata da opportuni strumenti), ci permette di individuare un insieme di enti del mondo (non meglio precisati) tra i quali possiamo stabilire:

- una relazione d'ordine (minore/uguale/maggiore, valendo il principio di esclusione);
- operazioni di somma e differenza tra tali enti;
- una operazione di prodotto (scalare) tra gli enti;
- una operazione di prodotto (per scalari) tra un qualsiasi ente ed un qualsiasi numero reale;

allora tali enti formano una **classe (o tipo) di grandezze fisiche**.

Esempi di classi di grandezze fisiche:

*lunghezza,*  
*massa,*  
*intervallo di tempo,*  
*forza,*  
*lavoro.*

E' bene dire che la definizione data di grandezza fisica è basata sul **concetto di estensione**, è una definizione per così dire “geometrica” e presenta alcuni limiti, ma rimane senz’altro valida in seno a tutta la fisica classica.

**Def. Indice di stato fisico (classe di indici di stato fisico).**

Quando la nostra percezione del mondo, sia essa diretta o indiretta, ci permette di individuare un insieme di enti del mondo (non meglio precisati) tra i quali possiamo stabilire:

- una relazione di uguaglianza (uguale/diverso) ma non di ordine (maggiore/minore);
  - operazioni di somma e differenza tra tali enti;
  - una operazione di prodotto (scalare) tra gli enti;
  - una operazione di prodotto (per scalari) tra un qualsiasi ente ed un qualsiasi numero reale,
- allora tali enti formano una **classe (o tipo) di indici di stato fisico**.

Esempi di classi di indici di stato fisico:

*coordinate geometriche,*  
*istanti di tempo,*  
*energia,*  
*temperatura.*

**Oss. Grandezze fisiche vs Indici di stato fisico.**

*Gli indici di stato fisico condividono con le grandezze fisiche tutte le proprietà tranne quella di poterli ordinare.*

La ragione di questa impossibilità risiede nel fatto che tali enti sono introdotti in fisica per individuare lo stato fisico di un sistema rispetto ad uno stato fisico scelto come riferimento, quindi il valore della loro misura è legato alla particolare scelta del sistema di riferimento.

**Ex.** Ad esempio, per individuare la *posizione* di un punto materiale possiamo fare uso delle sue *coordinate geometriche (indici di stato)* che ne costituiscono le *distanze geometriche (grandezze fisiche)* da un opportuno sistema di riferimento, alla cui origine attribuiamo per definizione coordinate nulle (**stato di riferimento**). Se consideriamo due oggetti, possiamo sempre dire se hanno le stesse coordinate oppure no, indipendentemente dalla scelta del sistema di riferimento. Se però tentiamo di stabilire quale dei due oggetti abbia coordinate maggiori, ci accorgiamo che a seconda di dove è posta l’origine del sistema di riferimento, può accadere che sia il primo ad avere coordinate maggiori del secondo oppure il contrario! Non è quindi possibile stabilire una relazione di ordine (maggiore o minore) tra coordinate geometriche.

### **1.2.2 Misura di una grandezza fisica.**

Una data grandezza fisica si definisce mediante un preciso procedimento operativo, cioè indicando come la si può *misurare*.

**Def. Procedimento di misura di una grandezza fisica.**

*Misurare una grandezza fisica significa mettere in atto un procedimento strumentale convenuto, finalizzato a caratterizzarla quantitativamente.*

- La caratterizzazione quantitativa di una data grandezza fisica  $G$  consiste nel determinare il numero di volte in cui un'altra grandezza arbitraria ma convenuta  $U$  omogenea a  $G$  (cioè appartenente alla stessa classe o tipo) è contenuta in  $G$  stessa.
- La grandezza  $U$  prende il nome di *unità di misura*, e per ogni classe di grandezze deve essere definita una unità di misura convenuta.
- La misura di  $G$  è quindi esprimibile mediante il rapporto

$$n \equiv \frac{G}{U}$$

**Oss. Cambiamento di unità di misura.**

L'unità di misura può essere cambiata, scegliendo una  $U'$  diversa da  $U$  (ma sempre appartenente alla stessa classe di grandezze); in questo caso, la misura di  $G$  diventa

$$n' \equiv \frac{G}{U'} = \frac{G}{U} \cdot \frac{U}{U'} = \frac{U}{U'} \cdot n$$

Il rapporto  $U/U'$  prende il nome di *fattore di ragguglio* per passare da  $U$  ad  $U'$ .

**Oss. Misura di grandezza fisica come differenza tra valori di indice di stato fisico.**

Dalla definizione di indice di stato discende che il valore assoluto della differenza di due indici di stato omogenei costituisce sempre la misura di una grandezza fisica. Ad esempio, il valore assoluto della differenza tra le coordinate posizionali lungo un asse costituisce la misura di una lunghezza.

### 1.2.3 Tipologie di grandezze fisiche: fondamentali, derivate, supplementari, scalari, vettoriali.

Le grandezze fisiche *fondamentali* sono quelle definite attraverso un **procedimento di misura diretto**, cioè in cui il procedimento strumentale di misura consiste semplicemente nel confronto con l'unità di misura.

Nel Sistema Internazionale di unità di misura (SI) le tre principali grandezze fondamentali (quelle della meccanica) sono:

la *lunghezza*, la *massa* e l'*intervallo di tempo*, che si misurano rispettivamente in metri (m), chilogrammi (kg) e secondi (s). Il SI viene anche detto perciò sistema MKS (altri sistemi di misura sono il CGS, che utilizza rispettivamente il centimetro, il grammo ed il secondo, oppure il Sistema Tecnico, ecc.).

Nel SI le unità di misura fondamentali della meccanica sono così definite:

- Il *secondo* (s) è definito come l'intervallo di tempo corrispondente a 9192631770 cicli della radiazione elettromagnetica emessa nella transizione tra due particolari livelli energetici iperfini dello stato fondamentale dell'isotopo più stabile del cesio, il  $^{133}\text{Cs}$ .
- Il *metro* (m) è definito come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un tempo pari a  $1/299792458$  s.
- Il *chilogrammo* (kg) è definito come la massa del prototipo internazionale di platino-iridio custodito a Sevres in Francia.

Si noti che l'unità di misura dell'intervallo di tempo e della lunghezza è molto meglio definita rispetto all'unità di misura della massa. Infatti mentre il campione di massa custodito a Sevres andrà inevitabilmente soggetto ad una degradazione (perdita di massa) attraverso i secoli (millenni), l'emissione elettromagnetica dell'atomo di  $^{133}\text{Cs}$  considerata per la definizione del secondo, sarà presumibilmente immutata di qui a milioni (forse miliardi) di anni, perchè gli atomi, per così dire, non invecchiano!

Altre grandezze sono **definite per via indiretta**, attraverso una legge che le lega ad alcune grandezze fondamentali, e sono dette perciò grandezze **derivate**. Non tutte le grandezze derivate hanno un'unità di misura propria, ma spesso la derivano da quelle fondamentali.

Nel SI sono grandezze derivate (in meccanica) ad esempio:

la *velocità*, l'*accelerazione*, che si misurano rispettivamente in m/s e in m/s<sup>2</sup>, e anche la *forza* ed il *lavoro* che si misurano rispettivamente in newton ( $N = \text{kg m s}^{-2}$ ) e in joule ( $J = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ ).

Vi sono infine altre due grandezze annoverate tra le fondamentali nel SI. Esse sono le cosiddette grandezze **supplementari**, che non appartengono alla fisica in quanto tale, ma piuttosto alla geometria. Si tratta delle due grandezze geometriche di *angolo piano* ed *angolo solido*, le cui unità di misura sono rispettivamente il radiante (rad) e lo steradiano (sr).

Il radiante è definito come l'angolo al centro di una circonferenza che insiste su di un arco di lunghezza pari al raggio della circonferenza stessa. Quindi, poichè la circonferenza di un cerchio di raggio  $R$  ha lunghezza  $2\pi R$ , abbiamo che un angolo giro (cioè di 360°) è pari a  $2\pi$  rad.

Lo steradiano è definito come l'angolo solido al centro di una sfera che sottende una calotta sferica di area pari al quadrato del raggio della sfera stessa. Quindi, poichè una sfera di raggio  $R$  ha superficie pari a  $4\pi R^2$ , abbiamo che l'intera sfera sarà sottesa da un angolo solido pari a  $4\pi$  sr.

Le grandezze fisiche come la lunghezza, la massa ed il tempo si dicono **scalari**, perché sono interamente rappresentate da un numero reale (positivo, negativo o nullo), che è la loro *misura* rispetto ad una certa unità scelta. Ad alcune grandezze fisiche, invece, va associato, oltre ad un numero reale non negativo, detto “modulo”, anche una “direzione” ed un “verso” nello spazio euclideo. Tali grandezze sono dette **vettoriali** e vengono rappresentate con dei **vettori**.

Esempi di grandezze vettoriali sono la velocità, l'accelerazione, la forza, il campo elettrico, il campo magnetico.

### **Oss. Rapporto tra grandezze scalari e grandezze vettoriali.**

E' sempre possibile riguardare una grandezza scalare come una grandezza vettoriale di uno spazio geometrico euclideo unidimensionale. In un tale spazio, che è quello della retta dei numeri reali, la direzione è fissa, il modulo è rappresentato dal modulo algebrico della misura della grandezza, ed il verso può essere solo positivo o negativo, dunque esso è individuato dal segno, positivo o negativo, della misura.

## **1.2.4 Dimensioni di una grandezza fisica**

In Fisica la parola *dimensione* riferita ad una grandezza fisica ha un significato particolare, ma spesso duplice.

In senso lato, essa denota per così dire la natura di tale grandezza fisica. Secondo questa accezione, dovremmo dire, più precisamente, che:

### **Def.1 Dimensione di una grandezza fisica.**

La dimensione di una grandezza fisica è rappresentata dalla classe di appartenenza della grandezza in esame.

**Ex.** Ad esempio diremo che la dimensione di una *distanza*, come pure la dimensione di un'*altezza* o di una *profondità*, o ancora del *perimetro di un edificio* è una **lunghezza**. Similmente, diremo che il *volume di un edificio* ha le dimensioni di una **lunghezza al cubo**.

E' particolarmente utile formalizzare queste relazioni in vere e proprie **equazioni dimensionali**, utilizzando il cosiddetto simbolo dimensionale della grandezza fisica:

**Def. Simbolo dimensionale di una grandezza fisica.**

Si definisce *simbolo dimensionale* di una grandezza il simbolo della grandezza fisica tra parentesi quadre. [Si noti che ciò è congruente con la notazione algebrica delle *classi di equivalenza*, secondo la quale per indicare una data classe si utilizza un generico elemento della classe stessa tra parentesi quadre].

Riferendosi agli esempi precedenti, si scriveranno allora le seguenti equazioni dimensionali:  $[altezza]=[profondità]=[perimetro]=[L]$  e  $[volume]=[L]^3$ .

In Fisica si ritrova però una diversa definizione della *dimensione* di una grandezza fisica, una definizione per un certo verso più propria, che è la seguente:

**Def.2 Dimensione di una classe di grandezze fisiche rispetto ad una data classe di grandezze fondamentali.**

Si definisce *dimensione* di una classe di grandezze fisiche  $G$  rispetto alla classe di grandezze fisiche fondamentale  $A$  l'*esponente* della classe di grandezze fisiche fondamentali considerata nell'equazione che descrive il procedimento indiretto di misura di  $G$  (e, con il procedimento, la classe di grandezze fisiche  $G$  stessa).

**Ex.** Consideriamo ad esempio la velocità; essa è una classe di grandezze fisiche derivate definita dalla relazione: *velocità = lunghezza / intervallo di tempo* che corrisponde alla equazione dimensionale  $[v] = [L][T]^{-1}$ , e perciò diremo che *la velocità ha dimensione 1 rispetto alla lunghezza e dimensione -1 rispetto al tempo* oppure che *la velocità ha le dimensioni di una lunghezza per un tempo alla meno uno*.

**1.2.5 Leggi fisiche e principio di omogeneità****Def. Legge fisica.**

Una **legge fisica** è una relazione quantitativa tra *grandezze fisiche*, tradotta in un'equazione tra le *misure* delle grandezze considerate.

**Oss. Natura di una legge fisica.**

Dunque le leggi fisiche, per comodità, vengono espresse da relazioni matematiche che riguardano le misure delle grandezze che sono legate dalle leggi stesse, ma l'uso delle misure al posto delle corrispondenti grandezze è puramente strumentale, quindi è ovvio che *la legge in sé riguarda le grandezze e non dipende da come sono scelte le unità per misurarle*.

Quindi, per conciliare l'assolutezza delle leggi naturali con l'arbitrarietà della definizione delle unità di misura, la formulazione di una legge fisica deve rispettare il seguente:

**Pri. Principio di omogeneità.**

*Le equazioni che traducono leggi fisiche quantitative devono essere scritte in modo da risultare **indipendenti dalle unità di misura** scelte per le diverse grandezze in gioco.*

**Thr.** C.N.S. *perché l'equazione che esprime una legge fisica soddisfi il principio di omogeneità è che sia dimensionalmente omogenea, cioè che tutti i suoi membri abbiano le stesse dimensioni, in termini di grandezze fondamentali.*

**Oss.1** Il principio di omogeneità, nella forma espressa dal teorema appena enunciato, è un validissimo strumento di controllo nella verifica dell'esattezza di relazioni matematiche tra grandezze fisiche.

**Esempio 1.**

Un ingegnere vuole calcolare lo spazio di frenata di un'auto di massa  $m$  lanciata alla velocità  $v$  sull'asfalto con coefficiente di attrito  $\mu$ . Dimostrare che la relazione  $s = 1/2(v/\mu g)$  da lui trovata non può in alcun modo essere corretta.



**Oss.2** Il principio di omogeneità, nella forma espressa dal teorema appena enunciato, può essere un utile strumento anche nello studio dei fenomeni fisici, poiché talvolta la forma di una legge fisica può essere dedotta unicamente in base a considerazioni dimensionali.

### Esempio 2

Ad esempio, con il metodo dimensionale è possibile determinare come il tempo  $t$  di caduta di un grave dipende dalla sua massa  $m$ , dalla accelerazione di gravità  $g$  e dall'altezza di caduta  $d$ . Scriviamo l'equazione che esprime tale dipendenza attribuendo esponenti incogniti  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  alle misure delle grandezze  $m$ ,  $g$  e  $d$  rispettivamente.

$$t = k \cdot m^{\alpha} g^{\beta} d^{\gamma},$$

dove  $k$  è una costante arbitraria. Le dimensioni delle grandezze coinvolte nella formula precedente sono:

$$[t] = [L]^0 [M]^0 [T]^1$$

$$[m] = [L]^0 [M]^1 [T]^0$$

$$[g] = [L]^1 [M]^0 [T]^{-2}$$

$$[d] = [L]^1 [M]^0 [T]^0.$$

L'equazione dimensionale corrispondente è:

$$[T]^1 = [M]^{\alpha} [L]^{\beta+\gamma} [T]^{-2\beta},$$

che per la regola di omogeneità si traduce nel sistema di equazioni:

$$\begin{cases} 1 = -2\beta \\ 0 = \alpha \\ 0 = \beta + \gamma \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \beta = -1/2 \\ \alpha = 0 \\ \gamma = 1/2 \end{cases}.$$

Assegnando ad  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  i valori calcolati si ottiene che il tempo di caduta di un grave è espresso dalla relazione

$$t = k \sqrt{\frac{d}{g}}.$$

Il fattore  $k$  si ricava sperimentalmente ed è

$$k = \sqrt{2}.$$

Si osserva che, contrariamente a quanto ipotizzato inizialmente, il tempo di caduta di un grave **non** dipende dalla sua massa. Tale dipendenza, spesso radicata nel senso comune, può manifestarsi solo a causa di effetti perturbativi, quali quelli prodotti dalla resistenza dell'aria.