

1. Ripensare la fisica

1.1 Inquadramento epistemologico.

Fisica
<ul style="list-style-type: none">• Oggetto → mondo esterno• Ipotesi su base "induttiva", per tentativi ed errori• Riscontro → confronto fra previsioni e dati sperimentali• Strutturata in modo logico-formale

Matematica
<ul style="list-style-type: none">• Strutturata in modo logico-formale• Oggetto → costruzione mentale• Postulati (ipotesi) → punti di partenza• Riscontro → coerenza interna

e le altre discipline come la biologia, la geologia, ecc.?

1.2 Concetti e "grandezze fisiche"

In fisica i concetti sono strettamente legati alle *grandezze fisiche*.

Perché ci si "inventa" un certo concetto? Perché è *utile ed economico* per

- descrivere il mondo esterno,
- formulare le ipotesi sulle relazioni di causa/effetto fra grandezze fisiche,
- fare previsioni sulla base delle ipotesi fatte e di quanto noto e verificarne la validità,
- esprimere formalmente le relazioni (leggi) fra grandezze fisiche.

Grandezze di "livello zero", accessibili direttamente all'osservazione e misura

Esempio: concetto di *volume*:

- > *oggetto*: il mondo esterno, cioè gli oggetti fisici da cui si parte, in cui il volume è lo spazio occupato in tre dimensioni (non soltanto *base × altezza × larghezza*).
- > *ipotesi*: dipendono dal tipo di fenomeno; ad esempio, nel travaso dell'acqua per la taratura del recipiente si ipotizza la *conservazione* del volume, perché l'acqua è "incomprimibile" e il suo volume non cambia sensibilmente, a meno di esercitare enormi pressioni. Si possono formulare ipotesi a livello più fondamentale sul perché ciò avviene: la materia ha una struttura microscopica discreta (atomi) e il "volume" di un corpo è il risultato della distanza di equilibrio a cui un atomo si assesta rispetto ai suoi vicini;
- > *riscontro*: la verifica sperimentale in situazioni di conservazione o di variazione del volume;
- > *struttura formale*: esprimere il volume nelle corrette unità di misura e riconoscere le corrette equivalenze; rapportare la misura del volume alla misura di lunghezze o di aree (volume di solidi regolari); somma e sottrazione di volumi ($V=V_1+V_2$) oppure relazione con altre grandezze (ad esempio $PV=nRT$)

Altre grandezze direttamente accessibili sono *lunghezza*, *superficie*, *tempo*, *massa*, *temperatura*, *forza statica*

Grandezze di "primo livello", definite in base a relazioni semplici (proporzionalità dirette o inverse) fra grandezze di livello zero. Esempio: il concetto di *velocità*: relazione di *proporzionalità diretta* fra spazio percorso e tempo impiegato.

- > *Oggetto*: un qualunque fenomeno di movimento; unità di misura della velocità (unità derivate); concetto di *velocità media*, per la quale è importante definire il Δt , cioè su quale intervallo di tempo viene misurata la velocità; velocità di moti quotidiani (una corsa, una marcia, una bici, un'auto, un uccello, ecc.); *direzione della velocità*, cioè la velocità è un vettore, quindi è descritta non solo dal suo valore, ma dalla direzione; velocità in direzioni continuamente diverse, come nel moto circolare;
- > *ipotesi*: dal punto di vista *cinematico*, si tratta semplicemente di una definizione, anche se in certi fenomeni si fanno delle vere e proprie ipotesi, come, ad esempio, la regola di *composizione delle velocità* che è alla base dell'*ipotesi* galileiana sulla relatività del moto (la velocità è sempre riferita a un dato sistema di riferimento); dal punto di vista *dinamico*, la velocità è una grandezza che caratterizza il corpo in moto ed è legata alle condizioni (forze) che permettono di raggiungere una certa velocità (ad esempio in una corsa si raggiunge una velocità maggiore allungando il passo, cioè applicando una forza maggiore, oppure facendo il passo a un ritmo più rapido, quindi aumentando la *potenza*)
- > *riscontro*: la verifica sperimentale; ad esempio, in cinematica, la relatività del moto e la legge di composizione delle velocità sono facilmente verificabili;
- > *struttura formale*: *proporzionalità* diretta con lo spazio, *proporzionalità* inversa con il tempo; *rappresentazione in un grafico cartesiano* (diagramma orario: spazio in funzione del tempo); uso delle corrette unità di misura e conversione da un'unità all'altra (m/s e km/h), *rappresentazione grafico/simbolica* della velocità;

Altre grandezze di primo livello sono la *densità* (non "peso specifico") e la *pressione*

Grandezze di "secondo livello", che richiedono correlazioni più complesse, eventualmente anche fra più grandezze, con la necessità di distinguere, in alcuni casi, fra "parametri" e "variabili".

Ad esempio la *quantità di moto* $p=mv$ è il prodotto della velocità, che è una grandezza "variabile", per la massa, che in generale è un "parametro", perché non cambia durante il moto, ma può cambiare se cambia il corpo in movimento.

Altre grandezze di secondo livello: *accelerazione, forza dinamica, energia, quantità di calore, ecc.*

Concetti che descrivono non una specifica grandezza fisica ma una relazione fra grandezze fisiche particolarmente utile per descrivere certi andamenti/situazioni. Ad esempio un'onda è un particolare tipo di moto, in cui ciò che si propaga non è materia, ma ... (ne discuteremo nell'ultima lezione), un *corpo* o un *corpuscolo* è un oggetto dotato di massa, a cui si può assegnare, in un certo istante, una ben determinata posizione, velocità, quantità di moto, energia, ecc.; un *campo di forza* è una zona dello spazio in cui, istante per istante, sono attive ben precise forze, determinate dalla posizione, in quell'istante o negli istanti precedenti, di ben determinate sorgenti del campo (anche di questo discuteremo nell'ultima lezione).

1.3 La misura e il Sistema Internazionale di unità di misura (SI)

La misura in fisica è strettamente legata alla definizione stessa della relativa *grandezza fisica*. Una grandezza fisica è una proprietà di un oggetto o di un fenomeno in base alla quale è possibile confrontare e ordinare senza ambiguità, in modo ripetibile e universale. Con la misura il confronto non viene più fatto direttamente fra le due grandezze ("questo oggetto è più lungo di quello") ma con una *unità di misura*, omogenea con la grandezza da misurare, determinando il *numero* di volte che l'unità di misura è contenuta nella grandezza da misurare. Ad esempio, la lunghezza a di questo tavolo è 180 cm: "180" è il *numero*, "cm" è l'*unità di misura*.

Ciò che dovete aver chiaro riguardo alla misura:

- a) *i concetti di incertezza, di cifre significative e di errore di misura* L'incertezza di misura è un aspetto essenziale della misura in fisica: il numero infatti non è mai da intendersi come “esatto” (numero reale per i matematici), ma come un valore all'interno di un intervallo di validità, che dipende dallo strumento e dalla procedura di misura. L'incertezza di misura può essere espressa esplicitamente, ad esempio con la notazione “±”:

$$a = 180 \pm 2 \text{ cm}$$

Se non è data esplicitamente, si intende che l'incertezza è *solo* sull'ultima cifra che compare nel numero che esprime la misura, detta perciò *cifra significativa*. Ad esempio, la notazione 180 cm indica che l'incertezza è dell'ordine del cm, mentre 180,5 cm indica che l'incertezza è dell'ordine del mm.

Non è corretto chiamare l'incertezza “errore di misura”, perché non si tratta di un “errore”, ma di un aspetto che è intrinseco alla definizione stessa di misura in fisica (diversa è la definizione in matematica, in cui la misura è effettivamente un numero reale e l'incertezza è dovuta a errori inevitabili ma esterni alla definizione della misura). La parola “errore” in fisica va riservata ai soli “errori sistematici” (dovuti a una procedura di misura non corretta, come l'errore di parallasse, oppure a uno strumento mal tarato) oppure ai veri e propri “sbagli”.

- b) *Le unità del Sistema Internazionale di misura (SI)*. Sono unità di misura adottate con una convenzione internazionale, basate su unità “fondamentali”¹ e unità “derivate”. Le unità fondamentali sono state scelte, per comune accordo, in base al numero minimo di grandezze con le quali è possibile definire tutte le altre grandezze in modo comodo e riproducibile universalmente, attraverso “campioni di misura” conservati o riprodotti nei Laboratori Metrologici (per l'Italia l'INRIM di Torino). Tutte le altre grandezze fisiche sono unità “derivate” che vengono definite a partire dalle unità fondamentali. Ad esempio, per misurare un volume non si usano unità ad hoc (come il gallone o la pinta), ma si usa il m³, cioè il cubo che ha il lato di 1m: l'unità di misura del volume è quindi una unità derivata. Il “3” che compare all'esponente è **essenziale**, perché sta a indicare un'unità dimensionalmente diversa dal metro: infatti il metro misura una lunghezza, il m³ misura un volume, che è una grandezza fisica diversa dalla lunghezza.

In un sistema di unità di misura sono anche definiti i *multipli e sottomultipli*, che si ottengono dall'unità fondamentale moltiplicando per potenze di 10. Anche i simboli dei multipli e sottomultipli sono convenzionali (attenzione in particolare al simbolo k che indica il fattore 1000: è k minuscolo, non K maiuscolo, che è invece il simbolo del kelvin, unità di misura della temperatura!)

- c) È possibile utilizzare unità di misura *equivalenti* e quindi stabilire equivalenze fra misure fatte con diverse unità: ad esempio 1 litro (simbolo l) è equivalente a 1 dm³. Non si possono però stabilire equivalenze fra grandezze non omogenee: ad esempio è **un grave errore scrivere 1 l = 1 kg**, perché massa e volume non sono grandezze omogenee.

1.4 Il metodo di indagine scientifico

Non è corretto chiamarlo “il metodo scientifico”, perché è semplicemente il modo tipico con cui si conduce un'indagine scientifica, seguendo l'impostazione epistemologica tipica delle scienze sperimentali e in particolare della fisica. Ci sono essenzialmente tre passi: 1) si parte dalle osservazioni e misure di fenomeni fisici e si individuano le grandezze fisiche rilevanti, 2) si formulano ipotesi suggerite dalle osservazioni stesse, cioè dalle relazioni fra grandezze, per

¹ Le unità fondamentali sono metro, secondo, chilogrammo, ampere, kelvin, mole, candela. I loro simboli sono m, s, kg, A, K, mole, cd (da notare che sono “simboli” e non abbreviazioni, per cui è errato farli seguire da un puntino, ad esempio “s.” o, peggio, scrivere “sec.”)

interpretare o spiegare i fenomeni; 3) si cerca il riscontro eseguendo nuove misure o conducendo nuovi esperimenti.

Si dice che il metodo fu “inventato” da Galilei: anche questo non è corretto. Ipotesi e misure sperimentali per verificarle erano sicuramente abituali già nell’antichità, altrimenti non si spiegherebbe lo sviluppo tecnologico (si pensi all’Eureka di Archimede!), Galilei ebbe il merito di teorizzare il metodo di indagine, applicarlo sistematicamente, dedicare molta attenzione alla precisione della misura, sviluppando strumenti ad hoc che permettessero di ottenere leggi quantitative (“La natura è scritta in linguaggio matematico”).

1.5 Volume, massa e densità

Quali errori evitare e quali cose aver chiare

A proposito di volume

- Il volume è lo spazio occupato nelle tre dimensioni (altezza, larghezza e profondità), la sua unità di misura SI è il m^3 , i sottomultipli più comunemente usati sono il dm^3 , che è equivalente al litro (simbolo l) e il cm^3 , che è equivalente al millilitro (simbolo ml).
- Volume e capacità sono *grandezze equivalenti*. In genere si preferisce misurare i volumi in m^3 e le capacità in litri.
- Il volume di solidi e liquidi si “conserva” con ottima approssimazione, se non cambiano eccessivamente la temperatura o la pressione (solidi e liquidi in genere si dilatano all’aumentare della temperatura, si comprimono all’aumentare della pressione, ma l’effetto è praticamente irrilevante). Dietro la legge di conservazione del volume non c’è tuttavia niente di fondamentale, perché è la conseguenza del fatto che le forze che tengono insieme gli atomi allo stato solido o liquido sono molto intense, per cui le distanze di equilibrio che si stabiliscono fra gli atomi non possono essere cambiate facilmente. Il volume non si conserva affatto in una soluzione, perché, quando si forma la soluzione, le forze che si stabiliscono fra le molecole della sostanza disciolta e le molecole del solvente sono diverse da quelle che esistevano prima, per cui si stabiliscono nuove distanze di equilibrio e quindi il volume non è mai la somma dei volumi delle sostanze separate, ma è più simile al volume del solo solvente. Nei gas infine le molecole sono quasi libere (lontano dalla temperatura di liquefazione) e interagiscono solo attraverso gli urti, per cui il volume può essere variato più facilmente. Tuttavia, se si diminuisce il volume, gli urti delle molecole contro le pareti diventano più frequenti e la pressione aumenta (la pressione di un gas è dovuta alla forza che si esercita per cambiare la direzione e quindi la quantità di moto delle molecole): questa relazione è espressa dalla legge di Boyle, $pV=costante$.
- Per lo stesso motivo si dice che *il gas non ha un volume proprio*, ma occupa tutto lo spazio a disposizione nel recipiente che lo contiene, perché non ci sono forze di legame che tengano insieme le molecole. Liquidi e solidi invece hanno un volume proprio, grazie alle forze di legame fra gli atomi. Nei solidi le forze di legame sono più intense che nei liquidi e hanno delle direzioni privilegiate lungo le quali agiscono, motivo per cui il solido mantiene anche più facilmente una “forma propria”. Passando ai solidi plastici e poi ai liquidi queste direzioni privilegiate vengono gradualmente a mancare, per cui il liquido non ha più “forma propria” e occorre un recipiente per contenerlo.

A proposito di massa

- Nel linguaggio comune – e molto spesso anche in un contesto scientifico – si usa la parola “peso” e si parla di “pesare” per indicare l’operazione di misura della massa fatta con una bilancia. Nel linguaggio scientifico si evita la parola peso perché ha un significato ambiguo, che si evince solo dal contesto della frase in cui la parola è usata. Infatti il peso può indicare la “quantità di materia” (più avanti verrà definita in modo più preciso) di cui è fatto il corpo oppure la forza che occorre esercitare per sollevarlo. Nella prima accezione, il termine corretto da usare è appunto “massa”, nella seconda accezione è “forza peso”.

- L'unità di misura della massa è il kg e lo strumento con cui si misura la massa in modo diretto è la bilancia a bracci uguali: con una bilancia a bracci uguali, infatti, si pone su un piattello l'oggetto da misurare e sull'altro i campioni di massa con i quali si fa direttamente il confronto. Con una bilancia tarata, come è ormai la quasi totalità delle bilance in uso, questo confronto è stato fatto dal costruttore al momento della taratura e la bilancia va usata *esattamente nelle stesse condizioni in cui la taratura è stata fatta*. Il motivo è che il funzionamento della bilancia si basa su un *equilibrio tra forze*: al momento della taratura, l'unica forza che agiva sulla bilancia era la forza peso dei campioni di misura e quindi la lettura ha significato in termini di "massa" solo se è fatta nelle stesse condizioni della taratura.
- La forza peso è una grandezza fisica diversa dalla massa e non omogenea con la massa, proprio perché è una forza e ha proprietà diverse dalla massa (ad esempio, ha una direzione, dipende dall'accelerazione, ecc.). L'unità di misura della forza peso è il newton, che è appunto l'unità di misura della forza nel SI. Per misurare la forza peso c'è un'altra unità di misura molto usata per scopi pratici, in particolare dagli ingegneri: è il "chilogrammo peso", il cui simbolo è "kgp". **Attenzione: il kgp non è equivalente al kg, perché è l'unità di misura di una forza, che non è una grandezza fisica omogenea alla massa.** Per maggior confusione, sulla Terra, la forza peso di un corpo, misurata in kgp, ha lo stesso valore numerico della massa dello stesso corpo misurata in kg, ma questo non autorizza a concludere che le due grandezze siano "uguali" o "equivalenti"!
- *La massa si conserva.* La conservazione è molto rigorosa, valida fino a una parte per miliardo e anche meglio. Fu ipotizzata e verificata da Lavoisier nel XVIII secolo e l'enunciazione della legge di conservazione della massa in una reazione chimica segna sostanzialmente la nascita della chimica come disciplina scientifica. Alla base della legge sta il fatto che nelle reazioni chimiche e nelle trasformazioni in generale gli atomi si conservano, pur unendosi in modo diverso per formare molecole diverse oppure diversi stati di aggregazione (liquido, solido, gas). Soltanto nelle reazioni nucleari si riesce a mettere in evidenza la non conservazione della massa, che può arrivare anche a parti per mille. Nelle reazioni nucleari infatti si trasformano i nuclei degli atomi: a ogni nucleo di massa m è associata una *energia di massa*, data dalla relazione della relatività, $E=mc^2$ (con c =velocità della luce), e, nella reazione, parte dell'energia di massa può trasformarsi in energia cinetica.
- La massa viene definita rigorosamente in due modi: a) con la *seconda legge della dinamica*, che lega la forza F all'accelerazione a , $F=ma$: la massa rappresenta l'inerzia che il corpo oppone alla variazione della sua velocità quando gli viene applicata una forza (massa *inerziale*); b) con la legge di gravitazione universale, $F=GmM/r^2$: la forza di attrazione è direttamente proporzionale alla massa (massa *gravitazionale*). Esperimenti accurati hanno sempre mostrato che il valore della massa inerziale è uguale al valore della massa gravitazionale dello stesso corpo e la teoria della relatività generale spiega perché: sono uguali perché non ci sono due masse diverse, inerziale e gravitazionale, ma esse sono la stessa grandezza fisica, che descrive la stessa proprietà di un corpo.

A proposito di densità

È il rapporto fra massa e volume:

$$d = m/V$$

È chiamata anche "massa volumica". Si misura in g/cm^3 , oppure in kg/m^3 (unità SI).

Un termine da evitare per indicare la densità è "peso specifico", per motivi analoghi a quelli per i quali conviene evitare la parola "peso".

Attenzione a indicare sempre le unità di misura. Ad esempio è errato dire che l'acqua ha densità 1 omettendo le unità g/cm^3

Esercizi

1) Discutete per almeno una grandezza di livello zero e una di primo livello uno o più esempi di fenomeni da cui risulti chiaramente

- il ruolo della relazione con il "mondo esterno",
- le ipotesi,
- il riscontro con i dati sperimentali
- la formalizzazione con particolare riferimento alla formalizzazione di tipo matematico.

2) Realizzate un esperimento sul galleggiamento di un uovo fresco sia in acqua sia in una soluzione di acqua e sale; in base alle osservazioni/misure

- determinate il valore della spinta di Archimede sia in acqua sia nella soluzione di acqua e sale, descrivendo il metodo utilizzato e i dati ottenuti dalle misure eseguite;
- discutete che cosa è la "spinta di Archimede"; datene la definizione che per voi è chiara e corretta, e fate un esempio di spiegazione che, sempre secondo voi, non è corretta;
- spiegate perché la spinta si produce, come intervengono le densità del corpo immerso e del liquido;
- discutete infine se il fenomeno del galleggiamento può aiutare a separare i concetti di massa e di forza peso.

3) La spinta di Archimede si produce anche nell'aria: fate un esempio di fenomeno dovuto alla spinta di Archimede in aria.