

# Fisica applicata alle scienze motorie

## 1. a) LEZIONE: Le unità di misura

La fisica si occupa solo di ciò che si può misurare.

Ogni misura in fisica è composta da 3 parti fondamentali:

$L=25m$

- ☞  $L$  = grandezza misurata
- ☞ 25 = valore della misura
- ☞  $m$  = unità di misura

**Importantissimo:** il numero è sempre relativo a una grandezza fisica => indicare unità di misura !! non dimenticare !!

- in passato, ogni città aveva le sue unità di misura (tutte diverse => scomodo)
- circa nel 1790 venne introdotto il Sistema Metrico Decimale (SMD) (in Francia, con un decreto -> nuovo sistema unità misura) antenato del Sistema Internazionale (SI)
- SMD basato sui multipli del 10, prima basati su 12 (facile da dividere per 2/3/4/6)
- **SI** racchiude 7 **grandezze (unità di misura) fondamentali**:
  - 1) Lunghezza (metro, m)
  - 2) Massa (kilogrammo, kg)
  - 3) Tempo (secondo, s)
  - 4) Temperatura (kelvin, K)
  - 5) Intensità di corrente elettrica (ampere, A)
  - 6) Quantità di materia (mole, mol)
  - 7) Intensità luminosa (candela, cd)

1), 2), 3) = unità fondamentali della meccanica

Per definire quanto misurasse 1m, si diceva che esso corrispondesse alla 40milionesima parte della circonferenza terrestre, finché i francesi costruirono una barra di platino-iridio (lega con coefficiente di dilatazione bassissimo, altrimenti tra estate ed inverno le misure sarebbero variate => stabilità dimensionale) e la misero in una teca di cristallo a Sèvres.

La massa originariamente venne definita come il peso (massa) di un volume d'acqua di un  $dm^3$ , ma poi come per il metro, venne costruito un campione di platino-iridio.

=> metro campione e chilogrammo campione

Per il tempo: varie prove p.e. con oscillazione pendolo ecc, oggi il secondo definito in base a cosa complicata tra vari stati di un atomo.

- Alle tradizionali unità di misura si possono aggiungere le **unità di misura derivate**, ottenute per moltiplicazioni e divisioni tra quelle tradizionali:
  - 1) Velocità (metro al secondo, m/s)
  - 2) Accelerazione (metro al secondo quadrato,  $m/s^2$ )
  - 3) Forza (newton, N) -> un chilogrammo per un metro su un secondo quadrato
  - 4) Coppia (newton per metro,  $N \cdot m$  (Nm))
  - 5) Pressione (pascal, Pa) -> un newton su un  $m^2$
  - 6) Energia (joule, J)
  - 7) Potenza (watt, W)
  - 8) ...

Chi non usa il SI? Gli inglesi e gli americani perché usano il **Sistema Imperiale** (yard, galloni, libbre, once...), i medici perché usano altre unità di misura come le calorie al posto del joule, gli idraulici (pollici, frazioni di pollici), gli ingegneri, i contadini e gli sportivi

G.D.

Perché si usano altre unità di misura?

- 1) Per tradizione come miglia marine vs. km, piedi vs. km
- 2) Per praticità come kWh piuttosto che il J (richiederebbe numeri enormi -> **un kWh** sarebbero 3.600.000 J => **più facile** da processare per cervello umano)

### 1. b) LEZIONE: Le unità di misura nello sport

Le unità di misura nello sport moderno hanno un padre e una madre:

- 1) *Pierre de Coubertin* (barone, fondò movimento olimpico) che decise di inserire il SMD per tutti gli sport olimpici (lunghezze: m, masse: kg, velocità: m/s)
- 2) *Regina Vittoria* (sport ebbe grande sviluppo) che fece adottare il Sistema Imperiale per tutti gli sport anglosassoni (lunghezze: yd, masse: lb, velocità: kn = nodi)

massa (atleti) erroneamente chiamata peso, massa nella boxe professionistica misurata in libbre, es. limite categoria -> pesi medi tra 154 e 160 lb (69,85 - 72,57 kg)

↳ origine britannica, boxe dilettantistica invece SMD

Per quanto riguarda la **massa**, vale la seguente equazione: 1lb = 0,4536Kg

ES.1:

Un pugile ha una massa di 68 kg.

Quanta massa deve perdere per rientrare nella categoria dei welter (147 lb)?

147lb=66,7kg

68kg-66,7kg=**1,3kg**

$m_{\text{lim}}(kg) = m_{\text{lim}}(lb) \times 0,4536 = 147 \times 0,4536 = 66,68kg \approx 66,7kg$

$\Delta m = m - m_{\text{lim}}(kg) = 68 - 66,68 = 1,32kg \approx 1,3kg$

Certi sport con origini britanniche che al giorno d'oggi sono olimpici mantengono tracce, es. distanze atletica o massa lancio peso

**Distanza:** nel SI le distanze brevi si misurano in pollici (in), piedi (ft) e yard (yd)

Piscine: 25 o 50 yd, si corrono le 100 yds

Per quanto riguarda la **distanza**, vale la seguente equazione: 1yd = 3ft = 36in = 0,914m

ES.2:

Asafa Powell detiene il record del mondo sulle 100yds con 9''07.

Stima il suo tempo sui 100m. Quali ipotesi hai dovuto fare?

100yd = 91,4m

91,4 : 9,07 = 100 : x

x= **t=9,92**

$d_m = d_{yd} \times 0,9144 = 100 \times 0,9144 = 91,44 m$

$V = \frac{d_m}{t} \Rightarrow \frac{91,44}{9,07} = \frac{100}{x} \rightarrow x = 9,07 \times \frac{100}{91,44} = 9,92s$  (ipotesi velocità costante)

Per quanto riguarda la **velocità**, essa si può misurare in m/s, km/h, nodi (1 kn=1nmi/1h)

Le distanze in mare si misurano in miglia marine, 1nmi=1852m (differente da miglio terrestre)

es. nuoto, atletica *m/s*, sport motoristici *km/h*, vela *nmi*

**Conversione delle velocità:**

$$V_{m/s} = \frac{V_{km/h}}{3,6} \quad V_{m/s} = \frac{V_{kn}}{1,944} \quad V_{km/h} = V_{kn} \times 1,852$$

**Trucco mnemonico:**  
un atleta che fa i 100m in 10''  
ha una velocità di 36 km/h

G.D.

ES. 3:

Le barche dell'America's Cup raggiungono velocità di 55kn. Quanto vale la loro velocità in km/h? E in m/s?

$$V_{km/h} = 55kn \times 1,852 = \frac{101,86km}{h} \approx 102km/h$$

$$V_{m/s} = \frac{101,86km/h}{3,6} = \frac{55kn}{1,994} = \underline{\underline{28,3m/s}}$$

Strana unità di misura: **passo o ritmo** es. un passo di 3 min/km -> gare di fondo o atletica

Il passo ha la dimensione dell'inverso di una velocità => per questo motivo: più alta è la velocità, minore è il passo

velocità = distanza diviso tempo, passo = tempo diviso distanza

tempo e distanza non in unità misura canonica del SI (sarebbe s/m) ma min/km

$$V_{km/h} = \frac{60}{P_{min/km}} \quad V_{m/s} = \frac{16,67}{P_{min/km}}$$

ES.4:

Il record del mondo nella maratona (d=42,195km) è di Eliud Kipchoge con 2h 01'39".

Che passo ha tenuto?

$$t_s = 2 \times 3600 + 1 \times 60 + 39 = 7299 \text{ s} \rightarrow 2h01'39" = 2(60 \times 60) + 60 + 39 = 7299s$$

$$P_{s/km} = \frac{t_s}{d} = \frac{7299s}{42,195km} = 173 \text{ s/km} = 2'53" \text{ min/km}$$

$$V_{m/s} = 7299s/42,195km = 173s/km = \underline{\underline{2'53" \text{ min/km}}}$$

In molti sport si considera la **cadenza**, o frequenza, espressa in cicli o colpi al minuto.

Nel SI la frequenza si misura in hertz (1Hz = 1ciclo/sec)

Vale la relazione 1Hz = 60cicli/min

Es. 120 colpi al minuto = 2 colpi al secondo = 2 Hz (divisione per 60)

## 2. a) LEZIONE: Gli strumenti di misura

La fisica è fatta da:

- 1) **Osservazione:** Galilei osservò la mela che cadde e aumentò velocità
- 2) **Ipotesi:** dimostrò che la velocità di un corpo aumenta con l'aumentare del tempo di volo (di caduta)
- 3) **Misura:** prende un piano inclinato glabro per ridurre l'attrito e misura il tempo di caduta di un peso

Se uno vuole fare **fisica** deve **misurare** e gli strumenti di misura si sono evoluti con il tempo (già gli antichi egizi possedevano antichi strumenti per lunghezza, massa e tempo). Oggi si hanno strumenti di misura analogici o digitali, es. manometro

➡ **strumento analogico** la misura viene letta per analogia con un'altra grandezza (come un angolo o un'altezza, es. lancetta che gira, colonnina termometri a mercurio

->con scala graduata misuriamo la grandezza

➡ **strumento digitale** la misura presentata direttamente in forma numerica, es. 2 bar (più comoda questa unità invece di 200.000 pascal)

Una misura analogica può assumere qualsiasi valore (segnale continuo). Una misura digitale può assumere solo determinati valori (segnale discreto)-> ci sono degli intervalli, p.e. se cronometro

G.D.

misura fino a centesimi, non abbiamo misura tra 23 e 24 centesimi. Più vicini sono questi valori, più accurata è la misura.

- Strumenti digitali all'interno contengono microcontrollore (dispositivo elettronico) in grado di fornire la misura sotto forma di numero
- micro-controllori possono trattare solo grandezze digitali, espresse sotto forma di tensione elettrica
- Necessità di dispositivo che trasforma una grandezza fisica qualsiasi in una tensione elettrica si chiama **trasduttore**, semplicemente chiamato  **sensore**.
- Un sensore (accelerometro, termometro, barometro...) misura le grandezze e quest'ultime vengono trasdotte/trasformate in tensione elettrica (Volt)

Un esempio: la cella di carico (es. in dispositivi da palestra)  
-> misura la forza e la trasforma in tensione direttamente  
proporzionale alla forza misurata

Cella di carico deformata quando sollecitata da forza,

all'interno c'è particolare circuiteria (fili elettrici), quanto più cella di carico deformata, tanta più è la tensione che viene portata fuori ->poi letta da amplificatore e poi da un microcontrollore

Dinamometro = sensore di forza
Accelerometro = sensore accelerazione
Termometro = sensore temperatura
Manometro = sensore pressione

#### Quali sono le caratteristiche di uno strumento?

- 1) La **portata**: detta anche fondo scala. È la massima quantità (della grandezza misurata) che uno strumento può misurare, es. in un tachimetro 220 km/h  
Una buona misura deve essere vicina al fondo scala, ma non superarlo, altrimenti si dice che lo strumento va in saturazione (segna misura massima e si ferma) e poi si può anche rompere.  
Non ha senso acquistare uno strumento con fondo scala troppo piccolo rispetto alla misura che devo fare perché rischio saturazione/rottura, non ha senso neanche fondo scala grandissimo perché la misura non sarà accurata/precisa (bilancia per misurare masse grandi non ha senso per fare le torte)  
=>strumento con portata sufficiente ma non troppo lontana
- 2) La **sensibilità**: è la minima quantità che uno strumento può misurare. Non coincide con l'accuratezza: un orologio può misurare i centesimi di secondo, ma fare un errore di 5 minuti al giorno. (es. odometro misura fino a centinaia di metri, non sotto)
- 3) La **frequenza del campionamento** (FDC): se il campionamento (raccolta del dato) è troppo lento (fdc troppo bassa), non si riesce a ricostruire l'andamento del fenomeno (provoca errore di sottocampionamento o aliasing). La FDC deve essere almeno doppia di quella del fenomeno osservato (teorema di Shannon-Nyquist).  
Quando si trasforma una misura in digitale (facendo la "curva" a scaletta, misuriamo la grandezza in un istante per un intervallo, poi rimisuriamo e teniamo costante ecc., la frequenza con cui facciamo quest'operazione = fdc)  
Ogni strumento ha diversa fdc, es. GPS da 1 Hz, 10 Hz, 20 Hz  
Se fdc troppo bassa, la misura che ricostruisco non è precisa, non riesco a vedere gradazioni della grandezza (foto di persona che salta su trampolino 1 volta al sec, penso sia sempre ferma se fotografo 1 volta al sec, invece 5-10 volte al sec vediamo come salta)

In fisica esistono **gli errori**.

Ogni misura è soggetta ad errore. Se facciamo una sola misura definiamo **errore assoluto**  $E_a$  la sensibilità dello strumento. Se per esempio misuriamo una lunghezza con un righello, l'errore è di 1mm.

G.D.

$$L = 25\text{mm} \pm 1\text{mm}$$

Se effettuiamo più misure, l'errore assoluto è dato da:

$$E_a = \frac{\text{valore massimo} - \text{valore minimo}}{2}$$

Una sola misura (p.e. un solo cronometro), più misure (p.e. più cronometri)

### Es. ERRORE ASSOLUTO

Misuriamo 4 volte la massa di un monitor, ottenendo:

$$m_1 = 4,00 \text{ kg}, m_2 = 4,02 \text{ kg}, m_3 = 4,05 \text{ kg}, m_4 = 3,97 \text{ kg}$$

$$\text{valore medio misura: } m = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}{4} = 4,01\text{kg}$$

$$\text{l'errore assoluto vale: } E_a = \frac{4,05 - 3,97}{2} = 0,04\text{kg}$$

quindi la misura si può scrivere:  $m = 4,01\text{kg} \pm 0,04\text{kg}$

Mentre, l'errore percentuale è dato da:

$$E_p = \frac{\text{errore assoluto}}{\text{valore medio}} \times 100$$

L'errore percentuale è una grandezza che non ha dimensione

Nell'esempio precedente:

$$E_p = \frac{0,04}{4,01} \times 100 = 1\%$$

## 2. b) LEZIONE: Gli strumenti di misura nello sport

- il **GPS** (Global Positioning System), strumento ormai fondamentale per praticare sport che consente di misurare velocità, percorso e distanza.
- Più importante, terminali gps ormai sono ubiqui nello sport
- Ha un particolare funzionamento: immaginiamo una rete di satelliti intorno al globo - ce ne sono circa 30 - tutti alla stessa altezza, ma si diversificano per l'orbita (su orbite diverse) in modo tale che in ogni punto della terra possiamo averne un paio a disposizione sopra di noi.
- Ogni satellite ha un orologio precisissimo e in ogni istante manda un segnale segnalando la propria posizione nello spazio e l'ora.
- Tutti i satelliti della costellazione gps fanno quest'operazione di spedire la loro posizione e ora molte volte al secondo
- Il terminale che si trova a terra riceve i segnali dai satelliti che vede/che riesce a trovare - in teoria almeno 4, ma anche 3 risulta un buon parametro - in modo tale da ricostruire la posizione dove si trova il terminale, con un **metodo di triangolazione**
- Il terminale esegue un rapido calcolo (ha anche lui orologio preciso a bordo):

- $D1 = c t_1$
- $D2 = c t_2$
- $D3 = c t_3$

Segnale satellite 1 ha impiegato tot tempo ad arrivare a me, segnale viaggia a v. luce, distanza tra satellite e terminale:  $c \times t$   
 $c = \text{velocità della luce, } c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

- La **frequenza di campionamento** del GPS va scelta in funzione della disciplina oggetto della misura.
- Per ottenere una buona misura bisogna campionare **ad almeno il doppio della frequenza del fenomeno da osservare** (Teorema di Shannon-Nyquist).
- ❖ Es. canoa: frequenza campionamento bassa -> non si riescono a vedere le oscillazioni della velocità dell'imbarcazione a ogni colpo di pagaia

-> Accelerometro: misura accelerazione  
-> Giroscopio: misura moto rotazionale

- ❖ Es. facendo passo dello Stelvio, gps con frequenza di campionamento alta ricostruisce il percorso decentemente, se invece campionassimo ogni minuto non si riesce a ricostruire il percorso/la distanza/traiettoria
- Dati acquisiti dal gps esportati in formato opportuno e sovrapposti su google maps
- L'accuratezza del posizionamento è dell'ordine del metro. Per ottenere risoluzioni superiori/accuratezza superiori si deve ricorrere a sistemi speciali (DGPS = gps differenziali).
- **GPS** è uno strumento di misura ma **NON è un trasduttore** perché NON è un sensore che misura grandezza fisica e poi la trasforma in segnale elettrico, assomiglia di più ad una radio (prende segnali radio e li elabora)

Altri 2 strumenti interessanti sono l'**accelerometro** e il **giroscopio** (già presenti nella maggior parte dei telefoni di oggi) → **sono trasduttori** e sono ubiqui

- Diffusione grazie all'integrazione nei cellulari e poi in dispositivi sportivi
- Orologio con accelerometro e giroscopio: ogni volta che faccio un passo ho un picco di accelerazione che viene rilevato dall'accelerometro => lo strumento conta un passo e dà la distanza percorsa
- Rugbista li ha montati in una specie di fondina dietro la schiena (durante allenamento/gara ricostruisce accelerazioni e assetto dell'atleta), avendocelo tutti si ricostruisce l'andamento di tutta la squadra
- Un dispositivo che comprende accelerometro triassiale e giroscopio triassiale si chiama **IMU** (Inertial Measurement Unit, unità di misura inerziale)

L'accelerazione si misura in  $m/s^2$  o in  $g$ , mentre la velocità angolare in  $\frac{rad}{s}$  → radianti al secondo

$g = \text{multiplo dell'accelerazione di gravità} \rightarrow 1g = 9,8 m/s^2$   
 $2g = 19,6 m/s^2$

- Normalmente dispositivi hanno portata/fondo scala di  $2g$ , quindi per misurare accelerazioni di sport come atletica vanno bene, per Formula 1 fondo scala non è adeguato
  - All'interno dei circuiti (minuscoli) dell'accelerometro e del giroscopio ci sono delle molle e delle masse-> fanno parte di un tipo di sensori/trasduttori che prendono il nome di MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems)
  - parte in nero = fissa; parte grigia = mobile, montata su molle; giallo=condensatore
- => Quando ci muoviamo, la parte montata sulle molle si sposta rispetto alla parte rigida (per la forza di inerzia, infatti si chiama forza di misura inerziale -> misura forze di inerzia) cambiando la geometria del condensatore e creando una differenza di potenziale (trasduttore traduce grandezza qualsiasi in differenza di potenziale) che viene amplificata e inviata al micro-controllore
- Un corpo rigido se si muovesse liberamente nello spazio ha 6 gradi di libertà: 3 traslazioni sugli assi x, y, z + 3 rotazioni intorno a x, y, z
  - La IMU (piattaforma inerziale) ha 6 gradi di libertà è in grado di descrivere completamente il movimento (moto) di un corpo rigido, p.e. accelerazioni/movimenti di una barca/kayak
  - corpi snodabili (come l'uomo) servono diversi IMU per registrare movimenti
  - una tuta equipaggiata con numerose IMU (in diversi segmenti del corpo come avambraccio, braccio, tibia, piede,...) => ognuno di questi descrive un movimento; tutti i segnali provenienti da accelerometri/giroscopi messi insieme => permette di ricostruire il movimento complessivo del corpo umano (p.e. per creare videogiochi)
  - accelerometro può misurare l'impatto della palla sulla racchetta da tennis => dati sul gioco

G.D.

Esiste una relazione stretta tra spostamento, velocità e accelerazione:

Dall'accelerometro possiamo ricavare velocità, accelerazione derivata di velocità:  $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$

Al contrario, integrando accelerazione possiamo ottenere velocità, integrando velocità possiamo ottenere spostamento. Ma non funziona da GPS perché a ogni integrazione successiva/ad ogni passaggio si introduce un errore (errore = drift) -> si ottiene spostamento sbagliato quindi ogni strumento usato per ciò per cui è stato creato, GPS spostamenti, accelerometro per accelerazioni. La velocità è la derivata dello spostamento, e l'accelerazione la derivata della velocità. In teoria è possibile quindi calcolare ognuna delle 3 grandezze a partire da un'altra, derivando o integrando. In effetti come si vede ad ogni derivazione il segnale diventa più sporco, mentre l'integrazione introduce notevoli errori.

- La **cella di carico** è un trasduttore di forza. Quando si comprime manda un segnale elettrico che viene elaborato e comunica esattamente dove appoggia il peso, es. *piattaforme di forza* (a ogni vertice/angolo c'è una cella di carico). Combinando i segnali provenienti dalle 4 celle comunica dov'è il peso e come si sta spostando.
- *Cella di carico su moschettone per barca a vela*: quando viene tirato dalla corda, viene registrata una forza -> serve p.e. a regolare la posizione dell'albero nella vela  
-> celle di carico hanno un ingombro (a volte dobbiamo stare in piccole dimensioni), quindi
- Un altro oggetto che può esser definito come una cella di carico è lo **strain gauge** (o **estensimetro**) che è una resistenza elettrica montata su un supporto adesivo che si applica sul pezzo sollecitato.
- In base a legge di Ohm, quando di una resistenza vario lunghezza e lo spessore, resistenza varia (più si allunga più diventa grande resistenza, più si accorcia più diventa piccola la resistenza)
- Se applico strain gauge su oggetto che si deforma, deformandosi deforma lo strain gauge (allunga o accorcia la resistenza); con un circuito opportuno -> **ponte di Wheatstone** con 4 strain gauge, 2 che si allungano, 2 che si accorciano -> creo un differenza di potenziale (V) che mi dà una misura della forza
- Strain gauge sono i sensori dentro cella di carico che ha l'involucro di metallo
- usato in molti sport, es. nella *canoa*: pagaia equipaggiata con un ponte di estensimetri per misurare la forza applicata, strain gauge applicati al manico pagaia: quando la pagaia si piega perché atleta esercita sforzo => strain gauge si deformano => possiamo misurare deformazione pagaia e indirettamente con circuito la forza applicata dall'atleta
- Viene utilizzato anche nel *ciclismo* -> **POWER METER** (misuratore potenza): il momento torcente (coppia) è misurato con dispositivo con all'interno degli strain gauge al mozzo della ruota, la velocità angolare con un contagiri sulla ruota tramite la formula  $P = M \times \omega$
- dispositivo misura la forza che viene applicata sulle pedivelle e quindi il mozzo che viene deformato, altro sensore che misura il numero di giri della ruota e quindi velocità angolare
- in un moto rotatorio: potenza è data dal prodotto del momento torcente (coppia applicata a pedivella) per la velocità angolare => ricostruzione della potenza (parametro fondamentale)

### 3. a) LEZIONE: Le forze

- La forza è alla base dello sport: per accelerare il bob, per bloccare il pallone o per piegare l'asta -> la forza accelera, frena o deforma un corpo
- **Definizione forza**: una causa capace di modificare lo stato di quiete o di moto di un corpo oppure di deformarlo.
- Nel SI l'unità di misura della forza è il newton (N)
- La forza è una grandezza vettoriale, ovvero possiede un modulo, una direzione e un verso

G.D.

Forza vettoriale: es. velocità 3 m/s, ma in che direzione? In che verso?  
(Forza scalare: misura + unità di misura, es. 2kg => massa = grandezza scalare)

- Forze hanno proprietà dei vettori, la più importante = forze si possono sommare  
->rappresentazione come dei vettori L'effetto di tutte le forze applicate ad un corpo sarà equivalente all'effetto che ha il vettore somma applicato allo stesso corpo.
- Se più forze sono applicate ad un corpo, esse possono essere sommate vettorialmente. Il vettore somma prende il nome di **risultante delle forze**.

**Dinamica:** parte della fisica che studia le forze

-> maggior parte studi sulla dinamica/leggi stabilite fatti da Isaac Newton (intorno 1700)

**Cinematica:** lo studio del movimento degli oggetti senza considerare le forze applicate agli oggetti stessi

**Le 3 leggi/principi della dinamica sono:**

- 1) **Principio di inerzia:** Se la risultante (vettore forza) applicato ad un corpo è 0, la velocità del corpo è costante. (permane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme)  
(il primo a scoprire questo principio fu Galileo: un corpo che non è soggetto a forze (o se ci sono forze con risultante 0 applicate su di lui) se è fermo rimane fermo, se è in moto continua a muoversi con velocità costante in direzione e verso = moto rettilineo uniforme)
- 2) **Principio di Newton o principio di proporzionalità:** Se applichiamo una forza ad un corpo di massa  $m$ , la sua velocità varia e di conseguenza la sua accelerazione, che può essere positiva (spingo il bob, accelero) o negativa (bloccare pallone, decelero).  
In breve: Forza applicata ad un corpo produce un'accelerazione.
- 3) **Principio di azione e reazione:** Se io applico una forza  $F$  ad un corpo, allo stesso tempo il corpo applica una forza uguale e contraria.  
Corpo A applica forza di A su B allo stesso tempo il corpo B applica forza B su A uguale e contraria. La risultante NON è 0 perché io applico forza sul corpo da spostare, il corpo applica la forza su di me, quindi la forza è uguale e contraria ma non sullo stesso corpo.

### Le tre leggi della Dinamica

Se  $\vec{R}=0 \Rightarrow \vec{v} = \text{cost}$  (principio di inerzia)

$\vec{F} = m\vec{a}$  (principio di Newton)

$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$  (principio di azione e reazione)

**accelerazione  $a$**   
= variazione della  
velocità nel  
tempo

- ❖ Es. 1) principio inerzia: non si nota nella vita di tutti i giorni, se faccio rotolare una palla si ferma dopo un po' ->NON perché non ci sono forze ma perché entra in gioco la forza di attrito

**Le forze principali sono:**

- 1) **La forza peso** (= forza di gravità):  $\vec{P} = m\vec{g}$   
È dovuta alla trazione tra la terra e gli oggetti dotati di massa. E' diretta verso il centro della terra (direzione verticale, verso: dall'alto verso il basso, dal baricentro dell'oggetto al centro della terra); la sua intensità è data dal prodotto della massa e della costante  $g$  che è l'accelerazione di gravità (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
Es. per sollevare bilanciere bisogna vincere la forza peso
- 2) **La forza elastica** (=legge di Hooke):  $\vec{F}_k = -k\vec{x}$   
Tutti i corpi sono in qualche misura deformabili (alcuni difficilmente, altri macroscopicamente come le molle). Quando applichiamo una forza a questi corpi si

deformano e resistono a questa deformazione reagendo con la forza elastica che è diretta in modo da opporsi (annullare la deformazione, segno – nella formula) p.e. in una molla alla variazione di lunghezza. E' una forza proporzionale alla deformazione della molla: più si deforma (più la molla si allunga), più forza avrà bisogno per tornare alla posizione di riposo (legge dura finché dura la fase elastica, in campo sportivo rimaniamo sempre in questo ambito). Forza elastica è proporzionale alla deformazione (allungamento molla), la costante di proporzionalità prende il nome di costante elastica della molla.

Più è grande la costante elastica della molla (k) più la molla è rigida e meno si deforma il corpo.

Es. salto con l'asta, trampolino,...

Attrito statico: se oggetto rimane fermo

3) **La forza di attrito** (attrito dinamico, si muove):  $\vec{F}_d = -\mu\vec{P}$

forza che si genera tra due corpi a contatto che cerchiamo di muovere. La forza si oppone allo spostamento relativo dei 2 corpi/ al movimento.

Attrito dipende da:

1. quanto è pesante il corpo (forza premente tra le 2 superfici)
2. coefficiente di attrito  $\mu$  (non ha dimensione e dipende dalla natura delle due superfici a contatto/grado di finitura superficiale (anche se levigate hanno rugosità che si oppongono al movimento, diversi materiali ->più sono ruvide più è elevato il coefficiente di attrito, es. ghiaccio coefficiente basso perché liscio)
3. presenza o meno di lubrificante (strato liquido tra le superfici per scorrere meglio) segno meno (-) perché diretta in verso opposto alla forza trainante  
attrito NON dipende dalla velocità

4) **La resistenza del mezzo:**  $R = c\rho Av^2$

E' la resistenza di quando ci muoviamo in un mezzo fluido, quindi aria o acqua (c'è sempre, a meno che non ci troviamo nello spazio) come l'attrito è diretta in verso opposto alla nostra velocità

Essa dipende da:

1. densità del mezzo  $\rho$  (più difficile muoversi in acqua, 800 volte più densa dell'aria)
2. dimensioni frontali del corpo  $A$  ( $A$  = superficie frontale)
3. forme del corpo  $c$  (si cerca posizione aerodinamica, forma affusolata riduce resistenza del mezzo ->ciclisti, macchine, aerei,...
4. velocità (a bassa velocità dipende dalla velocità, ad alta velocità dipende dal quadrato della velocità  $v$ )  
in ambito sportivo consideriamo  $v^2$  ->resistenza idraulica

### 3. b) LEZIONE: Le forze nello sport

P. di inerzia: Se a un corpo non sono applicate forze o se le forze hanno risultante nulla, il corpo permane nella sua situazione di quiete o di moto rettilineo uniforme.

**Forze in equilibrio:**  $\vec{R} = 0$  ->risultante vettoriale delle forze uguale a zero

⇒ **Equilibrio statico:**  $\vec{v} = 0$  -> velocità è 0

un corpo che sottoposto a più forze rimane fermo (es. slide: sollevatore pesi, in quell'istante lui è fermo, forze applicate al bilanciere sono in equilibrio ->risultante è nulla)

⇒ **Equilibrio dinamico:**  $\vec{v} = cost$  -> velocità costante

un corpo che sottoposto a più forze ha velocità costante significa che forze hanno risultante nulla (es. slide: ciclista che procede a velocità costante)

#### Equilibrio vettoriale = equilibrio su 3 assi

Forze sono vettori => hanno 3 componenti (nel piano  $R_x$  e  $R_y$ , nello spazio  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ )

$\vec{R} = 0 \rightarrow R_x = 0 ; R_y = 0 ; R_z = 0$  -> 3 componenti tutte 0

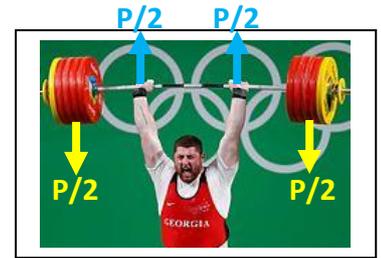
dire che risultante delle forze su un corpo è nulla, significa che sono nulle le risultanti lungo tutti e 3 gli assi perché è impossibile compensare una forza diretta lungo un asse con un'altra forza

G.D.

diretta su un asse perpendicolare => es. se voglio equilibrare una forza lungo l'asse x devo mettere una forza uguale e contraria sempre lungo asse x

Es. 1

L'atleta sta sollevando 232kg. Disegna i vettori delle forze con i relativi valori.  
(bilanciere in equilibrio statico)



$$P = mg \Rightarrow 232 \times 9,8 = 2274 \text{ N} \quad P/2 = 1137 \text{ N}$$

Peso complessivo = massa per g

Peso diviso in 2 perché applicato al baricentro di una massa (bilanciere ha peso su 2 lati)

Forza applicata dall'atleta è uguale e contraria, uguale per entrambe le braccia e dirette verso l'alto => somma forze verticali e orizzontali è P (la loro somma è 0)

Se su un corpo applicata una sola forza => si muove ( $\vec{F} = m\vec{a}$ )

Se sono applicate 2 forze uguali e contrarie (lungo la stessa direzione ma verso opposto => è fermo

Può essere però che ci siano più forze ma che il corpo sia fermo (la risultante sia 0) -> La

condizione perché in un sistema di forze la risultante sia 0 (equilibrio) è che esse compongano un poligono chiuso. (forze messe una dietro l'altra con il sistema punta coda che alla fine si chiudono)

-> chiudendo il poligono delle forze riusciamo a calcolare le forze incognite

❖ Es. poligono delle forze

Lottatori hanno raggiunto un punto in cui non si muovono, sul lottatore di sumo di destra agiscono:

1. la forza applicata dal suo avversario (orizzontale)
2. la forza peso del lottatore (verticale)
3. la reazione del suolo -> ha 2 componenti (considerando solo il piano)

Solo forza orizzontale può equilibrare forza orizzontale, solo forza verticale può equilibrare forza verticale

La **reazione del suolo** (=reazione gialla) che tiene in equilibrio il sistema deve essere tale che:

- 1) la sua componente verticale equilibra la forza peso (reazione vincolare del suolo verso l'alto) equilibrio lungo asse y
- 2) la sua componente orizzontale (=forza d'attrito) equilibra la forza del lottatore equilibrio lungo asse x

NB: senza l'attrito l'equilibrio sarebbe impossibile (sul ghiaccio il lottatore scivolerebbe)

→ TEOREMA DI PITAGORA

Es.2

Il lottatore di destra ha massa 140 kg. Il suo avversario applica una forza F di 1800N.

Calcola il modulo (lunghezza del vettore) della reazione  $R_s$  del suolo (**forza gialla**)

$$P = mg = 140 \times 9,8 = 1372 \text{ N}$$

$$R_s = \sqrt{F^2 + P^2} = \sqrt{1800^2 + 1372^2} = 2264 \text{ N}$$

F = componente orizzontale, P = componente verticale (peso atleta)

Reazione del suolo dev'essere tale da chiudere il poligono delle forze -> teorema di pitagora

Nell'**equilibrio dinamico** ( $v = \text{cost}$ ) possono agire:

- 1) Una o più forze motrici  $F_m$  prodotta dai suoi muscoli (si trasmette al suolo attraverso catena, cambio, ruota ecc al contatto con l'asfalto)
- 2) Forza d'attrito  $F_a$  tra ruote e asfalto (attrito volvente è prodotto da corpo che rotola)
- 3) La resistenza del mezzo (aria o acqua) R (componente principale tra forze resistenti che agiscono sul ciclista, applicata al baricentro dell'atleta/centro di figura del suo corpo)

Se  $v = \text{cost}$ , la risultante delle forze è nulla (principio d'inerzia)

G.D.

3 forze orizzontali (+ 2 forze verticali: peso atleta e la reazione verso l'alto dell'asfalto ma NON interessanti perché l'atleta si muove orizzontalmente, quindi le 2 forze perpendicolari allo spostamento sono forze al lavoro nullo)

**Resistenza del mezzo** è data da  $R = kv^2 = c\rho Av^2$  -> k (=prodotto di 3 fattori:  $\rho$  = densità dell'aria,  $A$  = dimensione del corpo/atleta,  $c$  = stato di forma del corpo).

Cosa si può fare? Se l'atleta riesce a ridurre  $A$  (assumendo posizione a uovo riduce sezione frontale/maestra) e  $c$  (con materiali aerodinamici) si riduce anche  $R$  (resistenza), può avanzare più velocemente a parità di forza motrice prodotta, trova equilibrio dinamico più avanzato a livello di velocità più elevato.

Equazione dell'atleta:  $F_m - F_a = R = kv^2$

Forza motrice (che consideriamo costante) meno Forza d'attrito (che consideriamo costante) è uguale alla resistenza  $R$

Quindi se a parità di forza motrice e forza d'attrito riesco a ridurre  $k$  (a ridurre sezione frontale e il mio fattore di forma), posso raggiungere velocità  $v$  più elevata

Resistenza va con  $v^2$  (=quadrato della velocità) quindi piccolo aumento di velocità da un punto di vista della forza che dobbiamo produrre ci costa un grande sforzo energetico ->ridurre più che posso resistenza aerodinamica

*R = resistenza aerodinamica (non risultante!!)*

### Resistenza idrodinamica

Acqua densità più alta => avanzamento più difficile=>fattore tecnico di assumere la posizione aerodinamica migliore sia del corpo (nuoto) che anche di un'imbarcazione

Sul nuotatore agiscono il peso  $\downarrow$  (weight) e la spinta di Archimede  $\uparrow$  (buoyant force)  $\rightarrow$ verticali la propulsione  $\rightarrow$  (thrust force) e la resistenza del mezzo/idrodinamica  $\leftarrow$  (drag force)  $\rightarrow$ orizzontali propulsione = prodotta da movimenti atleti

se atleta avanza a  $v = \text{cost}$  (mediamente, perché non è un motoscafo, ma ha un movimento ciclico: durante la bracciata la sua velocità aumenta e diminuisce) mediamente la forza che produce per avanzare è uguale alla resistenza dell'acqua => velocità costante

Es.3

Paracadutista che si lancia da un aeroplano, dopo un po' raggiunge velocità limite, non va sempre più veloce (più grande è il suo paracadute, più bassa è). Quando scende a  $v = \text{cost}$  solo 2 forze agiscono su di lui: peso = forza costante e resistenza aerodinamica = diretta verso l'alto, forza costante (se è costante il peso e la risultante 0 dev'essere costante anche la resistenza)

Paracadutista scende a velocità costante  $s = 3 \text{ m/s}$ .

Sapendo che la sua massa complessiva è di 90 kg, calcolare la costante aerodinamica  $k$ .

$$P = kv^2 \rightarrow k = \frac{P}{v^2} = \frac{mg}{v^2} = \frac{90 \times 98}{3^2} = \frac{882}{9} = 98 \text{ kg/m}$$

Peso del paracadutista,  $\vec{F}_p = m\vec{g}$ : forza-peso = forza di gravità con cui la terra attrae un corpo

### 4. a) LEZIONE: L'equilibrio dei corpi rigidi

- Affinché un corpo sia in equilibrio, è necessario che la risultante delle forze sia nulla, es. tiro alla fune, forza di 300 N da entrambe le parti =>forza uguale e opposta. È anche sufficiente?
- Forze agenti lungo la stessa retta =>risultante nulla =>corpo fermo
- Forze agenti lungo rette diverse =>corpo ruota (rette parallele)
- Condizione equilibrio delle forze è necessaria, ma non sufficiente perché il corpo rimanga in equilibrio statico (fermo) serve anche **la coppia** (= nuova grandezza)
- La coppia: un sistema di forze formato da 2 forze F uguali e contrarie agenti a una distanza b (detta braccio della coppia) ->agiscono su rette parallele
- **Il momento M** di una coppia di forze è dato dal prodotto di F per b,  $M = F \cdot b$

#### Coppia di forze:

2 forze parallele, uguali e opposte, applicate in punti diversi dello stesso corpo

G.D.

- ◆ Per convenzione, M è positivo se la coppia provoca una rotazione antioraria del corpo, rotazione oraria => M negativo
- ◆ **M** si misura in **Nm** (Newton metro)-> Forza in Newton, braccio in metri
- ◆ sarebbe un vettore, noi lo consideriamo una grandezza scalare (quindi misura + unità e +/- in base alla rotazione)

### Forza e reazione vincolare

- Una coppia di forze nella maggior parte dei casi formata da forza applicata da agente esterno e da una reazione vincolare (= forza applicata da un vincolo)
- Vincolo = struttura meccanica che impedisce ad un corpo di fare certi movimenti, es. vincolo impedisce al corpo di traslare, ma gli permette di ruotare (es. uno snodo, binari)
- La seconda forza della coppia che equilibra l'altra forza (motrice) è quindi fornita dal vincolo
- Chiave inglese che deve girare un bullone (bullone già in un foro => non può traslare/muoversi) quindi testa bullone è vincolo che impedisce alla chiave di traslare sia verticalmente che orizzontalmente ma le permette di girare
- Se applichiamo all'estremità della chiave una **forza F**, abbiamo un braccio dato dalla lunghezza della chiave inglese, e una coppia data dalla forza che applichiamo e dalla forza che la testa del bullone fa verso l'alto che impedisce al sistema chiave-bullone di traslare ma permette di ruotare, momento di questa coppia sempre  $M=Fb$
- Qualunque forza F applichiamo, il vincolo applica sempre la forza necessaria a tenere il corpo fermo, cioè  $-F$
- Possiamo quindi ignorare la forza vincolare e considerare il momento della forza F
- Forza che applichiamo su chiave inglese è verticale, se applicassimo forza orizzontale saremmo sulla stessa retta =>risultante 0 =>chiave non gira  
=>forze orizzontali compensate dal vincolo, forze verticali non vengono compensate
- **Se applico forza obliqua**, la componente orizzontale della forza va a essere equilibrata dal vincolo, la componente verticale non è equilibrata e provoca il momento =>rotazione  
la forza F va scomposta in:  $F_{\perp}$  (perpendicolare) e  $F_{\parallel}$  (parallelo)  
Se c'è angolo teta  $\theta$  tra la verticale e la direzione di applicazione della forza possiamo dire  $F_{\parallel}$  parallela al braccio viene compensata dal vincolo =>ignorata perché non crea momento, mentre la componente perpendicolare  $F_{\perp}$  viene considerata perché crea momento  $F_{\perp} = F \cdot \cos \theta$

Es. 1

Calcola il momento della forza applicata  $F = 150 \text{ N}$ ,  $B = 0,3 \text{ m}$

$$M = F \cdot b = 150 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} = 45 \text{ Nm}$$

Forza risultante = somma forze,  
Momento risultante = somma momenti

### Somma di momenti

Se ad un corpo vengono applicati più momenti, i loro effetti si sommano:

es. Asta con triangolo che rappresenta il vincolo (snodo/cerniera); asta può girare intorno al

vertice del triangolo. Abbiamo 2 forze verticali  $F_1$  applicata a distanza  $b_1$  e  $F_2$  a distanza  $b_2$

Entrambe verticali => entrambe creano momento, MA  $F_1$  ha il verso dall'alto verso il basso,  $F_2$  ha

il verso dal basso verso l'alto →effetto sull'asta orizzontale:  $F_2$  provoca movimento antiorario

quindi il momento della forza  $F_2$  è un momento positivo,  $F_1$  provoca rotazione oraria dell'asta

quindi il momento è negativo

Il momento risultante è dato dalla somma algebrica dei 2 momenti:  $M_r = -F_1 b_1 + F_2 b_2$

Se i 2 momenti sono uguali e opposti, la risultante sarà pari a 0.

### Equazioni cardinali della statica

$$\vec{R} = 0 \text{ (risultante delle forze)}$$

$$\vec{M}_r = 0 \text{ (risultante dei momenti)}$$

Corpo sul piano può traslare (2 traslazioni lungo x e y) e può ruotare (una sola rotazione lungo l'asse verticale)

G.D.

La condizione necessaria e sufficiente affinché un corpo sia in equilibrio è che siano nulli la risultante delle forze e il momento risultante.

Se  $\vec{R} = 0$ , il corpo non trasla, ma può ruotare. (sempre con forze uguali e opposte)

Se  $\vec{M}_r = 0$ , il corpo non ruota (e non può traslare). =>fermo

Se entrambe sono pari a 0, il corpo è immobile.

Es.2

Sistema: Forza diretta verso il basso vale 100N, il braccio di questa forza vale 0,4 m. La forza diretta verso l'alto è l'incognita e il suo braccio vale 1 m.

Calcola il valore di  $F_2$  necessario a tenere l'asta in equilibrio (in posizione orizzontale) e il valore di  $R_V$  (reazione vincolare dello snodo) ->per tenere in equilibrio il sistema anche il vincolo deve esercitare una forza, senza il vincolo non si riesce a tenere in equilibrio il sistema

Dobbiamo considerare l'equilibrio dei momenti rispetto al punto dove c'è il vincolo all'estremità sinistra della barra

(Momento dovuto alla prima forza:  $M = F \cdot b = 100 \cdot 0,4 = 40 \text{ Nm}$ )

$$M_r = -F_1 b_1 + F_2 b_2$$

$$0 = -F_1 b_1 + F_2 b_2 \rightarrow F_2 = \frac{F_1 b_1}{b_2} = \frac{100 \cdot 0,4}{1} = \mathbf{40N}$$

Perché ci sia equilibrio il momento risultante dev'essere 0

Sistema in equilibrio perché:  $100 \cdot 0,4 = 40N$  *negativo* ( $-40N$ ) perché fa girare in senso orario,  $\frac{40}{1} = 40N$  *positivo* perché fa girare in senso antiorario =>  $-40 + 40 = 0 \rightarrow$  *equilibrio*

Perché il sistema sia in equilibrio oltre che al momento risultante = 0 serve anche la risultante delle forze = 0

Ma le forze non sono uguali, una è **40 N**, l'altra è da 100 N quindi se non vogliamo che il corpo trasli (verso il basso perché forza  $F_1$  da 100 N è più grande) c'è bisogno di una terza forza che tenga il sistema in equilibrio:  $F_1$  da 100N va in giù,  $F_2$  da 40N va in su =>ho bisogno di una terza forza da 60N che vada in su

**La reazione vincolare deve soddisfare la prima equazione della statica:**

$$R_V - F_1 + F_2 = 0 \rightarrow R_V = 60N$$

Considerando asse y verticale: forze verso il basso negative, forze verso l'alto positive

### Il polo dei momenti

Per tenere in equilibrio il sistema dobbiamo calcolare la somma dei momenti.

Quale punto del sistema va scelto per calcolare i bracci delle forze e quindi i momenti?

Se un sistema è in equilibrio, lo è in qualunque modo vada a calcolare le cose, quindi possiamo calcolare il punto rispetto al quale calcoliamole distanze ->possiamo considerare un punto qualsiasi perché le equazioni ci torneranno sempre, se il sistema è in equilibrio lo è qualunque polo io consideri

MA non va scelto a caso, **se lo scegliamo in modo intelligente ci semplifichiamo i calcoli**

Nell'esercizio precedente: abbiamo calcolato i bracci b rispetto al vincolo, ma avremmo potuto scegliere un punto qualsiasi, per esempio O

Prendendo l'esempio dell'es. precedente: come polo scelgo il punto in cui è applicata la forza di 100N (=>polo dista 0,4m rispetto a un estremo e 0,6m rispetto all'altro)

Per calcolare l'equilibrio dei momenti la forza verticale non la dobbiamo considerare perché passa esattamente per quel punto e quindi a braccio 0 =>scompare dall'equazione =>2 incognite  $F_2$  e  $R_V$ , =>non possiamo risolvere il problema =>possiamo scegliere polo qualsiasi (sistema sarà sempre in equilibrio ma **scegliarlo in modo intelligente**) ->scegliere polo all'estremità dell'asta perché

G.D.

reazione vincolare passa esattamente per quel punto => non dovremo considerare momento della reazione vincolare e allo stesso tempo abbiamo forza 100N che conosciamo

#### 4. b) LEZIONE: Leve e momenti nello sport

- La **leva** è una macchina semplice utilizzata per **amplificare la forza** -> per sollevare pesi che forza umana da sola non riuscirebbe a sollevare
- E' costituita da: una barra allungata e un punto fisso (fulcro) che può stare in qualsiasi posizione (a differenza del sistema della lezione precedente in cui il vincolo era all'estremità).
- Possono essere applicate la forza motrice o forza ( $F_m$ ) es. forza applicata dalla persona, forza resistente o resistenza ( $F_r$ ) che di solito si identifica con il peso, es. peso del masso da sollevare, il braccio della forza motrice ( $b_m$ ) (distanza della  $F_m$  dal fulcro) e il braccio della forza resistente ( $b_r$ ) (distanza  $F_r$  dal fulcro)
- All'equilibrio (se tutto il sistema è fermo) si avrà:  $M_m = M_r \rightarrow F_m \cdot b_m = F_r \cdot b_r$   
-> Il momento della forza motrice è uguale al momento della forza resistente  
(forza motrice per braccio forza motrice è uguale alla forza resistente per il braccio della forza resistente)
- Un momento tende a far ruotare corpo in senso orario (es. in questo caso momento  $F_r$ ) e l'altro momento in senso antiorario => uno fa girare corpo in un senso, l'altro nel senso opposto

**Guadagno della leva:** (guadagno meccanico di forza) è il rapporto tra  $F_r$  e  $F_m$

$$G = \frac{F_r}{F_m} = \frac{b_m}{b_r} = \text{guadagno meccanico della leva}$$

$G > 1 \rightarrow$  leva vantaggiosa  
 $G < 1 \rightarrow$  leva svantaggiosa  
 $G = 1 \rightarrow$  leva indifferente

una leva che risulta favorevole allo spostamento di un peso; dato dal rapporto fra le forze e l'inverso del rapporto tra le braccia delle leve.

Es.  $F_r$ : massa di 300kg,  $\vec{P} = m\vec{g}$ ,  
 quindi  $300 \cdot 9,8 = ca. 3000 N$   
 $F_m = 1000N$  (forza applicata dalla persona p.e.)  
 $G = \frac{3000}{1000} = 3$  (=guadagno vantaggioso perché maggiore di 1)

Se guadagno minore di 1 es.  $F_m = 1000N$  riusciamo a sollevare  $F_r = 500 N$  -> guadagno =  $\frac{1}{2}$

Leva indifferente solitamente non usata, però ha altre funzioni come es. dondolo al parco giochi (ha fulcro + bracci uguali) -> sollevo forza uguale da entrambe le parti

Più il braccio della leva dalla parte della forza motrice ( $b_m$ ) è lungo, più la leva è vantaggiosa



#### Molta forza = poco spostamento

- Se moltiplichiamo la forza, guadagno non è gratis -> andiamo a perdere sullo spostamento
- Braccio lungo: forza che applichiamo si sposta di molto, spostamento/ sollevamento del peso (es. masso) molto piccolo -> Guadagno sulla forza si paga con una perdita sullo spostamento
- Leva con grosso guadagno di forza, per spostare l'oggetto ( $F_r$ ) devo fare un grosso spostamento della forza motrice  $F_m$

Es.1 : Calcola il guadagno della leva

$b_m = 75\text{cm}$ ,  $b_r = 25\text{cm}$

$$G = \frac{b_m}{b_r} = \frac{75}{25} = 3$$

**Nessuna unità di misura perché è un rapporto tra 2 grandezze omogenee -> numero puro**

Quella che si conserva è l'energia, cioè il lavoro meccanico che produciamo, lavoro = forza per spostamento, quindi se la forza è grande lo spostamento è piccolo

G.D.

In una leva il lavoro è uguale, infatti:  $F_m \cdot s_m = F_r \cdot s_r$

### Le leve nel canottaggio

- remo di punta: atleta ha un solo remo, remo di coppia: ne ha 2
- $F_m$  è la forza muscolare del vogatore, il fulcro è lo scalmò (= il punto dove il remo si appoggia alla struttura della barca, punto fisso), la resistenza  $F_r$  esercitata dall'acqua (la forza idrodinamica esercitata sulla pala del remo) e il braccio della resistenza (più lungo)
- **leva svantaggiosa:** braccio forza motrice più piccolo del braccio forza resistente  
->se applico forza 100, magari in acqua si scarica forza di 20N  $\frac{b}{a} < 1 \rightarrow$  *leva svantaggiosa*
- perché? -> se provo a spostare il fulcro => provo a rendere la leva meno svantaggiosa, quello che guadagno come forza, lo perdo in termini di spostamento
- l'escursione del vogatore  $\vec{E}_i$  rimane la stessa ma lo spostamento del remo è molto diverso: fulcro verso l'estremità =>remo fa grande spostamento ("passata in acqua" molto lunga), fulcro al centro =>lo spostamento si riduce (->guadagno di forza, perdita di spostamento) =>dato che il senso della gara è andare veloci (qui spostarsi più velocemente possibile) serve leva svantaggiosa (con leva vantaggiosa ad ogni colpo di remo faccio magari 20cm, quindi devo fare migliaia di colpi per percorrere lunga distanza)  
MA neanche troppo svantaggiosa perché se mettessi il fulcro/scalmò a pochi centimetri dal punto di applicazione della forza, farei spostamento enorme ma per muovere la barca dovrei applicare un forza muscolare gigantesca =>compromesso tra forza e spostamento

$b = b_m$ $a = b_r$
------------------------

A parità di escursione, più lontano è il fulcro (dalla barca), più corta è la passata in acqua

Es.2

$a = 2,6m, b = 0,85m \quad G_i = \frac{b}{a} = \frac{0,85}{2,6} = 0,327 \approx 0,33$

Calcola la variazione di G se spostiamo il fulcro a sinistra di 5cm.

$a = 255cm = 2,55 m, b = 90cm = 0,9m \quad G_f = \frac{b}{a} = \frac{0,9}{2,55} = 0,352 \approx 0,35$

$(\Delta G = 0,02; \Delta G\% = \frac{0,02}{0,33} \cdot 100 = 5,7\%)$  ->variazione del guadagno diviso guadagno iniziale

$G_i =$ rapporto iniziale $G_f =$ rapporto finale
--

### A titolo di informazione ➔ Bilancio di forze nel kayak:

anche la pagaia del kayak può essere vista come una leva, ma differenza del canottaggio non abbiamo fulcro/scalmò, pagaia non ha punto fisso => rappresentazione con fulcro in acqua, perché il punto in cui entra in acqua la pagaia è quasi un punto fisso (pagaia si impunta e barca avanza) ma c'è comunque movimento ->rappresentazione grosso modo come se fosse una leva con fulcro all'estremità con 2 forze applicate dal vogatore, una che tira e una che spinge

### La fisica della pedalata

L'equilibrio alla corona (ci focalizziamo solo su un lato/un pedale)

leva non immediatamente identificabile (è un cerchio), ma abbiamo: punto fisso/fulcro che è il mozzo (movimento centrale, il centro della corona), forza applicata (atleta agisce sul sistema applicando forza all'estremità della pedivella)

➤ Momento motore: la forza motrice dell'atleta per il raggio della pedivella (lunghezza pedivella)

➤ Momento resistente: Tensione della catena per il raggio della corona

è applicato dalla catena, quando faccio forza muovo la catena, se salta la catena si pedala nel vuoto, perché la forza resistente che teneva in equilibrio dinamico (perché bici si muove, corona che ruota a velocità angolare costante, quindi equilibrio dinamico)

equilibrio dinamico alla corona ➔i 2 momenti in equilibrio sono uguali  $F_m \cdot r_p = T \cdot r_c$

G.D.

### Equilibrio al pignone (mozzo della ruota posteriore)

È dato:

- ↳ dalla tensione della catena (T) -> uguale a quella nell'equilibrio della corona perché catena dev'essere in equilibrio, tensione uguale da entrambe le parti
- ↳ Raggio/braccio di questa forza vale quanto il raggio del pignone (raggio molto piccolo)
- ↳ Forza resistente ( $F_a$ ) data da gli attriti: attrito sulla strada e attrito con l'aria (frena ciclista)  
-> forza che si trasmette attraverso il punto di contatto tra la ruota e il terreno
- ↳ Raggio/braccio di questa forza è il raggio della ruota

Equilibrio al pignone che è un equilibrio di momenti e un equilibrio dinamico:  $T \cdot r_p = F_a \cdot r_r$

Tensione della catena per il raggio del pignone uguale alla forza di attrito per il raggio della ruota

=> un equilibrio dinamico alla corona e un equilibrio dinamico al pignone

### **Il rapporto di trasmissione**

- Corona e pignone non hanno lo stesso raggio, trasmissione è fatta in modo da moltiplicare e demoltiplicare
  - Abbiamo: raggio corona  $r_c$  e raggio pignone  $r_p$  -> sono ruote dentate e per motivi costruttivi meccanici, il rapporto tra i raggi di corona e pignone è uguale esattamente al rapporto tra il numero di denti (Z) della corona e del pignone
- Rapporto di trasmissione: rapporto tra il numero di denti Z della corona e il numero di denti del pignone uguale al rapporto tra i raggi

$$\frac{r_c}{r_p} = \frac{Z_c}{Z_p}$$

### **Equilibrio dei momenti alla corona e equilibrio dei momenti al pignone non sono uguali:**

Perché la forza T è la stessa però da una parte abbiamo il raggio della corona  $r_c$  che è più grande e dall'altra il raggio del pignone  $r_p$  più piccolo: momento alla corona è > del momento al pignone, perché  $r_c > r_p$  =>  $T \cdot r_c > T \cdot r_p$

-> trasmissione non conserva il momento uguale tra corona e pignone, infatti è fatta proprio per questo, se non metteremmo 2 ruote uguali allora avremmo trasmissione uguale del momento MA invece serve a moltiplicare il numero di giri, perché noi non vogliamo che a un giro della pedivella corrisponda un giro della ruota, perché se non faremmo tante pedalate per avanzare di poco -> ci serve dispositivo che moltiplica questo spostamento e questo rapporto di moltiplicazione è il rapporto di trasmissione

Significa che se noi facciamo fare un giro alla corona (un giro alla pedivella) dall'altra parte avremo tanti giri del pignone e quindi tanti giri della ruota

Poiché il momento si riduce, lo spostamento si moltiplica:

se la corona fa 1 giro, il pignone ne fa  $n_p = \frac{r_c}{r_p}$

Es. 3 : Calcola la distanza percorsa con un giro della pedivella

Si ha  $Z_c = 42$ ,  $Z_p = 14$ ; il raggio della ruota è  $r_r = 340$  mm (distanza dal mozzo al punto di appoggio al suolo).

$$n_p = \frac{Z_c}{Z_p} \cdot n_c = \frac{42}{14} \cdot 1 = 3$$

-> rapporto di trasmissione è 3: se faccio un giro della corona ne faccio 3 del pignone (=> della ruota)

Quanto vale un giro della ruota? -> circonferenza del cerchio:

$$d = 2\pi \cdot r_r \cdot n_p = (3,14 \cdot 2) \cdot 0,340 \cdot 3 = 6,4m$$

$Z_c$ = denti della corona
$Z_p$ = denti del pignone
$r_r$ = raggio ruota
$n_p$ = numero giri pignone/ruota

G.D.

Distanza percorsa = numero di giri che fa il pignone/la ruota, moltiplicata per la circonferenza della ruota (facendo 3 giri di ruota completi percorro 6,4m)

→ nelle bici almeno 2 corone (mountain bike anche 3) e grosso numero di pignoni 10, 11, 12 → rapporto  $\frac{Z_c}{Z_p}$  lo posso configurare in tanti modi: se abbiamo 2 corone e 10 pignoni ho 20 possibili

rapporti, e a ogni possibile rapporto corrisponde una distanza percorsa diversa

Ma come scelgo il rapporto? Perché non metto la corona più grossa e il pignone più piccolo?

=> Perché mi richiede una forza immensa per spingere sulla pedivella e vincere la forza resistente data dagli attriti => questione di compromesso

## 5. a) LEZIONE: L'equilibrio dei liquidi

### La pressione

- è il rapporto tra la forza applicata a una superficie e l'area della superficie.  
es. alpinista che sprofonda nella neve con le scarpe, usando le racchette riesce a camminare la forza che agisce sulla neve è distribuita su una superficie maggiore => la neve non cede
- è data da:  $p = \frac{F}{A}$  ed è una grandezza scalare
- nel SI la pressione si misura in Pascal (Pa) e si ricava da:  $1 Pa = \frac{1 N}{1 m^2}$
- Il Pa è molto piccolo, per questo motivo si usano spesso altre unità, quali il bar ( $1 bar = 10^5 Pa$ ) e l'atmosfera ( $1 atm = 1,01 \cdot 10^5 Pa$ )  $\approx 1 bar$
- Corpi solidi esercitano pressione ma anche i liquidi, es. caraffa con acqua su un tavolo, forza peso dell'acqua acqua agisce sul fondo della caraffa e esercita pressione sul tavolo
- Calcolo pressione:

Caraffa cilindrica => calcolo volume dell'acqua nella caraffa: area di base per l'altezza

- Peso:  $P = m \cdot g = d \cdot V \cdot g = d \cdot A \cdot h \cdot g$       => peso = densità per area di base per altezza per accelerazione gravità  
Peso liquido = massa per g (accelerazione gravità)  
massa = densità per il volume  
volume = area di base per altezza

- Pressione:  $p = \frac{P}{A} = \frac{d \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = d \cdot g \cdot h$  (divisione forza applicata per l'area)

$p$  = pressione  
 $P$  = peso

**LEGGE DI STEVIN:**  $p = d \cdot g \cdot h$  (pressione applicata su superficie di appoggio)

-> pressione esercitata da una colonna liquida dipende dalla densità del liquido e dall'altezza della colonna (e dall'accelerazione di gravità che è costante). E' interessante notare che essa NON dipende dalla forma (forma imbuto, rettangolare, cilindrica,... -> pressione non cambia)

**All'interno del liquido:** la pressione cresce con la profondità e perciò dipende dall'altezza.

La pressione si esercita con la stessa intensità in ogni direzione (in particolare sulle pareti del recipiente).

$$p_1 = d \cdot g \cdot h_1$$

$$p_2 = d \cdot g \cdot h_2$$

$$p_3 = d \cdot g \cdot h_3$$

Andiamo a prendere superficie orizzontale qualsiasi ad altezza  $h_1, h_2, h_3, \dots$  all'interno del liquido, quello che pesa su questa superficie è la colonna d'acqua sovrastante -> sulla superficie ad altezza  $h_1$  ci sarà pressione  $d \cdot g \cdot h_1$ , ecc.

→ man mano che scendiamo all'interno del liquido, la pressione diventa sempre più grande

Es. sott'acqua al mare, man mano che si va in profondità si sente pressione dell'acqua sui timpani che diventa sempre più intensa

La pressione si esercita allo stesso modo/con la stessa intensità qualunque posizione si assuma, se si sta a 5m di profondità, la pressione in qualunque modo si orienti la testa/in qualsiasi modo ci si giri, in tutte le direzioni la pressione è uguale

G.D.

=>in particolare sulle pareti del recipiente, il liquido applica una pressione non solo verticalmente, ma anche orizzontalmente sulle pareti -> più scendiamo più la pressione è grande (le pareti delle dighe in basso sono sempre più spesse)

Es.1

Sezione di una piscina semiolimpica (25m): da una parte profondità 1.80m, dall'altra 1.20m

Calcola la pressione massima sul fondo della piscina.

$$p = d \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,8 \cdot 1,8 = 17640 \text{ Pa}$$

->legge di Stevin, densità acqua = 1000 kg/m<sup>3</sup>

**! OGNI METRO CHE SCENDIAMO SONO 10.000 PASCAL !**

**➔ a 10m sono 100.000 Pascal => 1 bar**

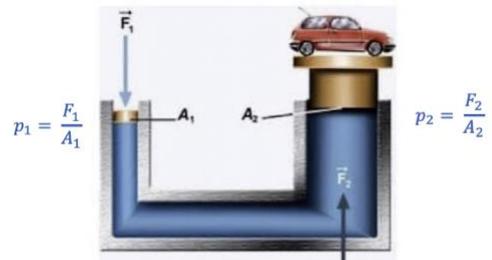
"Ogni 10m un bar, come ad Ibiza"

-cit. Nunzio il sommo



**Il principio di Pascal** dice che: un aumento di pressione applicato in un punto del liquido si trasmette con la stessa intensità in ogni parte del contenitore/del liquido.

Se abbiamo contenitore con un liquido (es. bottiglia d'acqua) e applichiamo una pressione in un punto, questa pressione si trasmette in tutto il resto del volume liquido -> dipende anche dal fatto che i liquidi sono incompressibili => conservano il loro volume anche se si applica una forza



$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

Su questo principio si basa il **martinetto idraulico**/torchio idraulico/leva idraulica:

- 2 cilindri (uno piccolo e uno grande) collegati tramite un canale
- Se applico forza  $F_1$  sul cilindro piccolo (ha una superficie  $A_1$ , parte dorata) produco in quel punto una pressione  $p_1 = \frac{F_1}{A_1}$  che si trasmette identica in tutto il resto del circuito e quindi anche nel secondo cilindro (trascuriamo pressione idrostatica, non consideriamo la differenza di pressione tra la cima e il fondo del cilindro, consideriamo solo la pressione applicata dall'esterno) e ritroviamo la stessa pressione ma applicata su una superficie più grande  $p_2 = \frac{F_2}{A_2}$
- Uguaglio le due pressioni =>  $F_2 = F_1$  moltiplicato per coefficiente  $\frac{A_2}{A_1}$
- Siccome  $A_2$  è molto più grande di  $A_1$  questo coefficiente è, maggiore di 1 => guadagno
- **Guadagno della leva** = rapporto tra la forza che riusciamo a esercitare attraverso la leva e quella che applichiamo con i nostri muscoli  
➔ qui invece che essere sbarra di ferro che trasmette la nostra forza e la amplifica in questo caso è un circuito idraulico
- PERÒ c'è fregatura: noi guadagniamo in forza però siccome volume dell'acqua è costante, tanta acqua esce dal cilindretto piccolo, tanta ne deve entrare dal cilindro grande, siccome quello ha una superficie più grande la sua altezza sarà più piccola -> da una esce volume parte lungo e stretto, dall'altra volume basso e largo quindi se abbiamo un guadagno di 20, per sollevare la macchina di 1 cm dobbiamo abbassare la leva/il pistone nel cilindretto piccolo di 20cm

Es.2

Calcola il valore di  $F_1$  necessario a sollevare l'auto. (forza che dobbiamo applicare noi)

$$m = 800 \text{ kg}$$

$$A_1 = 0,1 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2 \text{ m}^2$$

Per far sì che la pressione sia la stessa con un'area maggiore necessariamente la forza deve aumentare -> se cambia l'area cambia necessariamente la forza  
MARTINETTO: moltiplica forza ma riduce lo spostamento

$$P = m \cdot g$$

G.D.

$$F_2 = m \cdot g = 800 \cdot 9,8 = 7840 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 \cdot \frac{A_1}{A_2} = 7840 \cdot \frac{0,1}{2} = 392 \text{ N}$$

->forza 20 volte più piccola perché il guadagno di questa leva idraulica è 20, riusciamo a sollevare un peso 20 volte superiore alla forza che applichiamo

**Il principio di Archimede** dice che: un corpo immerso in un liquido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del liquido che sposta. Questa spinta si chiama forza di Archimede o spinta idrostatica. (corpo riceve spinta dal liquido)

➔ *se corpo sta tutto dentro l'acqua*, il volume di liquido spostato è uguale al volume del corpo, il peso dell' acqua spostata è la massa di acqua spostata per l'accelerazione di gravità

➔ *Se il corpo galleggia*, la spinta di Archimede è uguale al peso solo della parte di corpo che sta sott'acqua (qui  $V_i$  = volume del corpo immerso) ↪ (non a tutto il volume del corpo!)

$$F_A = m_l \cdot g = d_l \cdot V_i \cdot g$$

Forza di Archimede = densità del liquido per il volume immerso per l'accelerazione di gravità

Corpo immerso in un liquido il suo peso  $P$  sarà  $P = m_c \cdot g = d_c \cdot V \cdot g$  (massa del corpo per g) e la spinta di Archimede che riceve sarà  $F_A = m_l \cdot g = d_l \cdot V \cdot g$

->dato che tutto il corpo è immerso il volume dell'acqua spostata è esattamente il volume del corpo

$V$  e  $g$  si compensano/ si annullano

=> Se prevale il peso o la spinta di Archimede dipende soltanto dalla densità:

Se  $d_c > d_l$  il corpo affonda (se il corpo è più denso dell'acqua, prevale il peso =>affonda)

Se  $d_c < d_l$  il corpo risale (se il corpo è meno denso dell'acqua (più leggero), prevale spinta)

A questo punto il corpo risale, ma fino a quando? Fino a che si raggiunge un **equilibrio al galleggiamento** (arriva in superficie e si stabilizza, una parte del corpo sott'acqua e una parte del corpo sopra l'acqua). Il rapporto tra il volume immerso e il volume totale è uguale al rapporto tra densità del corpo e densità del liquido.

Forza peso e spinta di Archimede sono identiche

$$P = F_A \rightarrow d_c \cdot V \cdot g = d_l \cdot V_i \cdot g \rightarrow \frac{V_i}{V} = \frac{d_c}{d_l}$$

RICORDA:

corpo in equilibrio quando forze applicate hanno risultante nulla

Peso = forza di Archimede -> densità del corpo per il volume complessivo del corpo per acc. gravità = densità del liquido per il volume immerso (che è massa del liquido spostato) per g

Eliminando g => volume immerso sta al volume complessivo come la densità del corpo sta alla densità del liquido

Queste frazioni sono sempre minori di 1, perché volume immerso è sempre più piccolo del volume complessivo e la densità del corpo è più piccola della densità del liquido (perché sennò affonderebbe)

Es.3

Calcola il volume immerso.

$$d_c = 600 \text{ kg/m}^3$$

$$d_l = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 2 \text{ m}^3$$

$$\frac{V_i}{V} = \frac{d_c}{d_l} \rightarrow V_i = \frac{d_c}{d_l} \cdot V \rightarrow V_i = \frac{600 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} \cdot 2 \text{ m}^3 = 1,2 \text{ m}^3$$

=>il corpo ha 1,2 m<sup>3</sup> immersi sott'acqua e il resto quindi 0,8 m<sup>3</sup> fuori dall'acqua

**5. b) LEZIONE: L'equilibrio dei liquidi nello sport (leggi dell'idrostatica in campo sportivo)**

- **Equilibrio dinamico delle forze su un nuotatore** (che nuota a velocità costante): sul nuotatore agiscono il peso e la spinta di Archimede ->forze verticali e la propulsione (prodotta da braccia e gambe) e la resistenza del mezzo (attrito idrodinamico/drag)->forze orizzontali. All'equilibrio sappiamo che le 4 forze hanno risultante nulla ma anche che devono essere a risultante nulla le 2 forze orizz e le 2 forze vert => peso = forza Archimede, propulsione = drag
- nuotatore con la muta: ha vantaggio -> gomma è più leggera del corpo umano nel suo complesso quindi la densità del sistema nuotatore+muta è minore della densità del nuotatore da solo ->nuotatore **con muta galleggia di più**  
=>il volume immerso diminuisce e si riduce anche la area/sezione frontale del corpo che avanza e di conseguenza il drag (resistenza dell'acqua). Acqua molto più densa dell'aria, quello che conta ai fini del drag è quanto grande è la parte che sta sott'acqua -> offrendo superficie minore frontalmente all'avanzamento il drag è minore => più veloce

Altro esempio: aliscafo

$$R = kv^2 = c\rho Av^2$$

**Corpo in acqua riceve una spinta verso l'alto. Ma da dove arriva il principio di Archimede?**

Legge di Stevin -> conseguenza del fatto che il liquido è pesante. Più andiamo giù, più è grande la pressione che il liquido applica in tutte le direzioni (contro le pareti del corpo).

Cubetto immerso: pressione che agisce su tutte le superfici del corpo (più giù andiamo, più pressione c'è)

Pareti laterali (4): per ogni forza che agisce in una direzione (dovuta alla pressione a quella profondità), ce n'è una uguale e contraria (ogni freccia ha una controparte) =>si annullano (R=0)

Faccia superiore e inferiore (2):

Forza faccia superiore:  $F_{sup} = p_1 \cdot A = d_l \cdot g \cdot h_1 \cdot L^2$

Forza faccia inferiore:  $F_{inf} = p_2 \cdot A = d_l \cdot g \cdot (h_1 + L) \cdot L^2$

$$R = F_{inf} - F_{sup} = d_l \cdot g \cdot L^3 = m_l \cdot g$$

$L^2$ = superficie del cubo  
 $d_l$ = densità liquido  
 $h_2 = (h_1 + L)$   
 ↳  $h_1$  dalla superficie dell'acqua fino a faccia superiore, aggiungendo L verticalmente =>  $h_2$

Sottrazione: forza lato inferiore – forza lato superiore:  $d_l$  e  $g$  stanno in entrambi i termini della sottrazione e rimangono, termine con  $h_1 \cdot L^2$  si elimina e rimane  $L \cdot L^2$   
 $d_l$  (densità)  $\cdot L^3$  (volume) = massa => **Forza risultante**: massa del cubetto per acc. gravità, uguale al peso dell'acqua spostata

Quindi forza di Archimede non è una forza a se stante, è l'effetto della legge di Stevin  
 →Applicando la legge di Stevin sulle facce del cubo si verifica che la spinta di Archimede non è altro che la risultante delle forze di pressione. E' in pratica la risultante delle forze di pressione dovute/applicate dalla legge di Stevin.

Tutte le forze che agiscono su un corpo applicate dal liquido in cui il corpo è immerso si manifestano come forze di pressione (come differenze di pressione da una parte all'altra del corpo)

**Nuotatore**: bracciata a stile libero per avanzare-> vuole applicare propulsione: sposta la sua mano all'indietro -> differenza di pressione tra il palmo della mano e il dorso (es. analogo: pallina da golf che avanza nell'aria-> dietro la pallina si crea una zona di turbolenza in cui la pressione è minore, significa che la pressione che si oppone all'avanzamento/nella direzione opposta all'avanzamento è più grande, quella dietro è piccola perché le particelle invece che collaborare a spingere si attorcigliano (disperdono energia facendo vortici) e quindi la pressione che applicano è più bassa

G.D.

↳ Un nuotatore, per avanzare, genera un campo di forze di pressione attorno alle mani: sul palmo si ha una sovrappressione, sul dorso una depressione.

Da questa differenza di pressione si genera una risultante che la fa avanzare, più la nuotatrice porta la mano all'indietro, più produce differenza di pressione che la fa avanzare

Es.1

Calcola la propulsione generata dalla nuotatrice.

$$A = 160 \text{ cm}^2$$

$$P_p = 1,2 \cdot 10^4 \text{ Pa} (= 12.000 \text{ Pa})$$

$$P_d = 8 \cdot 10^3 \text{ Pa} (= 8.000 \text{ Pa})$$

$A$  = area della mano

$P_p$  = pressione sul palmo

$P_d$  = pressione sul dorso

$F_p$  = forza sul palmo

$F_d$  = forza sul dorso

!! Trasformare superficie in  $m^2$ :  $A = 160 \text{ cm}^2 = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$  (divisione per  $10^4$ )

$$F_p = P_p \cdot A = 1,2 \cdot 10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} = 192 \text{ N}$$

$$F_d = P_d \cdot A = 8 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} = 128 \text{ N}$$

$$R = F_p - F_d = 192 \text{ N} - 128 \text{ N} = 64 \text{ N}$$

=>64 N è la propulsione che la nuotatrice riesce a generare con il movimento della sua mano

### Forze agenti su una barca

#### **Il centro di spinta**

Legge di Stevin dà luogo a forza di Archimede -> frecce dirette perpendicolari a superficie della barca e la loro risultante è la forza idrostatica diretta verso l'alto

Quando una barca viene immersa nell'acqua, la forza idrostatica è applicata al baricentro C del volume immerso della barca (che non coincide con il baricentro di tutta la barca)

Questo punto prende il nome di centro di spinta, o **centro di carena**.

#### INFO

Peso applicato in punto immaginario detto baricentro (centro distribuzione di massa di un corpo)

Situazione simmetrica rispetto a un piano centrale, i 2 centri (centro gravità e centro carena) si trovano sulla mezzeria: il baricentro (G) o il centro di spinta (C) di una barca possono variare di posizione => C può trovarsi sotto G, sopra G o coincidere con G

Dalla posizione relativa dei 2 centri dipende la stabilità della barca -> come la barca si comporta se viene inclinata

- Se G è sopra a C: se la barca s'inclina, la forza peso e la forza di Archimede che inizialmente erano dirette lungo la stessa retta ed erano uguali e contrarie quindi in equilibrio (barca ferma), se incliniamo la barca la forza peso rimane costante, l'intensità della forza di Archimede invece varia (volume immerso è cambiato) e varia anche il suo punto di applicazione -> prima era parallelepipedo, adesso forma sghemba/obliqua => centro di carena si è spostato sulla destra, le forze che inizialmente agivano sulla stessa retta ora formano una coppia (una che va giù e una che va su) che tende a raddrizzarla. Situazione rimane finché M resta sopra al baricentro (=metacentro, punto di incontro tra il piano di mezzeria della barca e la retta d'azione della spinta idrostatica)

Ma se l'inclinazione è eccessiva, il metacentro M finisce sotto G, la coppia da raddrizzante diventa ribaltante, forza peso si trova più a destra della forza di Archimede e la barca è instabile si ribalta/scuffia.

POSSIBILI SOLUZIONI:

#### ➔ **Stabilità di peso**

Zavorrando la barca (mettendo peso sul fondo della barca) la si rende più stabile, G finisce sotto C -> G si sposta in basso (baricentro dipende da come le masse sono distribuite) e la coppia è sempre raddrizzante. (spinta di Archimede tira su, peso tira giù => stabile)

Ovviamente appesantendo la barca si hanno conseguenze nella manovrabilità, idrodinamica -> aumenta perché abbasso la linea di galleggiamento -> più resistenza idrodinamica (negativo)

G.D.

Es.2

Calcola l'intensità della coppia raddrizzante.

$$m = 1200 \text{ kg}$$

$$X = 0,4 \text{ m}$$

$$M = m \cdot g \cdot X = 1200 \text{ kg} \cdot 9,8 \cdot 0,4 \text{ m} = 4704 \text{ Nm}$$

noi consideriamo che la spinta di Archimede sia uguale alla forza peso

$m$  = massa barca

$X$  = distanza che c'è tra la retta d'azione della gravità e la retta d'azione della spinta idrostatica

**Coppia** data da forza peso per il braccio

**Forza peso** = massa per  $g$

### → Stabilità di forma

G si trova al di sopra di C, ma X è molto grande e il metacentro rimane sempre sopra G.

↳ Catamarano (due scafi identici), centro di gravità e centro di carena sulla mezzeria della barca

Se inclino la barca, uno scafo esce dall'acqua, l'altro si immerge, la spinta di Archimede (che dipende dal volume immerso) sta tutta sullo scafo immerso e il baricentro rimane dov'era prima.

Grande distanza tra centro di gravità e centro di carena => il metacentro sta sempre in alto => barca stabilissima (senza lo svantaggio di essere appesantita)

### La forza del vento

la forza principale che agisce su una barca, la forza che crea la propulsione

navigando, forza del vento non di poppa ma al traverso, si creano dei momenti: la forza del vento tende a ribaltare la barca, la coppia tende a risollevarla (forza Archimede + forza gravità) => equilibrio della barca dipende dalla risultante di questi momenti

Forza del vento può essere molto forte ->  $F_v$  applicata nel baricentro della vela, genera un momento ribaltante. Per raddrizzare la barca (=compensare  $F_v$ ) uno o più membri dell'equipaggio si mettono al trapezio (si sporgono al di fuori della barca) generando un momento raddrizzante. =cambiare la geometria della barca (**polo dei momenti** possiamo sceglierlo come vogliamo) quindi le masse delle persone creano un braccio rispetto **al baricentro** -> crea momento dato dal peso di queste persone (più il braccio è grande più è grande il momento che tiene la barca in equilibrio)

### 6. a) LEZIONE: La velocità

Grandezze vettoriali identificate da 3 parametri: un modulo (intensità), una direzione e un verso

**Il vettore spostamento** unisce il punto iniziale e quello finale di un moto. Il modulo del vettore si misura in m.

Il vettore, quindi il modulo dello spostamento in generale non coincide con lo spazio (o distanza) percorso -> es. traiettoria/ distanza o spazio percorso ha diverse curve da A a B, spostamento invece è la freccia da A a B (lunghezza dello spostamento e della traiettoria sono diverse)

Distanza percorsa è grandezza scalare, non ha senso parlare di direzione es. tra Roma e Firenze c'è una distanza di 300km non do la direzione

Spostamento con cui facciamo un giro di pista oppure andiamo avanti e poi torniamo indietro → Punto iniziale e punto finale del percorso coincidono => spostamento è 0

Quando consideriamo velocità non ci interessa/non deve dipendere come sono messi punto iniziale e finale dello spostamento => quando parliamo di velocità quasi sempre parliamo della velocità media scalare (es. stavo andando a 100km/h, hai accelerato/rallentato ma noi solitamente parliamo di valori medi)

Si definisce **velocità media scalare** di un corpo il rapporto tra lo spazio/distanza percorso e il tempo impiegato a percorrerlo:

$$V_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$s$  = spazio percorso  
 $t$  = tempo

Nel SI si misura in **m/s**, ma è molto utilizzato anche il **km/h**

G.D.

Es.1: la V media a Monza (circuito)

Il circuito misura 5793m

Il record del giro è di 1' 21"046 (Barrichello su Ferrari, 2004)

Calcola la V media scalare.

$$1 \frac{km}{h} = \frac{1000 m}{3600 s} = \frac{1}{3,6} \frac{m}{s}$$

Converto tempo in secondi: 1' 21"046 = 60+21+0,46 = 81,046 s

$$V_m = \frac{s}{t} = \frac{5793 m}{81,046 s} = 71,48 \frac{m}{s}$$

$71,48 \frac{m}{s} \cdot 3,6 = 257,32 km/h$  -> velocità **media** sul percorso

**Velocità media** è un parametro/una misura **grossolana** perché in qualunque movimento/spostamento facciamo, andiamo a tratti più veloce, a tratti più piano -> velocità media non ci dà l'info su come noi abbiamo gestito la velocità, es. circuito di Monza: velocità varia tra 70 e 350 km/h (rettilinei vs. curve)

-> non ci dà un'indicazione esatta, quindi invece di considerare la velocità media lungo tutto il percorso, dobbiamo dividere in intervalli gli spazi percorsi. Misuriamo lo spazio percorso ogni tot secondi, quanti metri abbiamo percorso => dividendo otteniamo la velocità in quell'intervallo di tempo, ripetendo l'operazione otteniamo la velocità media per ogni intervallo

$$V_{m1} = \frac{s_1}{t_1 - t_0}, V_{m2} = \frac{s_2}{t_2 - t_1}, \dots$$

Quando misuriamo la velocità con uno strumento digitale, in effetti misuriamo sempre la velocità media in un piccolo intervallo; più piccolo è l'intervallo di campionamento, più è accurata la misurazione della distanza (e quindi di conseguenza della velocità media scalare che possiamo fare). -> con strumenti digitali p.e. il GPS misuriamo distanza percorsa in quell'intervallo e ricaviamo la velocità, es. campionando a 50 Hz diventa quasi funzione continua (vedi slide)

### Spostamenti sempre più piccoli

Partendo da A, consideriamo diversi intervalli

- Se riduciamo l'intervallo di tempo in cui misuriamo lo spostamento, anche il vettore spostamento diventa più piccolo
- Siccome parliamo di una curva, il vettore spostamento costituisce **la secante** (=in geometria un segmento che taglia la curva in 2 punti; in questo caso A e B)
- Per far avvicinare i punti, dobbiamo ridurre l'intervallo tra due campionamenti: A e B sempre più vicini (i 2 punti in cui la secante attraversa la curva) => intervallo sempre più piccolo

=> passaggio al limite:

Quando l'intervallo di tempo diventa piccolissimo, i punti A e B sono vicinissimi e la secante AB diventa tangente. Tutto ciò per arrivare alla velocità istantanea, avrà in ogni istante un vettore tangente alla curva che stiamo percorrendo

- Definiamo nuova grandezza: **la velocità**

Il rapporto tra la lunghezza dello spostamento e cui questo spostamento è avvenuto -> quando diventa molto piccolo:  $\Delta t \rightarrow 0$  limite per delta t che tende a 0 (intervallo sempre più piccolo) di delta s diviso delta t

$$\vec{V}_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta S}}{\Delta t} \quad \text{istantanea}$$

l'intervallo di tempo in  
l'intervallo di tempo

Qui la velocità è una **grandezza vettoriale**: velocità istantanea è il limite del rapporto tra spostamento e intervallo di tempo

G.D.

In ogni istante ha direzione tangente alla curva, quindi quando noi percorriamo la curva in ogni momento la velocità istantanea è un vettore che è diretto tangenzialmente alla curva che stiamo percorrendo -> in ogni punto ha un'altra direzione

L'intensità del vettore (vettore ha modulo, direzione e verso) dipende da quanto è grande lo spostamento che abbiamo fatto: più andiamo veloci, più metri percorriamo in quel (piccolo) intervallo di tempo e quindi più grande è il modulo della velocità istantanea

**In ogni istante la velocità istantanea di un corpo è tangente alla sua traiettoria**

**Riassunto:** quando ci muoviamo su una traiettoria qualsiasi, in ogni istante abbiamo una velocità che è un vettore tangente alla traiettoria che stiamo percorrendo (se la traiettoria è dritta, la tangente coincide con la direzione in cui ci stiamo muovendo)

**Tangente a una curva:** è una secante che taglia la curva in 2 punti infinitamente vicini

### Moto rettilineo uniforme:

moto più semplice che possiamo considerare, traiettoria rettilinea

Un moto rettilineo in cui la velocità in ogni istante è costante (la velocità istantanea  $\vec{V}_i$  in qualunque momento la andiamo a misurare, ha sempre lo stesso modulo (anche stessa direzione e stesso verso perché movimento lungo una retta)

Anche la velocità media scalare  $V_m$  è costante, e coincide in modulo con la velocità istantanea  $\vec{V}_i$  (es. se sto andando a 30 km/h sempre in qualsiasi momento, anche la velocità media sarà 30 km/h)

In natura non esistono moti rettilinei uniformi. (tutto accelera, rallenta o ha movimento ciclico)  
-> Principio di inerzia: corpo mantiene il suo stato di moto rettilineo uniforme se non è soggetto a forza -> di fatto questa situazione non si verifica mai perché il corpo sulla terra è sempre soggetto a forze (es. peso, attrito, resistenza del mezzo ecc) => in passato nessuno aveva mai osservato moto rettilineo uniforme (Galileo capì questa casa)

### Il grafico spazio-tempo

In ascissa (x) il tempo, in ordinata (y) lo spazio

Ogni punto del grafico rappresenta un istante in cui siamo andati a misurare la distanza percorsa e l'abbiamo rappresentata, es. 0s/0m, 1s/2m, 2s/4m, ... 4s/8m, 5s/8m, 6s/8m, 7s/8m (**differenza 0**)

In un grafico: se i **segmenti** sono **orizzontali** il **corpo è fermo**, se la **linea sale** il **corpo si muove**, se i segmenti sono rettilinei il moto è uniforme (a intervalli di tempo uguali corrispondono intervalli di spazio uguali). **Maggiore è l'inclinazione** del grafico (a parità di intervallo), **maggiore è la velocità**.

Es.2: la V nel grafico t-s

Calcola la  $V_m$  nei 3 segmenti del grafico

$$V_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{8}{4} = 2 \text{ m/s} \quad V_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \frac{0}{3} = 0 \text{ m/s} \quad V_3 = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} = \frac{9}{3} = 3 \text{ m/s}$$

Primo intervallo: in 4 sec abbiamo percorso 8m => 8 diviso 4

Secondo intervallo: in 3 sec non ci siamo mossi => velocità 0

Terzo intervallo: in 3 sec abbiamo percorso 9m

### 6. b) LEZIONE: La velocità nello sport

per tanti sport la velocità è il parametro più importante

- **il grafico velocità-tempo:** ha il tempo in ascissa e la velocità in ordinata

G.D.

- da tabella spazio-tempo: tempo segnato in secondi, spazio in metri -> si prende la differenza tra i due campioni di spazio, quindi p.e. lo spazio misurato al secondo 0 e lo spazio misurato al sec 1 e la differenza tra i due campioni di tempo quindi il tempo misurato al tempo 0 e al tempo 1, quindi differenza campioni spazio = 2 metri, differenza campioni tempo = 1sec => 2 metri diviso 1sec => 2 m/s = VELOCITÀ MEDIA IN QUELL'INTERVALLO  
es. secondo intervallo: 4m-2m = 2m, 2s-1s = 1S => 2 diviso 1 = 2 m/s
- un intervallo rimane vuoto (il primo: tempo 0 spazio 0), per questo motivo i campioni che misuriamo (che rappresentano la velocità media in tutto l'intervallo, non all'inizio o fine) nel grafico è meglio metterli a metà tra 0 e 1 / 1 e 2 => punto a 1,5 sec, a 2,5 a 3,5,...
- **differenze nei 2 grafici:**
  - ☑ *velocità costante*: nel grafico spazio-tempo se linea sale/curva cresce, nel grafico velocità-tempo segmenti orizzontali (curva orizzontale)
  - ☑ *corpo fermo*: nel grafico spazio-tempo linea orizzontale, nel grafico velocità-tempo la curva va a zero
  - ☑ *aumento velocità*: nel grafico spazio-tempo linea più inclinata, nel grafico velocità-tempo una linea orizzontale ad un livello più alto (perché più veloce)
- le linee inclinate nel grafico velocità tempo sono fittizie, solo per comodità grafica, non sappiamo cos'è accaduto tra i due intervalli di campionamento

Generalmente in ambito sportivo le **misurazioni vengono fatte a intervalli di spazio regolari**, e non di tempo, es. misurazione tempi di passaggio di Usain Bolt ai 10, 20, 30 metri (invece che "in un minuto ho percorso tot metri"->ogni km di corsa misuro il tempo che ho impiegato percorrerlo)

- **il grafico spazio-velocità**: ha lo spazio in ascissa e la velocità in ordinata
- calcolare velocità media in quegli intervalli: spazio diviso tempo  
es. 20m -10m = 10m, 2,88s-1,89s = 0,99s -> 10m : 0,99s = 10,10
- nel grafico sempre punti a metà degli intervalli (perché abbiamo un punto in meno) => parto da 5m, poi 15m, poi 25m,...
- Non è possibile passare in modo immediato dal grafico t-V al grafico s-V e viceversa.
- Velocità media su tutto il percorso (linea orizzontale blu slide):  $V_m = \frac{100m}{9,58s} = 10,44 \text{ m/s}$

Es.1: la  $V_m$  ogni 20m

### La velocità (quasi) istantanea

- Misurazione velocità con strumento a laser (raggio che va e torna, colpisce il bersaglio)
- Strumento con frequenza di campionamento molto elevata (es. 50, 100 Hz =50, 100 campionamenti al sec)-> a ogni passo velocità aumenta e diminuisce (slide: linea blu a zig zag) =>si capisce meglio come va la velocità dell'atleta
- Questo metodo ci dà più info di quello precedente, però è meno affidabile/esatta dell'altra, possono esserci errori di misurazione da parte dello strumento

### La velocità intraciclica

- nello sport, quasi sempre il movimento dell'atleta è di tipo ciclico, es. bracciata nuotatore, colpo del vogatore, falcata del corridore ecc. ->periodi in cui la velocità aumenta e altri in cui diminuisce (es. nuoto a rana, momenti in cui la velocità è quasi a 0)
- importante: perché la distribuzione ottimale dell'energia è sempre alla velocità costante per utilizzare al meglio la mia energia ->  $v = \text{cost}$  (obbiettivo della fisica, ma nessuno può farlo, ci sono molti altri fattori da considerare)
- Ogni variazione di velocità nel moto ciclico rappresenta una dispersione di energia.

G.D.

Laser: manda (ad intervalli regolari) un segnale che va, tocca l'ostacolo e torna -> misura la distanza dell'oggetto, avendo poi la distanza  $s$  e l'intervallo di tempo ho  $v = \frac{s}{\Delta t}$

**Misurazione della velocità**

- Nessuno strumento può misurare direttamente la velocità, misurano altri parametri e da quelli risalgono alla velocità
- **strumenti a laser:** a intervalli regolari spedisce un impulso (un'onda elettromagnetica = laser) onda incontra l'ostacolo/oggetto/corpo e torna indietro  
 → misurano la posizione mediante il tempo di arrivo di un segnale:  $d = c \cdot \Delta t$   $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
 Delta t (di invio del raggio) è costante perché frequenza di campionamento costante, il tempo che il raggio ci mette a tornare indietro indica la distanza dell'oggetto -> raggio viaggia alla velocità della luce (c) => si misura il tempo che ci mette ad andare e tornare, poi moltiplicazione  $c \cdot \Delta t$  e si ottiene la distanza

->es. raggio ci mette 1sec a tornare, significa che ha fatto 300.000 km, 150.000 ad andare, 150.000 a tornare => misurando questo intervallo di tempo, il corpo si troverebbe a 150.000 km di distanza

- **GPS:** misuriamo la posizione di un corpo con il sistema di triangolazione misurando il tempo che il segnale ci mette ad arrivare dal satellite fino alla terra, poi misurando lo spostamento e la differenza di tempo  $\frac{\Delta s}{\Delta t}$  posso calcolare anche la velocità

Altri dispositivi misurano gli intervalli di tempo tra le chiusure di un interruttore:

- **Velocimetro a filo** (nuoto) -> sensore ottico
- **Sensore che misura il numero di giri della ruota nella bici** -> s. magnetico
- **Dispositivo con cellule fotoelettriche** -> s. ottico

**Interruttore:** dispositivo che fa oppure non fa passare corrente (aperto/chiuso)

Interruttore aperto (non passa corrente) -> si chiude (passa corrente per piccolo intervallo di tempo) -> si riapre -> si richiude ecc. => treno di impulsi

=> possiamo misurare l'intervallo di tempo tra 2 impulsi successivi

Misurando l'intervallo di tempo, siccome conosciamo la distanza tra 2 eventi successivi, possiamo misurare la velocità

Anche **tramite un video** si può misurare la velocità:

video è costituito da una successione di immagini fisse (es. 120 al sec)-> più è alta la frequenza, migliore è la qualità della ripresa = frame rate, si indica con frames per second (fps)  
 prendiamo un video, vediamo la posizione del baricentro o di un marker messo sul corpo della nuotatrice all'istante  $t$ , se riprendiamo a 50 fps, l'intervallo tra due frame (immagini successive) sono 20 millisecondi (ms) => vedo di quanto si è spostato il baricentro nei 20 ms, faccio la divisione tra lo spostamento => ottengo la velocità dell'atleta  
 → si misura lo spostamento in uno spazio calibrato. Il tempo tra un'immagine e l'altra ( $\Delta t$ ) è data dalla frequenza di acquisizione della videocamera (frame rate)  
 (in maniera più raffinata = **match analysis:** misurazione con telecamere della posizione dell'atleta in 2 istanti successivi e forniscono la velocità in tempo reale

Es.2: la velocità di una bici

Ruota con diametro di 740mm, applicazione sensore che fornisce un impulso ogni giro della ruota. L'intervallo tra due impulsi sono 200 ms.

Calcola la velocità della bici.

$$V_m = \frac{s}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot d}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot 0,74}{0,2} = 11,6 \frac{m}{s} = 41,8 \frac{km}{h}$$

Circonferenza della ruota (cerchio)

**7. a) LEZIONE: L'accelerazione**

G.D.

Moto rettilineo uniforme: moto in cui il vettore velocità istantanea è sempre costante (in modulo, direzione e verso) -> in natura non esiste perché è tipico dell'oggetto non sottoposto a forze (forze ci sono sempre)

=> nella maggioranza dei casi, il vettore velocità istantanea cambia (più o meno rapidamente) durante il moto in modulo, direzione e verso

Grandezza che rappresenta il cambiamento di velocità = ACCELERAZIONE

**Grafico velocità tempo:** -> diverso da quello precedente in cui si misuravano degli spazi a intervalli di tempo regolari e si divideva lo spazio per il tempo ottenendo velocità)

Qui: si usa strumento di misura che fornisce direttamente la velocità (= tachimetro, es. macchina, moto) -> fornisce valore istantaneo del modulo della velocità

=> si legge il valore della velocità istantanea scalare dal tachimetro a intervalli regolari di tempo

es.  $t=0s - V=0m/s$ ,  $20s - 7m/s$ ,  $40s - 12m/s$ , ... -> tabella con i dati, poi grafico

-> in alcuni intervalli la velocità sale, in altri si mantiene costante, in altri scende

Vale sempre: più campionamenti faccio, più accurata sarà la curva

Si definisce **accelerazione media scalare** di un corpo il rapporto tra la variazione di velocità e il tempo impiegato a compierla:

$$a_m = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

RICORDA:

**velocità scalare media** era:  
lo spazio percorso diviso  
l'intervallo di tempo in cui  
ho percorso quello spazio

Velocità finale meno velocità iniziale diviso tempo finale meno tempo iniziale

Accelerazione **media** scalare perché consideriamo un istante iniziale e istante

finale, non sappiamo cosa sia successo in mezzo

Nel SI si misura in  $m/s^2$

$$\Delta = \text{variazione} \\ \text{variazione velocità / variazione tempo}$$

Un'accelerazione **<0 (minore di 0)** si chiama anche **decelerazione** o **accelerazione negativa**

-> curva scende (delta V negativo)

Tabella: es.  $12 m/s - 7 m/s = 5$ ;  $40s - 20s = 20$  ->  $5$  diviso  $20 = 0,25$  => grafico

La somma delle accelerazioni positive e negative è sempre zero: in un moto che parte da fermo e arriva da fermo l'accelerazione media è zero.

->  $v$  finale = 0,  $v$  iniziale = 0 => acc media = 0, tutte le accelerazioni intermedie si compensano, qualunque cosa noi facciamo (accelerazioni positive uguali a quelle negative)

**Grafico accelerazione tempo:** sopra la linea dello 0 -> intervalli in cui velocità aumentata, acc. positive, sotto linea 0 -> acc. negative, velocità diminuita; intervallo in cui acc. 0 (NON siamo fermi, ma velocità costante!)

**!!ATTENZIONE!!:** non confondersi con grafico velocità tempo quando vediamo i dati di un **accelerometro** (dispositivo che fornisce direttamente accelerazione)

Es.1: l'accelerazione di un'auto

La Maserati accelera da 0 a 100 km/h in 4,7 s.

Calcola l'accelerazione media scalare.

$$V_{m/s} = \frac{V_{km/h}}{3,6} = \frac{100}{3,6} = 27,8 \frac{m}{s}$$

$$a_m = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{27,8 - 0}{4,7 - 0} = 5,9 \frac{m}{s^2}$$

G.D.

**Il vettore accelerazione** è la differenza vettoriale tra il vettore velocità finale e il vettore velocità iniziale diviso l'intervallo di tempo.

Differenza vettoriale (si può fare in diversi modi) -> **vettore**  $V_2 - V_1$

$$\vec{a} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{t_2 - t_1}$$

$$\vec{a}_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} \rightarrow \text{intervallo di tempo tra } V_1 \text{ e } V_2 \text{ lo rendiamo sempre più piccolo}$$

Conclusione: quando il **moto è rettilineo** il vettore accelerazione è diretto come il vettore velocità (direzione è la stessa, facendo differenza tra due vettori con stessa giacitura => risultato con stessa giacitura)

**Moto sulla traiettoria curvilinea** -> stiamo facendo una curva, direzione del vettore velocità cambia ogni istante: il vettore velocità è tangente alla traiettoria, il vettore accelerazione è diretto verso l'interno della traiettoria/curva (perpendicolare) -> **passaggio al limite**: abbiamo considerato di  $\Delta V$  su  $\Delta t$  il limite per  $\Delta t$  che tende a 0, cioè un intervallo sempre più piccolo, alla fine troviamo l'accelerazione istantanea (in ogni istante) diretta verso l'interno della traiettoria

### Il moto uniformemente accelerato

Un moto in cui  $\vec{a}_i$  è costante si chiama moto uniformemente accelerato (**m.u.a.**)

↳ Il vettore accelerazione istantanea (in ogni istante) è costante in modulo, direzione e verso

Anche  $a_m$  (accelerazione media scalare) è costante, e coincide in modulo con  $\vec{a}_i$

RICORDA

**moto rettilineo uniforme:**

moto in cui in ogni istante il valore della velocità istantanea è costante in modulo, direzione e verso (traiettoria rettilinea, modulo  $v = \text{cost}$ )

Sul **grafico velocità tempo (V/t)** si rappresenta con una retta inclinata (velocità sale in modo uniforme: a intervalli di tempo uguali corrispondono variazioni di velocità uguali).

Sul **grafico accelerazione tempo** avremo una retta orizzontale (perché accelerazione costante).

**Accelerazione di gravità:** In assenza di attriti, un grave cade al suolo con un'accelerazione pari a  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  (il valore di quest'accelerazione venne determinato grazie agli esperimenti di Galileo)

↳ accelerazione data dalla forza di attrazione tra le masse (poi formalizzata da Newton)

**Equazione della velocità:** permette di calcolare la velocità in funzione del tempo e della  $V$  iniziale in un m.u.a. Si ottiene invertendo la definizione di accelerazione. Essa è:

$$V = a \cdot t + V_0$$

Permette di calcolare la velocità di un corpo quando questo si muove con m.u.a.

Velocità = accelerazione (cost) per il tempo (cresce sempre) => anche l'accelerazione cresce

$V = a \cdot t$  (è l'equazione di una retta) +  $V_0$  che è la velocità iniziale (se scagliamo il corpo a terra invece di cadere semplicemente, ha velocità iniziale  $V_0$  e poi si muove con m.u.a. -> nel grafico velocità tempo non partirà da zero ma da più su/da un valore superiore sull'asse y della velocità)

**Equazione oraria del moto:** permette di calcolare lo spazio percorso in funzione del tempo e delle condizioni iniziali in un m.u.a.

-> quanto spazio percorriamo in un intervallo di tempo (tra 0 e  $t$ ) se ci muoviamo con m.u.a.

$a$  è costante

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + V_0 \cdot t + s_0$$

G.D.

Es.2: la caduta di un grave

Calcola lo spazio percorso dal grave in 3s e la sua velocità finale, trascurando la resistenza dell'aria (quindi senza attriti)

$$V = a \cdot t + V_0 = 9,8 \cdot 3 + 0 = 29,4 \frac{m}{s}$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + V_0 \cdot t + s_0 = 0,5 \cdot 9,8 \cdot 3^2 + 0 \cdot 3 + 0 = 44,1 m$$

=> corpo percorre 44,1 m e alla fine di questi 44,1m ha una velocità di 29,4 m/s

$V_0 = 0$ , perché corpo cade  
 $s_0 = 0$

**RICORDA**

**accelerazione** = variazione della velocità nel tempo  
= la capacità di raggiungere un'elevata velocità in un tempo breve

### 7.b) LEZIONE: L'accelerazione nello sport

-> accelerazione nello sport conta più della velocità

es. *calciatore che ruba il pallone; macchine nel circuito di Monaco*: non conta troppo andare a 350 km/h ma raggiungere p.e. i 200 km/h in poco tempo per bruciare tutti in partenza

➔ Spesso nello sport non si ha il tempo o lo spazio per raggiungere la propria velocità massima (=velocità di punta, picco velocità)

Grafico t-V: atleta B ha acceler. più grande all'inizio poi verso i 4 sec le velocità diventano uguali

**!! Raggiungere la stessa velocità/andare più veloce non significa che uno sta sorpassando l'altro,** significa che da quel momento in poi vanno alla stessa velocità/più veloce -> uno sta davanti, uno dietro, se andassero sempre alla stessa velocità uno manterrebbe il vantaggio

### Grafico t-V (grafico del moto uniformemente accelerato)

Area triangolo giallo (slide): base per altezza diviso 2 -> base: t (=intervallo di tempo) altezza: V

(=velocità raggiunta) =>  $\frac{V \cdot t}{2} = \frac{1}{2} \cdot V \cdot t$

$$\frac{1}{2} \cdot V \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t \cdot t = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = s$$

Sostituiamo V con  $a \cdot t$  -> otteniamo lo spazio, perché:

$V_0 \cdot t$  fa zero e  $s_0$  è zero

→ Lo spazio percorso dall'atleta/veicolo nell'intervallo di tempo è uguale all'area che sta sotto la curva V (vale sempre, non solo per moto uniformemente accelerato)

Se consideriamo due atleti che corrono, calcolando l'area sotto le curve troviamo chi ha percorso più spazio => è in vantaggio (tempo uguale ma uno dei due ha percorso più spazio)

$$V = a \cdot t + V_0$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + V_0 \cdot t + s_0$$

$$V_0 = s_0 = 0$$

qui  $V_0$  è 0 perché partenza da fermo  
 $s_0$  è 0 perché cominciamo a misurare dal punto in cui partiamo

Es.1: chi ha vinto?

2 curve: all'inizio moto uniformemente accelerato (velocità sale), poi la velocità diventa costante (solo schematizzazione, nessuno corre così)

Quale dei 2 atleti ha percorso una distanza maggiore in 6s?

$$A = \frac{(a + c) \cdot h}{2}$$

$$s_A = \frac{(6 + 2) \cdot 8}{2} = 32m$$

Di solito area triangolo ma qui sotto curva abbiamo trapezi => **area trapezi** (oppure area triangolo + area rettangolo)

G.D.

$$s_B = \frac{(6 + 3) \cdot 7,5}{2} = 33,75m$$

### Accelerazione e decelerazione (=variazione negativa di velocità)

Quando cambiamo direzione/o torniamo indietro, es. se sono lungo asse x e voglio andare su asse y, ho bisogno che la velocità lungo x diventi zero e la velocità lungo y cominci a incrementarsi (es.giocatore di baseball, farà una curva per rendere più dolce la transizione)

In  $F = m \cdot a$  non importa se accelerazione pos o neg, decelerare richiede la stessa forza che serve per accelerare (se le due accelerazioni sono simmetriche nel grafico, vedi slide)

→Quando si inverte il moto, o si gira di 90°, la velocità istantanea va a 0

### Errori di strategia

Videoanalisi (=strumento per misurare velocità) -> grafico della velocità di un giocatore (non rispetto al tempo ma alla distanza)

Baseball: anziché proseguire a V costante, il giocatore si tuffa => decelera e viene eliminato (perché l'altro giocatore afferra la palla)  $V_{max} = 9,3 \text{ m/s}$  (atleta era ancora in fase di accelerazione)

### Accelerazione su un piano inclinato (es. sci, ciclismo, salto con gli sci ecc.)

Piano inclinato senza attrito

Forza principale: forza peso che vale  $mg$

↳ scomposizione in 2 componenti:

1.  $mg \cos\theta$  perpendicolare al piano: non provoca effetti perché viene compensata dalla reazione vincolare del piano (corpo non sfonda il piano, si muove solo in direzione parallela)
2.  $mg \sin\theta$  parallela al piano: fa scivolare il corpo sul piano

Andiamo a sostituire:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow mg \sin\theta = m \cdot a \Rightarrow a = g \sin\theta$

=>corpo scivola lungo il piano inclinato con accelerazione  $a = g \cdot \sin\theta$

Più theta è grande (quindi più il piano è inclinato) più grande sarà l'accelerazione, più il corpo andrà veloce, **2 casi limite**:

Se il piano è orizzontale ( $\theta = 0$ ) si ha  $a = 0$  perché  $mg \sin\theta = 0$

Se il piano è verticale ( $\theta = \pi/2$ ) si ha  $a = g$  ->corpo è in caduta libera, non appoggiato ad un piano inclinato ↳ angolo in radiante (rad)

### Dislivello e lunghezza della discesa

Se non vogliamo usare il seno dell'angolo per i calcoli, spesso difficile da trovare il seno p.e. dell'inclinazione montagna => **dislivello**: altimetro per misurarlo e **lunghezza** della discesa

In base a formule trigonometriche, possiamo dire:  $\frac{h}{l} = \sin\theta$

$a = g \cdot \frac{h}{l}$  -> se il rapporto h su l è grande (più dislivello, l rimane costante), l'accelerazione è più grande ->corpo più veloce, se h è piccolo ->piano meno inclinato e accelerazione più piccola

Es.2: il moto di uno sciatore

$h = 50m, l = 250m$

Calcola lo spazio percorso dallo sciatore in 4s, trascurando gli attriti.

$$a = g \cdot \frac{h}{l} = 9,8 \cdot \frac{50}{250} = 1,96 \text{ m/s}^2$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 0,5 \cdot 1,96 \cdot 4^2 = 15,68 \text{ m}$$

Usando legge oraria

$V_0=0$

$s_0=0$

G.D.

### L'effetto dell'attrito

Nelle situazioni reali bisogna sempre considerare l'attrito.

Sciatore su discesa -> 2 attriti: attrito dinamico della neve e attrito dell'aria/resistenza del mezzo => attriti lo frenano

Attrito con la neve vale:  $F_n = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta = \mu \cdot m \cdot g \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2}$

Coefficiente di attrito dinamico  $\mu$  (Mu) non ha dimensione, è un numero puro

-> attrito uguale alla forza che preme i corpi uno contro l'altro, qui la forza è  $m \cdot g \cdot \cos\theta$  (vedi piano inclinato, componente del peso perpendicolare che schiaccia il corpo sul piano inclinato, qui lo sciatore sulla neve)

Considerando l'accelerazione nel suo complesso, quella dovuta all'accelerazione di gravità e la parte che viene "mangiata" dall'attrito di quest'accelerazione:

Trascurando la resistenza dell'aria l'accelerazione risultante è  $a = g \left( \frac{h}{l} - \mu \sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2} \right)$

Se il coefficiente fosse 0 (quindi un piano privo di attrito) ritorneremo a:  $a = g \cdot \frac{h}{l}$  (-0)

Es.3: discesa con attrito

Calcola l'accelerazione dello sciatore con  $\mu = 0,1$

$$a = g \cdot \left( \frac{h}{l} - \mu \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2} \right) = 9,8 \cdot \left( \frac{50}{250} - 0,1 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{50}{250}\right)^2} \right) = 0,999 \frac{m}{s^2} = 1 \text{ m/s}^2$$

-> rispetto all'esercizio precedente, l'attrito si è "mangiato" metà dell'accelerazione => velocità cresce più lentamente

### Nessuno accelera per sempre

Attrito si mangia una parte dell'acc. dovuta alla gravità, ma acc. rimane comunque diversa da 0, diviene costante

Sciatore non continua ad accelerare sempre -> entra in ballo la resistenza del mezzo con l'effetto di portare il moto del corpo ad una velocità costante

L'effetto della resistenza compensa le forze motrici (forza di gravità/il motore in un veicolo ecc.) => moto rettilineo uniforme

-> Per effetto della resistenza del mezzo il corpo in caduta (libera o su piano inclinato) raggiunge una velocità limite e prosegue con moto rettilineo uniforme.

**Misurare l'accelerazione** (può essere misurata direttamente a differenza della velocità)

**accelerometro** es. nel cellulare, sulla cintura o caviglia: singolo dispositivo misura l'accelerazione lungo i 3 assi x, y, z (accelerometro triassiale) -> otteniamo grafici (vedi slide)

(!!ATTENZIONE non sono grafici di velocità ma di accelerazione!!)

### 8. a) LEZIONE: I moti piani

- Non tutti i moti sono rettilinei (la stragrande maggioranza non lo è)  
↳ fino adesso abbiamo studiato moto rettilineo uniforme e moto uniformemente accelerato (si svolgono lungo una linea retta)
- moltitudine di moti diversi, **ma tutti** hanno un **piano di movimento** (se corriamo/camminiamo il nostro movimento avviene sul piano x/y, finché non saltiamo)
- piano può essere anche verticale
- moto circolare (giostra), moto parabolico (uomo cannone)

G.D.

**Moto circolare uniforme:** si definisce m.c.u. un moto in cui la traiettoria è una circonferenza e la velocità istantanea è costante in modulo. La direzione di  $V_i$  (velocità istantanea) è in ogni istante tangente alla circonferenza.

*Traiettoria = insieme di punti che il corpo occupa nel tempo, ci muoviamo lungo circonferenza*

*$V_i$  = vettore che in ogni istante è tangente alla traiettoria*

*Costante in modulo = ha sempre la stessa lunghezza*

*NON costante in direzione, in ogni istante cambia direzione, sempre tangente alla circonferenza*

### Velocità nel m.c.u.

Nel m.c.u. la velocità media scalare (anche "velocità periferica") è data dal rapporto tra l'arco di circonferenza percorso e l'intervallo di tempo (tempo che ci mettiamo a percorrere l'arco):

$$V_m = \frac{\widehat{\Delta s}}{\Delta t} \quad \rightarrow \text{traiettoria curvilinea}$$

### Periodo e frequenza

=grandezze che caratterizzano il m.c.u.

L'intervallo di tempo in cui il corpo percorre l'intera circonferenza si chiama **periodo T** e si misura in s. (parto da un punto e faccio tutto il giro, tempo che impiego p.e. 4s)

L'inverso del periodo si chiama **frequenza f**:  $f = \frac{1}{T}$  e si misura in **Hertz** (Hz). (se il periodo è 4s, la frequenza è  $\frac{1}{4}$ ). Indica il numero di giri compiuti nell'unità di tempo. ( $s^{-1}$ )

### La velocità angolare

Il rapporto tra angolo  $\theta$  spazzato (nell'intervallo di tempo) e intervallo di tempo stesso si chiama

velocità angolare  $\omega$ :  $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$  -> si misura in radianti al secondo (rad/s)

(se abbiamo l'angolo  $\theta$ , la variazione di  $\theta$  nell'unità di tempo è  $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ )

-> Si usa per semplificare i calcoli, teoricamente si potrebbe misurare anche in gradi

La velocità angolare  $\omega$  è la stessa per tutti i punti di un corpo (rigido) che ruota. → DIFFERENZA con *velocità media scalare* che varia: quella dipende da dove ci troviamo (se siamo al centro della giostra o alla sua periferia), in ogni punto è diversa perché il cerchio che si percorre ha un raggio diverso, quindi nell'intervallo di tempo si percorre una distanza diversa -> qualcuno andrà a 1 m/s, qualcuno a 2 m/s ecc., la **velocità angolare** NO, perché legata solo all'angolo che rimane uguale

L'angolo radiante è un angolo che sottende un arco pari al raggio (angolo equilatero: i 2 lati dati dal raggio e la curva sono di lunghezza uguale). Si ha: **1 rad** =  $57,3^\circ$

In **una circonferenza** ci sono  **$2\pi$**  radianti.

### Formule relative al m.c.u. :

$$s = \theta \cdot r \qquad V = \omega \cdot r \qquad \omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

**S = arco di circonferenza che percorriamo** è dato dall'angolo  $\theta$  al centro per il raggio (più ci allontaniamo più grande è il raggio della circonferenza, più grande è lo spazio)

-> dividendo per t =>  $\frac{s}{t} = V$ ;  $\frac{\theta}{t} = \omega$ ;  $r$  rimane

**V = velocità periferica** è uguale alla velocità angolare per il raggio (su uno stesso oggetto rigido che gira, più grande è il raggio, quindi più siamo lontani dal centro di rotazione più grande è la nostra velocità)

G.D.

lega la **velocità angolare**  $\omega$  alla frequenza: se io faccio un giro, faccio  $2\pi$  radianti => v angolare è  $2\pi$  per la frequenza, visto che la frequenza è l'inverso del periodo vale anche  $\frac{2\pi}{T}$

Es.1: il moto di una giostra

Una giostra di raggio  $r = 6\text{m}$  compie un giro in 18s. Calcola  $f, \omega, V$  (per chi sta all'estremità)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{18} = 0,06 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi \cdot f = (2 \cdot 3,14) \cdot 0,06 = 0,38 \text{ rad/s}$$

$$V = \omega \cdot r = 0,38 \cdot 6 = 2,28 \text{ m/s}$$

### L'accelerazione nel m.c.u.

Quando corpo segue traiettoria curva, l'accelerazione (=variazione di velocità) è un vettore diretto verso l'interno della traiettoria

->circonferenza: corpo gira da punto  $P_1$  a punto  $P_2$ -> velocità  $\vec{V}_1$  e  $\vec{V}_2$  tangenti nei due punti (moto uniforme quindi vettori uguali), se facciamo  $\vec{V}_2 - \vec{V}_1$  ( $\vec{V}_2 + (-\vec{V}_1)$ ), vettore opposto con  $-$ ) e troviamo  $\Delta\vec{V}$  diretta verso il centro della circonferenza

Facciamo passaggio al limite: se la distanza  $P_2 P_1$  la consideriamo sempre più piccola, i due vettori  $\vec{V}_1$  e  $\vec{V}_2$  si avvicinano, se andiamo a considerare la loro differenza con la distanza  $P_2 P_1$  infinitesima, il vettore  $\Delta\vec{V}$  ( $\vec{V}_2 - \vec{V}_1$ ) diventa perpendicolare alla circonferenza (diretto verso il centro)

Se  $\Delta t$  è sufficientemente piccolo, il vettore  $\Delta\vec{V}$  e l'accelerazione sono diretti entrambi verso il centro della circonferenza

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t}$$

L'accelerazione nel m.c.u. prende il nome di accelerazione centripeta  $a_c$ , ed è:

Si misura in  $\text{m/s}^2$ .

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$$

Velocità periferica al quadrato diviso il raggio della circonferenza o velocità angolare al quadrato per  $r$

Percorrendo una circonferenza, in ogni istante ho una velocità tangente alla circonferenza e un'accelerazione diretta verso il centro.

Es.2:  $a_c$  di una giostra

Calcola  $a_c$  della giostra dell'es.1 ( $r = 6\text{m}$ , giro in 18s) per una persona che si trovi sul bordo esterno.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{2,28^2}{6} = 0,87 \text{ m/s}^2$$

### Il moto parabolico

Ogni volta che abbiamo corpo che cade (non piombo, perfettamente diritto dall'alto verso il basso) ma ha anche una certa velocità orizzontale -> nel cadere si sposta anche lungo l'asse orizzontale

Il moto parabolico è dato dalla composizione di 2 moti tra loro perpendicolari:

1. un moto rettilineo uniforme: quello orizzontale, corpo non è sottoposto a forze (perché quando il corpo non è sottoposto a forze o rimane fermo o si muove di moto rettilineo uniforme, ha ricevuto solo spinta iniziale per iniziare il moto -> principio di inerzia)
2. un moto uniformemente accelerato: quello verticale, abbiamo accelerazione di gravità. Generalmente il m.u.a. è verticale e l'accelerazione è  $g$ .

->**Equazioni del moto parabolico**

Le 2 equazioni che si riferiscono ai due piani:

$$\text{Asse x: } s_x = V_x \cdot t$$

$$\text{Asse y: } s_y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

-> velocità orizzontale per il tempo (equazione lineare)

-> (equazione quadratica), equazione oraria del moto uniformemente accelerato con  $s_0$  e  $V_0$  (perché verticalmente non c'è una velocità iniziale)

$s_x$  = spazio percorso verticalmente

$s_y$  = spazio percorso orizzontalmente

=> Gli spazi percorsi verticalmente aumentano sempre nell'intervallo di tempo, quelli percorsi orizzontalmente sono

**Tempo di caduta**

I due moti lungo x e y sono completamente indipendenti. Il tempo di caduta non dipende da  $V_x$  (velocità orizzontale) => anche se calcio una palla fortissimo orizzontalmente, il tempo che impiega ad arrivare a terra non cambia (dettato dalla gravità), ma si ottiene invertendo l'equazione oraria e vale:

t = tempo di caduta

s (spazio percorso) può essere chiamato anche h (altezza)

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}$$

Es.3: tempo e distanza di caduta

Calcola tempo e distanza di caduta con  $h = 1,2m$  e  $V_x = 1,5 m/s$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2}{9,8}} = 0,49s$$

$$d = V_x \cdot t = 1,5 \cdot 0,49 = 0,74m$$

**8. b) LEZIONE: I moti piani nello sport****Non c'è accelerazione senza forza**

Se la velocità varia, in modulo e/o in direzione, è per l'azione di una forza. In assenza di forza, una forza non accelera. (principi dinamica: 1. in assenza di forze  $v = \text{cost}$ , 2.  $F = m \cdot a$ , quindi la forza è proporzionale all'accelerazione) => se c'è un'accelerazione, c'è una forza (se no corpo non si muove e non cambia neanche direzione)

**La forza centripeta**

Moto circolare: se un corpo si muove lungo una circonferenza è perché una forza lo tiene su questa traiettoria, se no andrebbe dritto (principio inerzia => moto rettilineo uniforme)

-> *Lancio del martello*: La forza necessaria a tenere il martello su una traiettoria circolare è esercitata dalle braccia dell'atleta. Al rilascio (quindi senza forza delle braccia) l'attrezzo prosegue lungo la tangente alla circonferenza, lungo la velocità istantanea che aveva (a velocità costante su una linea retta, trascurando gli attriti)

**La forza centripeta** che tiene il corpo su una traiettoria circolare vale:

$$F_c = m \cdot a_c = m \cdot \frac{V^2}{r}$$

$a_c$  = accel. centripeta  
 $r$  = raggio circonferenza

Siccome l'accelerazione centripeta è diretta verso il centro lo è anche la forza centripeta.

Uguaglianza  $m \cdot \vec{a}_c$  considerata in forma vettoriale: la forza centripeta ha direzione e verso dell'accelerazione centripeta

$$\vec{F}_c = m \cdot \vec{a}_c = m \cdot \frac{V^2}{r}$$

RICORDA: nel movimento lungo circonferenza abbiamo  $\vec{V}$  tangente alla circonf. e una  $\vec{F}_c$  perpendicolare e diretta verso il centro che ci tiene lungo questa circonferenza

Es.1: La forza di Oney

Il disco ha massa 2 kg e percorre una traiettoria di diametro 1,9m.

Al momento del distacco ha una velocità di 25 m/s. Calcola la forza applicata dall'atleta.

$$r = \frac{d}{2} = \frac{1,9}{2} = 0,95m$$

$$F_c = m \cdot \frac{V^2}{r} = 2 \cdot \frac{25^2}{0,95} = 1.315,7894 N \approx 1316N$$

-> circonferenza approssimativa, l'atleta non è perfettamente dritto/fermo/verticale, il suo corpo si inclina quindi non circonferenza esatta

-> come se al momento del lancio lui stesse sostenendo con un braccio solo un oggetto con massa 130 kg

### Il raggio di curvatura

È difficile che un corpo si muova lungo una circonferenza perfetta; se la traiettoria non è una circonferenza, nel calcolo della  $\vec{F}_c$  si considera il raggio del cerchio che meglio approssima la curva nel punto.

=>le formule si possono usare comunque, perché in ogni punto di una traiettoria curva si può considerare il cerchio osculatore (lat. osculum = bacio)

(se la traiettoria diventa dritta il cerchio ha raggio infinito)

### La forza per rimanere in pista

La forza centripeta che tiene l'auto in pista (quindi sulla traiettoria) è l'**attrito**  $F_a$  tra gli pneumatici e l'asfalto. (es. se metto dell'olio ->pericoloso perché vado fuori dalla traiettoria = fuoristrada)

$$F_a = F_c \rightarrow m \cdot \mu \cdot g = m \cdot \frac{v^2}{r} \rightarrow \mu \cdot g = \frac{v^2}{r}$$

si semplifica  $m$  =>equazione vale qualunque sia la massa del veicolo

Forza di attrito è uguale alla forza centripeta che tiene la macchina in traiettoria

Forza di attrito vale la forza che spinge due corpi uno contro l'altro ->in questo caso se la curva è orizzontale la forza premente è la forza peso ( $m \cdot g$ ) e poi abbiamo coefficiente di attrito  $\mu$  ( $\mu$ ), stato o dinamico, dipende dalla situazione

### Partire per la tangente

c'è un limite a questa forza di attrito dato da  $g$  e da  $\mu$

Se in curva la  $V$  sale troppo, l'attrito non basta a tenere l'auto in pista. Il veicolo prosegue lungo la tangente. Formula per calcolare la velocità massima che possiamo tenere in una curva senza uscire di strada:

->dobbiamo conoscere il coefficiente di attrito e il raggio di curvatura della curva

$$\mu \cdot g = \frac{V^2}{r} \rightarrow V = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r}$$

Es.2: la  $V_{max}$  (velocità massima) in curva

La curva ha un raggio di curvatura  $r = 30m$ . Il coefficiente di attrito tra ruote e suolo è  $\mu = 0,9$ .

Calcola la  $V_{max}$  che l'auto può tenere.

$$V_{max} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot r} = \sqrt{0,9 \cdot 9,8 \cdot 30} = 16,266 \frac{m}{s} \approx 16,3 \frac{m}{s} = 58,5 \text{ km/h}$$

### Moti parabolici – moto di un proiettile

(prima parte lezione-palla che cadeva dal tavolo: moto che aveva solo velocità orizzontale, partiva dal tavolo e cadeva al suolo guidato dalla forza di gravità e dalla velocità iniziale)

Si tratta di un moto parabolico in cui la velocità iniziale  $V_0$  ha una componente orizzontale e una verticale. Il proiettile raggiunge il vertice della parabola, poi torna al suolo.

->molto presente nello sport, es. baseball, tennis, calcio di un pallone (a meno che non faccia raso terra)

→pallone segue parabola: parte da 0, raggiunge un vertice (altezza massima), poi torna giù e atterra (distanza orizzontale da 0 a punto di atterraggio = gittata)

Se non consideriamo gli attriti è una parabola simmetrica (nella realtà influenzata pesantemente dalla resistenza dell'aria)

Il moto lungo  $x$  è rettilineo uniforme con velocità  $V_x$  costante. Il moto lungo  $y$  è u.a. (uniformemente accelerato) con velocità iniziale verticale  $V_y$  diretta verso l'alto e l'accelerazione  $g$  diretta verso il basso (con segno meno, è negativa perché va giù)

$$s_x = V_x \cdot t$$

$$V_x = V_{0x}$$

$$s_y = V_y \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$V_y = V_{0y} - g \cdot t$$

Seguendo la traiettoria della parabola,  $V_y$  piano piano si riduce e quando raggiunge il punto più alto  $V_y$  diventa 0 (perché la forza di gravità si è “mangiata” tutta la velocità iniziale) e si comincia a

cadere facendo un altro ramo di parabola uguale a quello di prima ma adesso  $V_y$  non è diretta verso l'alto ma verso il basso e poi atterro.

salto in alto: altezza massima  $\rightarrow h_{max}$   
salto in lungo: gittata  $\rightarrow S_x$

### Altezza massima e gittata (distanza massima)

A parità di  $V$ , la gittata massima si ottiene con un angolo di  $\alpha = 45^\circ$ . (vedi slide)

L'altezza massima si ottiene con  $\alpha = 90^\circ$ .

Tutte le formule valgono in assenza di attriti:

$$h_{max} = \frac{v_y^2}{2g}$$

$$V_x = V \cdot \cos \alpha$$

$$V_y = V \cdot \sin \alpha$$

$$s_x = \frac{2 \cdot v_x \cdot v_y}{g}$$

$h_{max}$ : velocità verticale al quadrato diviso  $2g$

$s_x$ : 2 per la componente orizzontale della velocità per la componente verticale diviso  $g$

calcolo componenti  $V_x$  e  $V_y$  con angolo di partenza della parabola

Es.3: gittata del disco

Un disco viene scagliato con  $V = 24 \text{ m/s}$  e  $\alpha = 45^\circ$ . Calcola la gittata.

$$V_x = V \cdot \cos \alpha = 24 \cdot \cos 45^\circ = 24 \cdot 0,707 = 16,97 \approx 17 \text{ m/s}$$

$$V_y = V \cdot \sin \alpha = 16,97$$

$$s_x = \frac{2 \cdot V_x \cdot V_y}{g} = \frac{2 \cdot 17 \cdot 17}{9,8} = 58,97 \text{ m} \approx 59 \text{ m}$$

Angolo di  $45^\circ$

$\Rightarrow V_x$  e  $V_y$  sono uguali

Massa non ci interessa più quando riusciamo ad imprimere la velocità desiderata, il “problema” è dare la velocità all'oggetto da lanciare se pesa tanto, ma una volta lanciato, se sono 2, 4 o 40kg non fa nessuna differenza

### La parabola del saltatore

Nel considerare il moto di saltatori dobbiamo applicare alcuni correttivi alle formule viste finora, perché il baricentro non parte da quota 0 e le misure non vengono prese rispetto al baricentro.

(il moto è riferito al baricentro, poi l'atleta può muoversi/ torcersi, ma il baricentro rimane lì  $\Rightarrow$  problema 1: baricentro non sta a terra all'inizio della parabola ma a metà del corpo dell'atleta circa, problema 2: le misure non c'entrano molto con il baricentro, es. salto in lungo viene misurato dove arrivano i piedi)

### 9. a) LEZIONE: La resistenza del mezzo

$\rightarrow$  (fluido liquido o aeriforme/gas)

La quasi totalità dei moti in natura si svolge in presenza di un mezzo fluido: l'aria o l'acqua (a meno che non siamo nello spazio o in una camera da vuoto di un laboratorio)

$\Rightarrow$  Attriti praticamente mai trascurabili, molto importanti, influenzano molto il movimento

Fluido sui corpi in movimento agisce attraverso resistenza  $\rightarrow$  molecole agiscono una forza sul corpo

La **resistenza  $R$**  è la forza che il mezzo oppone all'avanzamento di un corpo: ha direzione uguale alla velocità di avanzamento e verso opposto.

La **resistenza dipende**:

1. dalla densità del mezzo ( $\rho$ )  $\rightarrow$  più denso = più resistenza
2. dalla dimensione frontale del corpo ( $A$ )  $\rightarrow$  superficie che oppone al fluido
3. dalla forma del corpo ( $C_x$ )  $\rightarrow$  coefficiente che dipende dalla forma del corpo
4. dalla velocità ( $v$ )

DIFFERENZA

**Direzione:** ci dice la giacitura nel piano/nello spazio

**Verso:** ci dice come viene percorsa questa direzione

$$R = \frac{1}{2} C_x \rho A v^2$$

→ più denso è il mezzo, più resistenza incontriamo

**La densità del mezzo**

Corpi di cui ci occupiamo si muovono in uno di questi fluidi o entrambi (come nuotatore o barca a vela). L'acqua è 816 volte più densa dell'aria. A parità di tutto il resto, esercita una resistenza 816 volte maggiore di quella dell'aria.

Valori medi in condizioni standard (perché in realtà la **densità** dipende dalla pressione e temperatura):

$$\rho_{aria} = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{acqua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

A parità di tutto il resto (a tutte le altre condizioni uguali), la resistenza è direttamente proporzionale alla **sezione frontale**/sezione maestra (A), cioè alla superficie che si oppone al fluido.

→ più è grande la sezione frontale, più resistenza incontriamo

**Il coefficiente di resistenza C<sub>x</sub>**

La **forma del corpo** influenza enormemente la resistenza.

A parità di sezione frontale, p.e. una sfera e un corpo affusolato, la sfera incontrerà una resistenza molto più grande.

Forma	Coefficiente di resistenza		Coefficiente di resistenza
Sfera →	 0.47	Cilindro lungo →	 0.82
Semi-sfera →	 0.42	Cilindro corto →	 1.15
Cono →	 0.50	Corpo affusolato →	 0.04
Cubo →	 1.05	Semi-corpo affusolato →	 0.09
Cubo inclinato →	 0.80		

Misure di coefficienti di resistenza

→ la resistenza che incontriamo dipende dalla forma del corpo

**R cresce col quadrato della velocità**

Le forze incontrate fino ad ora sono costanti (es. attrito: una volta stabilito il coefficiente è sempre uguale, forza peso: a qualunque velocità mi trovi, il mio peso è uguale), la resistenza NO (es. mano fuori dal finestrino della macchina, più veloce vado, più la resistenza preme sulla mia mano)

Resistenza non va linearmente con la velocità ( $k \cdot V$ ) ->  $k$  è una costante: densità del mezzo, sez. frontale, forma; relazione è ( $k \cdot V^2$ ) resistenza cresce con il quadrato (significa che

Es. aumentando la velocità da 2 a 3 m/s devo aumentare la forza che applico per vincere la resistenza di 10 N (differenziale di forza è 10N), se voglio passare da 9 a 10 m/s ->il differenziale di forza è di 38 N =>più salgo, più diventa grande =>veicoli raggiungono velocità limite perché la forza che incontrano è sempre più grande e in più aumenta molto rapidamente

→La resistenza R aumenta in modo parabolico con la velocità. Questo significa che accelerare diventa sempre più difficile quanto più alta è la velocità.

**La velocità limite**

Un corpo che cade subisce la forza di gravità, semplificando  $m$  da entrambe le parti otteniamo  $a = g$  (accelera con un'accelerazione 9,8 m/s<sup>2</sup>) ->MA non è la realtà, un corpo non continua ad accelerare

->oltre a  $m \cdot g$  (forza costante) abbiamo  $-\frac{1}{2} C_x \rho A v^2$  che cresce con il quadrato della velocità

Ad un certo punto diventa uguale ad  $m \cdot g$ , la resistenza che incontro cresce e poi diventa tale da equilibrare perfettamente la forza peso => da qui in poi  $m \cdot g - R = 0$  =>  $a = 0$  e quindi io scendo con **velocità costante**

Curva di caduta di un grave NON è  $v = a \cdot t$  (retta che va all'infinito), MA aumenta e poi si stabilizza = velocità limite

→Per un corpo in caduta libera, la forza peso è costante, mentre R aumenta con la velocità. Quando i due termini diventano uguali, si ha:

$$a=0 \rightarrow v=cost.$$

(Corpo cade con  $v = cost$  da un certo punto in poi, la parte costante legata alla massa del corpo: più pesante cade con una velocità costante ma maggiore di un corpo meno pesante ->è vera in prima osservazione, ma se poi andiamo a isolare l'effetto della resistenza del mezzo, troviamo che il moto del corpo è  $m \cdot a = m \cdot g$ )

Es. 1 : il paracadutista

Il paracadutista ha massa 90 kg. La costante  $h = \frac{1}{2} C_x \rho A$  vale 25 N/(m/s<sup>2</sup>).

Calcola la velocità limite di caduta.

Costante h  
raggruppa tutte le  
altre costanti

-> dobbiamo arrivare ad  $a = 0$  (velocità costante), imponiamo questa condizione, quindi:

$$0 = m \cdot g - h \cdot v^2 \rightarrow m \cdot g = h \cdot v^2$$

$m \cdot g$  è il peso,  $h \cdot v^2$  è la resistenza -> entrambe verticali, MA il peso ha verso dall'alto verso il basso, la resistenza dal basso verso l'alto

$$v = \sqrt{\frac{m \cdot g}{h}} = \sqrt{\frac{90 \cdot 9,8}{25}} = 5,9 \text{ m/s}$$

### L'esperienza di Galileo

In presenza di aria, i due corpi di eguale forma e massa diversa NON arrivano al suolo insieme.

es. due sfere di dimensioni uguali ma di massa diversa, una di ferro e una di legno ->con

l'intervento della resistenza del mezzo, la sfera di ferro atterra prima

(solo nel vuoto atterrebbero insieme perché manca la resistenza del mezzo, quindi la parte

$-\frac{1}{2} C_x \rho A v^2$ , semplificando  $m$  otterremmo che atterrano insieme)

### Attrito e resistenza

Sullo sciatore agiscono sia l'attrito dinamico (che "mangia" una parte dell'accelerazione di gravità) che la resistenza; il primo è applicato alle superfici a contatto (agli sci dell'atleta), il secondo al centro della sezione frontale/baricentro della figura (resistenza diminuisce la velocità di discesa).

### La portanza

La forza esercitata dal mezzo non si oppone solo al nostro avanzamento, può avere anche una componente perpendicolare alla velocità (alla direzione del movimento), detta portanza (se diretta verso l'alto) o deportanza (verso il basso) ->permette p.e. agli aerei di volare

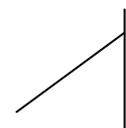
Mentre la resistenza è sempre presente, la portanza può essere nulla (se il corpo è simmetrico).

## 9. b) LEZIONE: La resistenza del mezzo nello sport

### La causa della resistenza

Il fluido oppone una forza al nostro avanzamento, ma da cosa dipende?

- A valle del corpo si crea una zona di moto vorticoso del fluido/zona di vorticità = **scia** (non ci sono le linee del fluido definite).
- Le particelle disordinate della scia (non si muovono ordinatamente nella direzione di  $V$ ) esercitano meno pressione di quelle ordinate a monte.
- La **differenza di pressione** (quindi tra la forza applicata dalle particelle frontali ordinate e la forza applicata dalle particelle posteriori disordinate) **causa la resistenza** (=la differenza delle 2 forze ha una risultante non nulla che va contro l'andamento del corpo).
- Più grande è la scia, maggiore è la resistenza.



p.e. aerei, sciatori,  
motoscafi lasciano la  
scia

Fluido esercita la sua forza  
sempre sottoforma di  
pressione, poi moltiplicata per  
la superficie dà la forza

### Il distacco della vena fluida

- Auto sportiva: linee del fluido seguono il profilo della macchina e si distaccano solo dietro (alla fine dell'auto) => la scia si trova solo nella parte dietro la targa
- Pick-up: non affusolato, la vena fluida non segue tutto il profilo perché non c'è continuità e si crea una scia molto più ampia => più resistenza aerodinamica

→ La scia si genera a partire dal punto in cui la vena fluida si distacca dal corpo. Prima avviene il distacco, più grande è la scia, e quindi la resistenza.

-> forma affusolata dei veicoli studiata in modo da ritardare il distacco, riducendo il  $C_x$

$C_x$  = coefficiente aerodinamico

### Il paradosso della pallina da golf

La palla da golf con le fossette viaggia più lontano di una sfera liscia, perché genera una scia più piccola -> a parità di impulso dato con la mazza incontrano meno resistenza

► lo **strato limite**: sottile strato fluido (aria o acqua) che si trova vicino alla superficie del corpo. Può essere laminare (particelle ordinate, direzione V) o turbolento (particelle in moto vorticoso)

Lo strato limite turbolento (boundary layer) aderisce meglio al corpo e si distacca più tardi -> di solito associamo vorticità a perdita di energia, invece qui è il contrario => paradosso

Lo strato limite laminare si stacca prima e abbiamo una scia più grande, le fossette invece favoriscono la transizione da laminare a turbolento (si creano piccoli vortici e lo strato limite turbolento rimane attaccato più a lungo) -> scia più piccola, pallina viaggia più velocemente => più lontano

Le principali **strategie di riduzione di R** sono:

- Riduzione della sezione frontale A (posizione a uovo nello sci o a canna di fucile nel ciclismo)
- Riduzione del coefficiente di resistenza  $C_x$  (casco sciatore/ciclista, racchette, pantaloni speciali)
- Tessuti speciali per ridurre  $\rho$  (MA fino adesso senza vero successo, corpo atleta non è una sfera e quindi difficile gestire il distacco della vena fluida)

forza dello sportivo limitata dalle capacità fisiche/muscolari, riducendo la resistenza -> più velocità

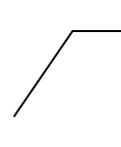
### Galleria del vento e vasca dinamica (vasca a ricircolazione d'acqua)

Permettono di misurare con grande precisione R in aria e in acqua.

es. per skeleton/slittino in galleria del vento per trovare posizione migliore e ridurre il drag

-> getti fluidi per vedere distacco della vena e celle di carico per misurare la forza applicata allo slittino dal flusso d'aria

-> l'atleta non si muove, sono l'aria e l'acqua a muoversi



**Proiettile**: qualunque cosa venga scagliata che non possiede motori: pallone, disco, martello, l'atleta stesso che salta ecc.

### R accorcia la gittata

Oltre a frenare l'avanzamento, la presenza di R modifica la traiettoria del proiettile:

con l'aumento del coefficiente di resistenza, la gittata e l'altezza massima sono minori, la traiettoria non è più simmetrica. Talvolta questo può fare comodo (p.e. nel calcio, l'avversario si aspetta una traiettoria del pallone differente)

### Portanza e deportanza

- La forza verticale è causata dalla differenza di pressione del fluido tra faccia superiore e inferiore
- In un'ala -> forza è diretta verso l'alto (portanza). In un alettone (ala rovesciata) -> verso il basso (deportanza)
- Portanza e deportanza aumentano con il quadrato della velocità, come R
- Corpo deve avere profilo opportuno (ad ala): sfera non ha portanza, perché è simmetrica => nessun motivo per il quale debba esserci una forza verso l'alto o verso il basso

**RICORDA**  
**portanza ↑ o deportanza ↓**  
 il fluido esercita una forza perpendicolare alla direzione di avanzamento

es. Portanza fa decollare aerei: aereo acquista velocità, quando raggiunge una velocità elevata, la portanza diventa talmente grande che consente all'aereo di staccarsi da terra

### Auto da corsa

La forma a siluro (anni 50) minimizza la resistenza perché ha  $C_x$  molto basso, al giorno d'oggi es. auto Formula 1 abbiamo forma schiacciata (minimizza sezione frontale) con alettoni massimizza la deportanza (schiacciare l'auto sulla pista) -> anche se teoricamente più resistenza, non è importante la velocità sul rettilineo, ma quella in curva

Quando auto è deportante

La **deportanza** (o carico aerodinamico)  $D$  aumenta l'attrito, perché schiaccia l'auto contro il suolo. L'attrito aumenta la tenuta di strada in curva -> alla forza peso si aggiunge  $D$  => aumenta la forza centripeta che tiene l'auto in pista durante le curve

$$F_a = \mu \cdot (m \cdot g + D)$$

$F_a$  = forza d'attrito  
 $\mu$  = coefficiente di attrito (dinamico)  
 Forza premente (pneumatici su asfalto) composta da:  $m \cdot g + D$

Es.1: la  $V_{max}$  in curva in presenza di  $D$

$$F_a = F_c = m \cdot \frac{V^2}{r}$$

Aumentando  $F_a$  a parità di massa dell'auto e di raggio di curvatura della curva posso aumentare la velocità  $V$

La curva ha un raggio di curvatura di  $r = 30\text{m}$ . Il coefficiente di attrito tra ruote e suolo è  $\mu = 0,9$ . Calcola la  $V_{max}$  che l'auto può tenere considerando  $m = 1500\text{ kg}$ ,  $D = 5000\text{ N}$

$$F_a = F_c \rightarrow \mu \cdot (m \cdot g + D) = m \cdot \frac{V^2}{r}$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{r \cdot \mu \cdot (m \cdot g + D)}{m}} = \sqrt{\frac{30 \cdot 0,9 \cdot (1500 \cdot 9,8 + 5000)}{1500}} = 18,8 \frac{m}{s} = 67,7 \text{ km/h}$$

=>possiamo affrontare la curva con più velocità grazie alla deportanza

### Incredibile, ma gol

Nel giugno 1997 Roberto Carlos segnò un incredibile gol su punizione. La palla deviò di oltre 2m rispetto alla traiettoria rettilinea e si insaccò alla sinistra del portiere->traiettoria strana

→**effetto Magnus**: A causa della rotazione (spin) dell'oggetto, si crea una differenza di velocità e di pressione tra i 2 lati del pallone (dissimmetria nella distribuzione della pressione tra sopra e sotto l'oggetto). Si genera una portanza, che devia il pallone (=effetto Magnus).

Nel caso di Roberto Carlos, l'effetto è macroscopico perché erano molto grandi  $d$ ,  $v$  e  $\omega$  (velocità, rotazione e grande distanza dalla porta)

## 10. a) LEZIONE: Le forze apparenti

**Galileo**: libro "dialogo sopra i due massimi sistemi" ->introduce esperimento ideale

Se ci chiudiamo sottocoperta (non vediamo l'esterno) in una nave ed effettuiamo degli esperimenti di fisica, non riusciamo a capire se la nave sia ferma o in moto rettilineo uniforme (velocità costante).

### I sistemi di riferimento inerziali

= qualsiasi sistema di riferimento che si muove di moto rettilineo uniforme (il vettore velocità è costante in modulo, direzione e verso) rispetto a un sistema fisso.

->qualunque sia la velocità, sistema è detto inerziale

Per i sistemi di riferimento inerziali vale la **Relatività Galileiana**

Le 3 leggi della dinamica sono le stesse in tutti i sistemi di riferimento inerziali, qualunque sia la velocità (costante) con cui essi si muovono gli uni rispetto agli altri. (es. aereo, autobus ecc.)

->non capiamo se siamo fermi o in movimento perché ogni esperimento che facciamo segue le stesse leggi

$$\text{Se } \vec{R}=0 \Rightarrow \vec{v} = \text{cost} \quad (\text{principio di inerzia})$$

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{principio di Newton})$$

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (\text{principio di azione e reazione})$$

È stata per secoli "l'architrave della fisica", quando poi fu messa in discussione da A.Einstein perché in velocità prossime alla velocità della luce la relatività galileiana non vale più =>altre leggi

**Sistema di riferimento non inerziale** = qualsiasi sistema di riferimento che si muove di moto non rettilineo (e o non) uniforme rispetto a un sistema fisso (o rispetto a un sistema che si muove a  $v=\text{cost}$ ). (es. macchina che parte da ferma e accelera, giostre che accelerano, si muovono di moto circolare uniforme, girano, oscillano ecc.)

In sostanza un sistema non inerziale presenta un'accelerazione non nulla rispetto a uno fisso o inerziale:  $a \neq 0$  (accelerazione può essere variazione del modulo della velocità (sempre dritti ma più veloci) oppure variazione direzioni (sempre a 30 km/h ma girare-> direzione cambia in ogni istante)

### La Terra è un sistema inerziale?

Terra non è fissa: gira su sé stessa (rotazione) e attorno al Sole (rivoluzione) e ha anche altri moti. =>non è un sistema inerziale, ma per la maggior parte di ciò che ci interessa, la possiamo considerare fissa e quindi un sistema inerziale.

### SISTEMI DI RIFERIMENTO NON INERZIALI

**Le forze apparenti:** All'interno di un sistema non inerziale si manifestano delle forze, dette apparenti, che sembrano non avere giustificazione fisica.

Es. bus accelera o frena-> passeggeri vengono spinti all'indietro o in avanti da una mano invisibile.

#### 1. Forza d'inerzia: (es. autobus)

si manifesta quando un sistema si muove di moto rettilineo accelerato con accelerazione  $a$  rispetto a un sistema inerziale (es. terra o treno con  $v=\text{cost}$ ).

Ha modulo uguale a  $m \cdot a$ , direzione uguale ad  $a$  e verso opposto ad  $a$  -> quando camion accelera, la cassa scivola indietro, quando frena (acc. negativa) la forza d'inerzia spinge la cassa in avanti:

Es.1: l'autobus frena

$$\vec{F} = -m \cdot \vec{a}$$

Un autobus che viaggia a 30 km/h frena e si ferma in 3s.

Calcola la forza di inerzia media che agisce su un passeggero di massa 70kg.

$$v_{m/s} = \frac{v_{km/h}}{3,6} = \frac{30}{3,6} = 8,3 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 8,3}{3 - 0} = -2,77 \text{ m/s}^2$$

0 (velocità finale) - 8,3  
(velocità iniziale)  
->ci stiamo fermando

$$\vec{F} = -m \cdot \vec{a} = -70 \cdot (-2,77) = 193,9 \text{ N}$$

->forza d'inerzia è positiva, anche se accelerazione è negativa

Tutte le persone sull'autobus subiscono la stessa accelerazione ma la forza è diversa perché ognuno ha una sua massa

#### 2. Forza centrifuga:

si manifesta quando un sistema si muove di moto circolare (es. m.c.u) con velocità angolare  $\omega$  rispetto a una inerziale. Ha modulo uguale a  $m \cdot \omega^2 \cdot r$ , direzione radiale e verso uscente dalla traiettoria:

$$m = \text{massa dell'oggetto} \quad F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad \rightarrow \text{dato che } v = \omega \cdot r$$

**Centrifuga:** lat. fugge (si allontana) dal centro

Attenzione: la velocità varia con il raggio (da punto a punto), mentre l'oggetto ha tutto una velocità angolare  $\omega$

Es.2

Una giostra di raggio 5m compie un giro completo in 10s.

Calcola la forza centrifuga che agisce su una persona di massa 50 kg che si trova sul bordo della giostra.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10} = 0,628 \text{ rad/s} \quad F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = 50 \cdot 0,63^2 \cdot 5 = 99,2 \text{ N}$$

### 3. Forza di Coriolis:

è una forza di deviazione che si manifesta quando un corpo si muove in un sistema di riferimento ruotante. Dipende dal fatto che la terra non è un sistema di riferimento inerziale => se ci muoviamo sulla terra, la terra gira sotto di noi => si produce una deviazione

È alla base del funzionamento del pendolo di Foucault-> dimostro che terra ruota su se stessa

## 10. b) LEZIONE: Le forze apparenti nello sport

**Il mistero delle forze apparenti:** chi esercita la forza che ci spinge sul bus/ci schiaccia sulla giostra?

### Forza di inerzia

► Cosa vede chi è a terra?

- Finché il bus procede a  $v$  cost (es. 50 km/h), le persone che procedono alla stessa velocità
- Bus frena: Per l'osservatore fermo a terra, il ragazzo non viene spinto in avanti: tende a proseguire il moto a  $v$  costante es. 50 km/h (-> perché **principio di inerzia**: un corpo non sottoposto a forze continua nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme), ma viene trattenuto dalla forza applicata dal bus nei punti di contatto: mano (maniglia bus) e piedi (attrito).

► Se l'attrito non ci fosse...

Se a bordo di un autobus fermo c'è un pallone e la forza d'attrito tra pallone e pavimento è 0, quando l'autobus parte il pallone rimane fermo per chi è a terra (visto che non c'è attrito). Chi è a bordo lo vede rotolare all'indietro. → per esserci una forza apparente **c'è bisogno di un contatto**

### Forza centrifuga

► Cosa vede chi è a terra?

- osservatore vede gente che gira MA non può essere, perché in assenza di forze, uno va dritto (moto rettilineo uniforme), quindi se persone girano c'è forza che spinge

L'osservatore a terra vede i **seggolini che applicano una forza centripeta** ai passeggeri per fargli cambiare direzione. (passeggero sente spinta verso l'esterno che in realtà è il seggiolino che si porta dietro i passeggeri nel suo movimento). Se i seggiolini scomparissero (contatto mancante), i passeggeri partirebbero lungo la retta tangente con moto rettilineo uniforme, come il martello del lanciatore.

### **Equazioni forza centripeta e centrifuga**

↪ Sistema di riferimento inerziale: Il moto della bambina sulla giostra: equazione della dinamica  
 ->  $F = m \cdot a$  -> massa della bambina per la sua accelerazione (accelerazione centripeta)

➔  $F_c = m \cdot \frac{v^2}{r}$  (=per far acquisire alla bambina questa accelerazione serve questa forza applicata dalla struttura della giostra)

↪ Sistema di riferimento non inerziale: dobbiamo modificare le equazioni della dinamica, non valgono le leggi della dinamica in maniera immediata

L'osservatore sulla giostra vede la bambina ferma, perché in equilibrio fra forza centrifuga e centripeta (la loro somma è 0)

$$F_c = F_{centrifuga}$$

**Spiegazione aggiuntiva SEMPLICE:**

**FORZA CENTRIFUGA:**

FORZA CENTRIPETA: è la forza che tiene il corpo che si muove di moto circolare uniforme su una traiettoria (senza questa forza il corpo partirebbe per la tangente con moto rettilineo uniforme =principio di inerzia) → esercitata p.e. dai seggiolini della giostra o dal lanciatore del martello

**Dipende dal sistema di riferimento:**

- Per chi sta a terra la bambina si muove di moto circolare uniforme grazie alla forza centripeta
- Per chi sta sulla giostra la bambina è ferma => ci dev'essere un equilibrio di forze  
Forza centripeta equilibrata dalla forza CENTRIFUGA -> **apparente !!**, dovuta solo al fatto che la giostra ruota, nessun corpo la esercita  
-> la somma è 0 => bambina ferma

Giostra che gira e osservatore a terra sono 2 sistemi di riferimento diversi: quello dell'osservatore a terra è inerziale, quello del signore sulla giostra che gira no

**FORZA DI INERZIA:**

**Dipende dal sistema di riferimento:**

- Per chi sta a terra, il pallone è fermo  
Per chi sta sul bus che si muove (e quindi si muove con il bus), il pallone rotola all'indietro -> sistema di riferimento diverso (in movimento), in realtà è il bus a muoversi e non la palla (rimane dov'è)
- Il pallone rimane fermo rispetto alla terra, non c'è attrito quindi il bus non esercita alcuna forza sul pallone => no si muove con il bus ma rimane fermo
- Rispetto al sistema di riferimento che viaggia alla velocità del bus, si parla di moto della palla (all'indietro) -> si muove all'indietro quindi con velocità uguale e verso opposto data la mancanza di attrito

## FORZE APPARENTI NELLO SPORT

->forze apparenti sono tanto più grandi quanto più grandi sono le accelerazioni

**Le forze apparenti su un pilota**

Un'auto da corsa effettua delle accelerazioni molto violente. Il pilota è sottoposto a forze di inerzia e centrifughe molto intense. (es. parte e acquista accelerazione lineare; curve: acc. centripeta per l'osservatore esterno, centrifuga per il pilota a bordo)

**La G-Force (che non è una forza):**

è la somma delle forze apparenti (forza di inerzia e forza centrifuga) cui è sottoposto il pilota, divisa per la sua massa. In sostanza coincide con l'accelerazione del sistema-auto rispetto a terra. Non viene espressa in  $m/s^2$  ma in **g**, cioè in multipli dell'accelerazione di gravità. (perché: 1. Più comodo, 2. Più comprensibile di  $50 m/s^2$ )

⇒ accelerazione di 5G = per sollevare il mio braccio devo fare uno sforzo 5 volte superiore a quello che faccio normalmente

**Somma**, perché: ci possono essere dei momenti in cui ci sono entrambe

Es. entro in una curva ma non la affronto a velocità costante, entro nella curva decelerando ed esco accelerando

=>oltre a variare la direzione della  $v$  varia anche il modulo, quindi in qualche caso le forze si possono sommare

In TV o videogiochi si può vedere anche in che direzione agisce la somma delle 2 forze (=Gforce)

$$G_F = \frac{a}{9,8}$$

Forza divisa massa  
= acceleraz. => G-force

**g-Force rettilinea:**  $1g = 9,8 m/s^2$

accelerazione (con segno negativo perché essendo forza di inerzia ha il verso opposto all'accelerazione del veicolo) divisa per 9,8

Es.1: partenza del GP

Alla partenza di un GP un'auto raggiunge la velocità di 200 km/h in 4,2 s.

Calcola la G-Force cui è sottoposto il pilota.

$$v_{m/s} = \frac{v_{km/h}}{3,6} = \frac{200}{3,6} = 55,6 m/s$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{55,6 - 0}{4,2 - 0} = 13,2 m/s^2$$

$$G_F = \frac{a}{9,8} = \frac{13,2}{9,8} = 1,3 g$$

->forza orizzontale superiore a forza di gravità

**La G-Force trasversale**

Durante una curva il pilota è sottoposto ad accelerazione centrifuga  $a_c = \frac{v^2}{r}$  e perciò la sua  $G_f$  vale:

$$G_F = \frac{a_c}{9,8}$$

->forza laterale che lo spinge verso l'esterno, ma in effetti è la macchina che lo tiene all'interno

-Accelerazione centrifuga è uguale e contraria all'accelerazione centripeta-

Le G-Force maggiori che si manifestano negli sport di motori sono in decelerazione, freni talmente potenti/efficaci che riescono a creare delle decelerazioni potentissime (sempre G-Force ma diretta in avanti)

**G-Force rettilinea**  
equivalente forza d'inerzia  
**G-Force trasversale**  
equivalente a forza centrifuga

Es.2: la curva di Lesmo

La prima curva di Lesmo nel circuito di Monza ha un raggio di curvatura di 75m (cerchio osculatore che approssima la curva). Un'auto la percorre a 180 km/h.

Calcola la G-Force trasversale che agisce sul pilota.

$$v_{m/s} = \frac{v_{km/h}}{3,6} = \frac{180}{3,6} = 50 m/s$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{2500}{75} = 33,3 \text{ m/s}^2$$

$$G_F = \frac{a}{9,8} = \frac{33,3}{9,8} = 3,4 \text{ g}$$

-> forza trasversale dovuta all'effetto della curva è superiore a quella che si ha alla partenza

**E quindi l'effetto Coriolis?** In campo sportivo generalmente possiamo trascurare l'effetto Coriolis. ↳ dipende dalla velocità angolare del sistema di riferimento (terra) e dalla velocità dell'oggetto. Nel calcio è poco rilevante (v angolare terra è bassa perché periodo di rotazione è 24 ore; velocità pallone calciato è bassa)

Con qualche eccezione, es. il tiro a segno a lunga distanza (1000 m). In questo caso la grande velocità del proiettile e la lunga distanza fanno sì che la deviazione causata dalla forza di Coriolis sia rilevante. ->attenzione: emisfero nord (boreale) deviazione è verso destra, emisfero sud (australe) verso sinistra, applicazioni che in base a latitudine, velocità proiettile, distanza bersaglio ecc. calcolano la deviazione dovuta all'effetto coriolis

### 11. a) LEZIONE: I sistemi elastici

->fino adesso si è parlato solo di corpi rigidi (indeformabili, corpo mantiene forma in tutte le circostanze), ma nessun corpo è sempre perfettamente rigido

Le **deformazioni** (applicando forza) possono essere **elastiche** (il corpo recupera la propria forma dopo aver tolto causa della deformazione) o **plastiche** (il corpo rimane deformato).

Noi ci occuperemo solo di sistemi elastici.

Es. elastiche: ammortizzatore, plastiche: macchina in crash test

#### La forza elastica

è definita dalla legge di Hooke: applicando un peso ad una molla (fatta apposta per deformarsi, sfruttiamo questa proprietà) la molla si allunga e la deformazione è proporzionale all'entità del peso che abbiamo applicato

$k$  è la **costante elastica**, o rigidezza della molla. Si misura in N/m.

↳ segno meno perché la forza elastica applicata dalla molla è tale da opporsi allo spostamento (tirando o spingendo vuole tornare sempre al suo stato iniziale),  $x$  è la **deformazione**

#### Il sistema massa-molla $\vec{F}_k = -k\vec{x}$

Consideriamo un sistema massa-molla cui non sono applicate forze esterne (peso, attriti), c'è solo la forza/reazione vincolare che tiene la molla attaccata da qualche parte.

#### - L'oscillatore armonico

Molla ha lunghezza a riposo; se il sistema massa-molla viene allontanato dalla posizione di equilibrio (spostamento  $x$ ), quando lasciamo libera la massa, comincia a oscillare attorno alla posizione di riposo/equilibrio. In assenza di attriti, l'equazione del moto è:  $ma = -kx$

#### - Il moto armonico:

Se risolviamo questa funzione (differenziale), il moto della massa prende il nome di moto armonico, e ha equazione:

$$x = A \cos(\omega t)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$x$  = spostamento (la posizione della massa in funzione del tempo è dato dall'ampiezza  $A$  (di quanto avevamo spostato la massa rispetto all'equilibrio ->spostando la massa di 0,1m =>  $A = 0,1$ )

$\cos$  = funzione sinusoidale, ha un periodo ( $T$ ), una pulsazione ( $\omega t$ ) e assume valori sia positivi che negativi che oscillano tra +1 e -1 => valore spostamento  $x$  oscilla tra  $+A$  e  $-A$

$\omega$  dato dalla radice della rigidezza della molla ( $k$ ) diviso la massa (caratteristiche del sistema)

#### Legge Hooke:

Forza applicata e deformazione di un corpo elastico sono proporzionali

Massa oscilla tra un valore massimo positivo che è  $+A$  (0,1 m positivi) e valore minimo  $-A$  (-0,1m)  
 È periodico e infinito (massa oscilla finché qualcuno non la ferma con la forma di una sinusoide)  
 Velocità dello spostamento è data da  $\omega$

### Il moto armonico e il moto circolare

Il moto armonico è la proiezione di un moto circolare uniforme lungo un asse/un piano (come giostra vista da un lato-> cavallucci non girano ma vanno avanti e dietro)

->Valgono tutte le formule già studiate che legano  $T$ ,  $f$  e  $\omega$

( $\omega$  si chiama pulsazione e non velocità angolare)

periodo in sec. (s), frequenza in Hertz (Hz)

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{\omega}{2\pi}$$

#### Significato formula:

La frequenza di oscillazione vale

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

↳  $k$  al numeratore,  $m$  al denominatore

Quindi un sistema con molla rigida oscilla più velocemente/compie più cicli (frequenza più alta)  
 un sistema con massa elevata (e molla debole/cedevole) il sistema oscilla più lentamente;  
 → modificando questi parametri ( $k$  e  $m$ ) si modifica la frequenza di oscillazione del sistema, detta anche **frequenza propria** del sistema

Attenzione: la frequenza di oscillazione non dipende da quanto noi abbiamo allontanato il sistema dall'equilibrio, tirandola di 2,4,10 cm non fa nessuna differenza, oscillerà sempre alla stessa frequenza; nella realtà: se tiriamo troppo la molla usciamo dal campo elastico e deformiamo la molla permanentemente => deformazione plastica

**Frequenza** = numero di cicli che il sistema compie in un secondo  
 Più alta è la frequenza, più i picchi della funzione sono ravvicinati  
 (=>Periodo diventa più piccolo)  
 Più è bassa, più i picchi sono distanti  
 (=>Periodo diventa più grande)

### Il moto del pendolo

->Galileo osservò questo fenomeno delle oscillazioni: non importava quanto fossero grandi le oscillazioni del pendolo, il loro periodo era sempre lo stesso =isocronismo delle piccole oscillazioni del pendolo (per questo motivo pendolo importante per la misurazione del tempo)

Anche un **pendolo** si muove di **moto armonico** (sinusoidale), se le sue oscillazioni sono piccole (fino a 6 gradi di oscillazione). Il periodo non dipende né dalla massa (quindi dal peso attaccato al pendolo) né dall'ampiezza delle oscillazioni (purché restino piccole)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

->sempre costante

$l$  = lunghezza pendolo

Es.1: la frequenza di un oscillatore

$g$  = acc. di gravità

Un oscillatore armonico ha massa 1kg e costante elastica di 5 kN/m (=5000N su un metro)

Calcola la sua frequenza propria

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{5000}{1}} = 11,25 \text{ Hz} \approx 11,3 \text{ Hz}$$

=>sistema oscilla circa 11 volte al secondo, compie 11 cicli in un secondo

Se aumentiamo la massa a 2kg, avremmo radice di 2500 e otterremo frequenza più bassa

Se rendiamo la molla più rigida, la frequenza propria aumenterà

CONSIDERANDO GLI ATTRITI (aria, acqua, strisciamento/rotolamento)

#### Le oscillazioni smorzate

Corde di una chitarra: ogni corda ha frequenza di oscillazione propria (diversa dalle altre), per questo ne abbiamo 6 (=note diverse), frequenza cambiata tramite accordatura dello strumento  
 ->tirando o rilasciando la corda cambiamo il suo periodo di oscillazione

Pizzicando la corda, non vibra all'infinito ->si ferma perché subentra l'attrito dell'aria

In presenza di attriti, le oscillazioni diventano sempre più piccole (ampiezza) e la massa si ferma.

→ durante lo smorzamento il periodo/frequenza delle oscillazioni rimane costante (=>note non cambiano, si ferma solo il suono perché oscillazioni più piccole)

### Il sistema massa-molla-smorzatore

Per tenere conto della presenza degli attriti, si aggiunge al sistema massa-molla uno smorzatore viscoso (rappresentato come pistone dentro un cilindro), che applica al sistema una forza proporzionale alla velocità della massa (segno meno perché si oppone allo spostamento) secondo un **coefficiente di smorzamento** ( $c$ ) e si misura in Ns/m (Newton secondi diviso metro):

$$F_s = -c v$$

**Attrito viscoso:** dipende linearmente dalla velocità ma non dal quadrato, attrito che incontriamo quando ci muoviamo a basse velocità in un mezzo viscoso (es. olio)

-> smorzatore genera questa forza di attrito, diversa da quelle viste nelle lezioni precedenti, ricapitolando:

- 1) **Attrito secco:** costante, dipende da forza che preme le 2 superfici una contro l'altra e dal coefficiente di attrito (a qualunque velocità io mi muova è costante)
- 2) **Attrito del mezzo:** dipende dal quadrato della velocità, più vado veloce più forte è questa resistenza del mezzo che incontro ( $k \cdot v^2$ )

### Vari tipi di smorzamento

A seconda dei valori di  $m$ ,  $k$  e  $c$  (=di quanto è forte lo smorzatore) il sistema può tornare in quiete:

- **Smorzamento sottocritico** = smorzamento debole (es. corda chitarra)-> lasciato libero **oscilla** in modo smorzato e poi si ferma
  - **Smorzamento sovracritico** = smorzamento forte ->**senza oscillazioni**, sistema ritorna con legge esponenziale in situazione di quiete lentamente
  - **Smorzamento critico** = **senza oscillazioni**, riposta il sistema in quiete in maniera monotona (senza variazioni di direzione) nel **tempo più rapido/minor tempo possibile** e si ha per:  $c = 2\sqrt{k \cdot m}$
- Diversi sistemi per diverse circostanze/diversi impieghi

Es.2: lo smorzamento critico

Usando i valori di  $m$  e  $k$  dell'es., trovare il valore di  $c$  per ottenere lo smorzamento critico.

$$c = 2 \cdot \sqrt{k \cdot m} = 2 \cdot \sqrt{5000 \cdot 1} = 141,4 \text{ Ns/m} \quad (\text{Newton per secondo diviso metro})$$

## 11. b) LEZIONE: I sistemi elastici nello sport

### L'ammortizzatore

- sistema meccanico montato su macchine, moto e molte bici
- funziona come un sistema molla-smorzatore
- smorzamento viscoso realizzato facendo passare dell'olio attraverso un orifizio.
- L'ampiezza dell'orifizio determina  $c$ .
- **Principio:** **pistone** si muove **dentro l'olio**, dentro questo pistone ci sono dei **fori** ->quando pistone scende, **l'olio attraversa i fori** e passa dalla **camera inferiore** del tubo **a quella superiore**, quando pistone sale fa il cammino inverso
- Allargando/restringendo questi fori si riesce a determinare quanta forza fa l'olio sul pistone e quindi si riesce a determinare il coefficiente di smorzamento
- La **massa** sono le altre parti del veicolo e la massa del pilota/ciclista

### Ammortizzatore della MTB

- Bicicletta progettata per terreni irregolari -> è bene che possieda parte deformabile/sistema elastico in maniera che l'impatto derivante dagli ostacoli non sia assorbito completamente dalla parte meccanica e dalla persona
- geometria delle sospensioni di una MTB varia, ma il principio fondamentale con l'ammortizzatore non varia
- esistono ammortizzatori con le molle, nella pratica quasi sempre molle ad aria (=aria si comprime elasticamente e riprende la sua posizione)
- ogni ammortizzatore dispone di numero di regolazioni che permettono di variare  $k$  e  $c$  per avere il comportamento dinamico desiderato (anche in funzione della  $m$  del ciclista)

### Tutti i sistemi sono elastici

I **corpi rigidi non esistono nella realtà**. Tutti i corpi si comportano come sistemi elastici.

es. mano che schiaccia su un tavolo che a noi sembra rigido, in realtà localmente abbiamo una deformazione a livello degli atomi

**Ogni corpo ha una frequenza propria** (dato che tutti si deformano e poi riprendono la loro forma), -> se vengono percossi si mettono in movimento, vibrano, vibrazioni si smorzano e sistema torna in quiete; frequenza misurata con degli **accelerometri** (moto armonico anche la velocità e accelerazione seguono una legge armonica, possiamo misurare l'accelerazione del corpo e risalire alla frequenza propria) collegati a oscilloscopio/analizzatore di frequenza

Un **trampolino** (tuffi) e un **tappeto elastico** possono essere in prima approssimazione trattati come molle (=oggetti che si deformano elasticamente e la cui deformazione è proporzionale alla forza applicata). Per determinare  $k$  (rigidezza) basta applicare un peso e misurare la deformazione => otteniamo costante elastica

Es.1: la  $k$  del trampolino

Un'atleta di massa 54 kg in piedi all'estremità del trampolino la abbassa di 12 cm (=deformazione).

Calcola la costante elastica del trampolino.

$$P = k \cdot x \rightarrow k = \frac{m \cdot g}{x} = \frac{54 \cdot 9,8}{0,12} = 4,4 \text{ kN/m}$$

$$\vec{F}_k = -k\vec{x}$$

trampolino ammette una regolazione, il fulcro sul quale appoggia la tavola del trampolino può essere spostato -> rigidità varia

Legge di Hooke,  $F$  è forza peso ( $P$ )

Es.2: la  $f$  propria del trampolino

Se accorciamo il trampolino spostando il suo punto d'appoggio (diminuiamo la lunghezza del trampolino), la sua  $f$  aumenta, diminuisce o rimane invariata?

Risposta: accorciando il trampolino, la deflessione diminuisce => molla diventa più rigida =>  $f$  propria aumenta (più oscillazioni)

200 GPa = 200 miliardi Pa

**Densità e rigidezza dei materiali**, caratteristiche/parametri:

- Modulo di elasticità (GPa): è un modo diverso di esprimere la costante  $k$  (rigidezza materiale, quanto si allunga se viene tirato); si misura in  $\text{N/m}^2$  che è un Pascal => si misura in megapascal (MPa) o gigapascal (GPa)
  - Densità (=peso specifico): ci dice quanto pesa; si misura in  $\text{g/cm}^3$
  - Tensione e Rottura (MPa): quanto carico può sopportare prima di rompersi
  - Allungamento a rottura (%): quando si rompe, di quanto si è allungato rispetto a forma iniziale
- > diverse leghe metalliche con diverse caratteristiche (*acciaio, alluminio, titanio*)

*fibra di carbonio*

- materiale composito, filamenti di carbonio dentro ad una matrice (resina)
- leggerissima, molto resistente, rigida (se rapportata al peso), (non si allunga/non è duttile)

- diffuso nella costruzione di attrezzature sportive
- unico problema: non tollera bene lo sfregamento->matrice si consuma velocemente

I materiali sono caratterizzati da una e da un **coefficiente di rigidità E** (modulo di Young). Lo stesso attrezzo costruito con materiali diversi ha comportamenti elastici diversi.

**Ogni deformazione è una perdita di energia** ->importante che attrezzature siano rigide

Per deformare un corpo serve energia meccanica, che viene in parte dissipata nel ritorno alla forma originaria. (energia per deformarsi la diamo noi, ma ne viene restituita solo una parte)

### Prestazioni e malanni

La risposta dinamica delle attrezzature (sistemi vibrano/oscillazioni smorzate) si trasmette sempre al corpo dell'atleta (sollecitazioni). (es. gomito del tennista dovuto alle vibrazioni della racchetta, problemi alla schiena ciclisti)

La ricerca della performance (prestazione strumento sportivo) può causare problemi fisici p.e. telaio bici troppo rigido.

**Scarpa sportiva** = sistema massa-molla-smorzatore: massa atleta (+scarpa), elementi elastici ed elementi che fanno da smorzatore (entrambi generalmente elementi in gel/schiuma)

Novità scarpa: inserto in fibra di carbonio

Ci deve essere smorzamento, ma parte dell'energia meccanica viene restituita ->molla più rigida ci restituisce più energia (molle a fusillo nelle scarpe non permesse, inserto/molla di carbonio si)

→Qualunque sia la struttura, anche della scarpa di un runner, le sue caratteristiche si possono sintetizzare nei parametri  $m$ ,  $k$  e  $c$ .

## 12. a) LEZIONE: Lavoro ed energia

### Forze che si muovono

Una colonna di un tempio esercita una forza immensa, ma non può spostarsi (=forza statica)

Una formica esercita una piccola forza (in realtà grande rispetto alla sua massa), ma può spostarsi.

**Il lavoro** (grandezza fisica)

Si chiama lavoro il prodotto della forza  $F$  per lo spostamento  $s$  per il coseno dell'angolo  $\alpha$  compreso tra i 2 vettori:

$$L = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

(modulo della forza per il modulo dello spostamento per il coseno dell'angolo)

$L$  è una **grandezza scalare** e nel SI si misura in **Joule (J)**;  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$

#### Coseno di un angolo

Cos è 1 quando l'angolo vale 0

Cos è 0 quando l'angolo vale  $90^\circ$  o  $\frac{\pi}{2}$

#### Prodotto scalare

Prodotto tra 2 vettori che poi danno uno scalare

**Lavoro motore e resistente**, varie circostanze:

Se:

- $L > 0$  è detto **lavoro motore**: l'angolo tra la forza e lo spostamento è acuto, il lavoro è positivo  
-> forza provoca/aiuta lo spostamento del corpo a cui è applicata (componente  $F_{\parallel}$  (parallela a  $s$ ) è concorde allo spostamento)
- $L < 0$  è detto **lavoro resistente**: l'angolo tra forza e spostamento è ottuso, il lavoro è negativo  
-> forza non aiuta il movimento corpo ma bensì lo frena (componente  $F_{\parallel}$  in verso opposto/discorde da  $s$ )
- $L = 0$  è detto **lavoro nullo**: l'angolo tra la forza e spostamento è retto, il lavoro è nullo  
-> forza in una direzione, spostamento avviene nella direzione perpendicolare: cos vale  $90^\circ$ , il coseno di  $90^\circ = 0 \Rightarrow$  lavoro 0

Chiamiamo  $F_{\parallel} = F \cdot \cos \alpha$  la componente di F parallela allo spostamento: l'unica che produce lavoro.

**Le forze a lavoro nullo**

- forze che come effetto non spingono o frenano il corpo ma lo deviano (cambiano direzione)
- Alcune forze sono sempre perpendicolari allo spostamento, quindi non producono lavoro.
- principali forze a lavoro nullo: **reazioni vincolari** (tutte: esercitate da un piano, di uno snodo, cerniera, guida cilindrica ecc ->impediscono al corpo di fare certi movimenti (es. attraversare piano inclinato) ma non spingono e non frenano) e la **forza centripeta** (forza applicata dal lanciatore tiene la sfera su una traiettoria circolare ma non la accelera ne la frena, la devia)

### Lavoro della forza peso (MOTORE)

Se un corpo di massa  $m$  cade da un'altezza  $h$  (perpendicolare, caduta libera), la forza peso compie un lavoro (motore):

$$L = F \cdot s = m \cdot g \cdot h$$

Forza peso:  $P = m \cdot g$

Forza peso e spostamento sono verticali (  $\cos \alpha$  vale 1 => lo ignoriamo)

Peso si comporta da forza motrice perché forza e spostamento sono paralleli

### Lavoro forza d'attrito (RESISTENTE)

Se un corpo striscia per una distanza  $d$ , la forza d'attrito compie un lavoro (resistente):

$$L = F_a \cdot d = \mu_d \cdot m \cdot g \cdot d$$

Forza attrito:  $F_a = \mu_d \cdot m \cdot g$

Attrito si oppone al moto di un corpo, lo frena: forza lungo stessa direzione ma diretta in verso opposto al movimento, ( $\alpha$  vale 0 quindi  $\cos \alpha$  vale 1)

$\mu_d$  = coefficiente di attrito dinamico perché corpo in movimento (se corpo fosse fermo problema del lavoro non si porrebbe, perché spostamento 0)

Anche resistenza del mezzo compie un lavoro resistente (più complicato)

Es.1: il lavoro di frenata

Un'auto di massa 900kg frena sull'asfalto ( $\mu_d = 0,7$ ) per 50m, calcola il lavoro compiuto dalla forza di attrito

$$L = F_a \cdot d = \mu_d \cdot m \cdot g \cdot d = 0,7 \cdot 900 \cdot 9,8 \cdot 50 = 308.700 \text{ J}$$

->Joule è unità di misura piccola, per questo bollette elettricità espresse in kW/h

### Il lavoro e l'energia

- Definiamo **l'energia** come la capacità che un corpo possiede di compiere un lavoro
- In effetti il **lavoro** consiste nel trasferimento di energia da una forma a un'altra
- applicato anche a esseri viventi: uomo sul divano vs. uomo che si muove (ha energia)
- es. energia meccanica, termica, chimica, nucleare,...

### Energia potenziale

- Se un corpo di massa  $m$  si trova a un'altezza  $h$ , la forza peso può compiere su di esso un lavoro

$$L = m \cdot g \cdot h$$

- Corpo quindi possiede quindi un'uguale energia pari a  $m \cdot g \cdot h$ , che prende il nome di **energia potenziale  $E_p$**

- $E_p$  è sempre riferita ad un livello scelto arbitrariamente, es. livello  $h$ , poi a quello riferiamo tutte le energie potenziali e avremo  $h_1, h_2, \dots$

-> es. corpo ha energia  $m \cdot g \cdot h_1$  rispetto al tavolo,  $m \cdot g \cdot h_2$  rispetto al pavimento

Es.2: l'energia potenziale

**$E_{pot}$**  = energia che il corpo possiede grazie alla sua posizione

**$E_c$**  = energia che il corpo possiede grazie al suo movimento

G.D.

Una roccia di massa 50kg si trova ad un'altezza di 20m dal suolo. Calcolala sua energia potenziale

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 50 \cdot 9,8 \cdot 20 = 9.800 J$$

### Energia cinetica

- Se un proiettile di massa  $m$  viene sparato verso l'alto con una velocità  $v$ , raggiunge un'altezza  $h = \frac{v^2}{2g}$  (se trascuriamo gli attriti)
- Se proiettile arriva così in alto, poi si trova nella posizione di avere energia potenziale pari a  $m \cdot g \cdot h$ , allora nel momento in cui parte con la sua velocità possiede un'energia che consente poi in caduta alla forza peso di compiere il suo lavoro
- corpo che si muove verso l'alto (ma anche in orizzontale) possiede quindi un'energia pari a:

$$E_c = m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Questa forma di energia = cinetica, più aumenta velocità più aumenta energia (col quadrato!)

Es.3: energia cinetica di un proiettile

Un proiettile di massa 20g viene sparato verso l'alto con velocità 200m/s.

Calcola la sua energia cinetica.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,02 \cdot 200^2 = 400 J$$

### L'energia elastica

- Se comprimiamo una molla (da situazione di riposo, applichiamo forza e spostiamo il punto di applicazione di questa forza) di costante elastica  $k$  di una lunghezza  $x$  compiamo un lavoro  $L$ :
- forza per spostamento => lavoro  
triangolo sotto funzione: base  $x$  per altezza  $kx$   
comprimendo molla compiamo lavoro pari a:  $L = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ .
- forza che si oppone a questo spostamento è  $kx$  -> man mano che comprimiamo la molla dobbiamo affrontare forza sempre maggiore
- la molla si ritrova questo lavoro sotto forma di energia (si può riallungare, può fare  $L$  al contrario) → quindi una molla compressa possiede un'energia elastica, pari a:

!! se un oggetto si muove in orizzontale senza incontrare attriti è soggetto solo alla forza peso e alla reazione vincolare che sono entrambe perpendicolari al suo spostamento => nessuna delle 2 forze sta compiendo un lavoro => principio di inerzia, oggetto continua con la stessa velocità

## 12. b) LEZIONE: Lavoro ed energia nello sport

->Atleta muovendosi compie un lavoro (qualunque sport)

### Il teorema dell'energia cinetica

Il lavoro (motore o resistente) che una forza svolge su un corpo è uguale alla variazione dell'energia cinetica del corpo. Il teorema è dato da :

$v_f^2$  = velocità finale al quadrato  
 $v_i^2$  = velocità iniziale al quadrato

$$L = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2$$

$\Delta$  = variazione, differenza  
=> Energia cinetica finale  
meno energia cinetica iniziale

Applico lavoro => energia cinetica cambia di una quantità uguale al lavoro che ho applicato

### Significato del teorema

Ogni volta che una forza che non sia a lavoro nullo agisce su un corpo, o lo accelera o lo frena.  
(forza NON a lavoro nullo quindi NON reazione vincolare o forza centripeta)  
→ aumento o diminuisco la sua energia cinetica; siccome massa è costante → aumento o diminuisco al sua velocità

- Se lavoro motore: accelero → variazione Energia cinetica è positiva
- Se lavoro resistente: freno → variazione Energia cinetica è negativa

ESEMPLI:

Corpo cade (forza peso): lavoro motore → energia cinetica aumenta (lavoro positivo)

Auto in frenata (attrito): lavoro resistente → energia cinetica diminuisce (lavoro negativo)

Bob a 4 lavoro compiuto da forza muscolare atleti: lavoro motore → energia cinetica aumenta

È un teorema "potente": spesso non sappiamo esattamente come si manifesta la forza, es. forza sviluppata dagli atleti alla partenza del bob, MA se sappiamo quanto è la velocità finale e iniziale allora riusciamo a calcolare il lavoro compiuto e conoscendo poi la distanza percorsa calcoliamo la forza che hanno applicato => ci risparmiamo la misurazione della forza che è complessa

Es.1: la partenza del bob

Un bob di massa 180 kg viene accelerato da 0 a 5 m/s dai due atleti che lo spingono.

Calcola il lavoro complessivo degli atleti.

$$L = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2 = \frac{1}{2} \cdot 180 \cdot 5^2 - \frac{1}{2} \cdot 180 \cdot 0^2 = 2.250 \text{ J}$$

→ Energia cinetica iniziale era 0 quindi la trascuriamo

Es.2: lo spazio di frenata

Un'auto di massa 1300 kg viaggia a 90 km/h su una pista rettilinea.

Il coefficiente di attrito tra gomme e pista vale 0,8.

Calcolare la distanza che impiega per fermarsi.

$$v_{m/s} = \frac{v_{km/h}}{3,6} = \frac{90}{3,6} = 25 \text{ m/s}$$

$$L = \mu_d \cdot m \cdot g \cdot d = -\frac{1}{2} m \cdot v_i^2 \rightarrow d = \frac{\frac{1}{2} v_i^2}{\mu_d \cdot g} = \frac{312,5}{7,84} = 40 \text{ m}$$

Applichiamo teorema energia cinetica, in questo caso l'E cinetica finale è 0 perché la macchina si ferma, l'E cinetica iniziale è  $\frac{1}{2} m \cdot v_i^2$   
Segno meno perché è un  $\Delta$  ma il primo termine è 0, quindi –  
=> lavoro negativo

→ m da entrambi i lati, quindi si semplifica => non serve sapere la massa, lo spazio di frenata non dipende dalla massa della macchina

È vero che macchina pesante è più difficile da fermare, ma anche vero che siccome è più pesante la forza di attrito tra ruote e asfalto è maggiore -  
> dipendono entrambe in modo lineare dalla massa

Come avevo svolto l'esercizio io:

$$L = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2 = \frac{1}{2} \cdot 1300 \cdot 25^2 - \frac{1}{2} \cdot 1300 \cdot 0^2 = 406.250 \text{ J}$$

$$L = F_a \cdot d = \mu_d \cdot m \cdot g \cdot d \rightarrow d = \frac{L}{\mu_d \cdot m \cdot g} = 39,8596 \text{ m}$$

**Il lavoro della forza elastica**

Se si considera una molla e il lavoro della forza elastica

es. molla che lancia la pallina in un flipper

Per **comprimere la molla** compiamo un lavoro pari a:  $L = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$

k = costante elastica  
x = accorciamento molla

si tira la molla => si comprime, quando lasciamo la **molla** lei riprende la sua lunghezza iniziale (**si distende**) e **restituisce** tutto il **lavoro** accumulato, trasmettendolo/**applicandolo alla pallina**  
 → energia cinetica che acquista la pallina è esattamente uguale al lavoro compiuto dalla molla distendendosi (lavoro compiuto =  $\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$  e l'energia cinetica della pallina è  $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ )

-> equazione che ci permette di capire quanto veloce parte la pallina:

$$L = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Più comprimiamo la molla (quindi più grande è  $x$ ), più veloce ( $v$ ) sarà la pallina (dato che rigidità della molla  $k$  e massa della pallina  $m$  sono costanti)

Es.3: l'energia elastica del trampolino

Un trampolino di costante elastica  $k = 4,5$  kN/m si flette di 0,4m (saltandoci sopra).

Quale velocità conferisce a una tuffatrice di massa 54 kg quando ritorna in posizione di riposo

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{kx^2}{m}} = \sqrt{\frac{720}{54}} = 3,7 \text{ m/s}$$

Energia elastica è uguale all'E cinetica che viene poi conferita alla tuffatrice  
 -> massa qui non trascurabile

### L'energia meccanica

È la somma della sua energia cinetica e potenziale:

$$E = E_c + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$

### La conservazione dell'energia meccanica

- In assenza di attriti, l'energia meccanica di un corpo si mantiene costante. L'energia potenziale si trasforma in cinetica e viceversa, ma la loro somma è costante.
- Corpo sale e scende:
  - ↳ Energia potenziale diminuisce quando corpo scende e aumenta quando sale
  - ↳ Energia cinetica aumenta quando corpo scende e diminuisce quando corpo sale
 ma la loro somma è costante
- PERÒ nella realtà non è vero, gli attriti si "mangiano" l'energia e dopo un po' non se ne ha più, va persa

**Esempio:** 10 monete e 2 tasche, si può distribuirle come si vuole, ma la somma sarà sempre la stessa

Esempio: la velocità di caduta

-> tuffatore si tuffa da un'altezza  $h$ ; con quale velocità arriva in acqua?

- **Sulla piattaforma** (non trampolino, quindi NO energia elastica) l'energia cinetica è 0, l'energia potenziale e di conseguenza meccanica (dato che  $E_c = 0$ ) vale:  $E = mgh$   
 (sopra: tutta potenziale, niente cinetica)
- **All'ingresso in acqua** (altezza  $h = 0$ , livello riferimento è l'acqua) l'energia potenziale è 0, tuffatore possiede però una velocità e quindi un'energia cinetica; di conseguenza l'energia meccanica vale:  $E = \frac{1}{2}mv^2$   
 (sotto: tutta cinetica, niente potenziale)
- **Energie sono uguali** => le eguagliamo

Uguagliando le due E si ha:  $mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{2gh}$

(nella formula non c'è la massa:  $v$  non dipende dalla massa, ma **solo perché trascuriamo gli attriti**)

Es.4: dal ponte di Mostar

Il ponte di Mostar è alto 27m. Calcola la  $v$  di arrivo in acqua

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 27} = 23 \text{ m/s}$$

Es.5: l'altezza massima

Un proiettile di massa 20g viene sparato verso l'alto con velocità 200 m/s.

Calcola l'altezza massima che raggiunge

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{200^2}{2 \cdot 9,8} = 2041 \text{ m}$$

->inizialmente ha energia cinetica, poi solo potenziale

Teoricamente:

->anche qui si semplifica  $m$ : quando corpo parte con una certa velocità  $v$ , non importa se corpo è pesante o leggero arriva sempre alla stessa altezza MA NELLA REALTÀ C'È LA RESISTENZA DELL'ARIA !!

->proiettile non va in alto 2 km, resistenza aumenta con il quadrato della velocità =>con velocità molto grande anche la resistenza molto grande

### L'energia meccanica e il salto con l'asta

L'atleta accumula energia cinetica (perché prende velocità) con la **rincorsa**. All'**imbucata** compie lavoro sull'asta (atleta trasferisce E cinetica sull'asta), flettendola, a spese dell'energia cinetica.

**Piegandosi** l'asta accumula energia elastica, **raddrizzandosi** restituisce il lavoro all'atleta sottoforma di energia cinetica. L'E cinetica salendo si converte in E potenziale (man mano che atleta va su, l'E cinetica diminuisce). Allo **scavalco** l'energia è quasi solo potenziale (ha solo un minimo di E cinetica per non cadere sull'asticella).

**Trasferimenti energia:** da cinetica a elastica a cinetica a potenziale

Ogni volta c'è un lavoro che si compie: accumula E cinetica sfruttando lavoro muscolare e piega l'asta sfruttando lavoro muscolare, poi abbiamo trasferimento da energia cinetica a energia elastica ecc

=>SCOPO: massimizzare energia potenziale, andare nel punto più alto possibile

Se riferito a un corpo: Energia meccanica = E potenziale + E cinetica

Se riferito a un sistema di corpi: dobbiamo considerare anche E elastica

## 13. a) LEZIONE: Potenza e rendimento

### Stesso lavoro, diversa efficacia

Lavoro = forza per spostamento, es. 2 operai che sollevano lo stesso carico di mattoni con una carrucola, devono vincere la forza peso e compiere un lavoro ( $mgh$ ) sulla massa

Il primo impiega 20 s, il secondo 50 s. Il lavoro svolto è lo stesso ( $mgh$ ), ma l'efficacia è diversa.

Nello sport: es. nella maratona il lavoro svolto è lo stesso, ma è importante quanto tempo ci si mette a compierlo

**La potenza** (grandezza fisica)

- Si chiama potenza  $P$  il **rapporto tra il lavoro  $L$  svolto e il tempo  $t$  impiegato** per svolgerlo:  $P = \frac{L}{t}$
  - $t$  nel denominatore => più piccolo/breve è il tempo, più grande è la potenza e quindi l'efficacia del lavoro
  - Concetto del lavoro si può estendere a qualunque tipo di energia, lavoro = modo di trasferire energia da un corpo all'altro/ da una forma di energia all'altra => definiamo potenza il **rapporto dell'energia scambiata** sotto qualsiasi forma e il **tempo impiegato per scambiarla**
- Es. potenza elettrica, potenza termica ecc. La definizione vale per ogni tipo di energia:  $P = \frac{E}{t}$

- **P** è una **grandezza scalare** → anche lavoro e tempo lo sono =>rapporto è a sua volta grandezza scalare e nel SI si **misura in watt (W)**:  $1 W = \frac{1J}{1s}$

La potenza può essere vista anche come il **prodotto scalare della forza per la velocità** del corpo cui è applicata.

$$P = \frac{L}{t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{s}}{t} = \vec{F} \cdot \frac{\vec{s}}{t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

**Lavoro:** prodotto scalare di 2 vettori

Vettore spostamento  $\vec{s}$  diviso il tempo  $t = \vec{v}$

Es.1: la potenza di una gru

Una gru solleva un carico di mattoni di massa 200kg di un'altezza di 15m in 5s.

Calcola la potenza sviluppata dalla gru.

$$P = \frac{L}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{200 \cdot 9,8 \cdot 15}{5} = \frac{29.400 J}{5 s} = 5.880 W = 5,9 kW$$

### Ordini di grandezza della potenza

Il W è un'unità di misura molto piccola. Generalmente utilizziamo i suoi multipli: **kW** (=100W, elettrodomestici), **MW**(=1 milione W, motrice diesel treno), **GW** (=1 miliardo W, centrale) ->unità utilizzate per qualsiasi tipo di potenza: meccanica, elettrica, termica, ...

### Kilowatt e kilowattora

Poiché il J è un'unità molto piccola, spesso l'energia viene espressa in kilowattora (kWh):

$$1 kWh = 1 kW \cdot 1h = 1000 W \cdot 3600 s = 3 600 000 J$$

Potenza è un energia diviso un tempo  $P = \frac{E}{t}$  => Energia è potenza per tempo  $E = P \cdot t$

!! ATTENZIONE: il **kW** misura la **potenza**, il **kWh** misura l'**energia**!

Es. se aspirapolvere che assorbe 1kW di potenza lavora per un'ora ha assorbito un'energia di 1kWh ->unità più comprensibile per il cervello umano

Es.2: l'energia assorbita

Una lavatrice di potenza 1,2 kW rimane in funzione per 2h.

Calcola il suo consumo energetico in J.

$$E = P \cdot t = 1,2 \cdot 2 = 2,4 kWh = 8.640.000 J$$

$$(1,2kW \cdot 2h = 1200 W \cdot 7200s = 8.640.000 J)$$

### Le macchine

sono dispositivi che trasformano un tipo di energia in un altro. (ovvero di potenza dividendo per il tempo, trasforma un tipo di potenza in un altro tipo di potenza)

- ✓ **Motore elettrico:** dispositivo che assorbe energia elettrica e fornisce energia meccanica la fornisce sottoforma di un albero che ruota e che ha una certa coppia
- ✓ **Generatore elettrico:** da E meccanica a E elettrica albero in ingresso che viene mosso da turbina eolica/idraulica/a gas o motore per esempio
- ✓ **Turbina a vapore:** da E termica a E meccanica Quasi sempre accoppiata con generatore elettrico, prende E termica sottoforma di calore e alta pressione dal vapore acqueo, in uscita albero che fa girare il generatore (alternatore)
- ✓ **Stufa elettrica:** prende energia elettrica e produce calore

**Generatore elettrico**

**Alternatore:** se produce corrente alternata

**Dynamo:** se produce corrente continua

->si parla quasi sempre solo di alternatori

### Energia si conserva

L'energia (e quindi la potenza) non si può né creare né distruggere. Si **trasforma** soltanto (=1° principio della termodinamica).

Tutta la potenza che entra in un sistema, per esempio una macchina, ne deve anche uscire in qualche forma (o si accumula nel sistema):  $P_{in} = P_{out}$

1: "tanta ne entra, tanta ne esce"

### La potenza dissipata (=2° principio della termodinamica).

Ogni volta che abbiamo un trasferimento di potenza, una parte della potenza che entra nella macchina non viene restituita come potenza utile, ma viene dissipata sotto forma di calore.

Questo avviene per l'azione degli effetti dissipativi: attrito, resistenza del mezzo, effetto Joule, correnti di Foucault ecc.

2: "energia si degrada"

⇒ In ogni passaggio, energia non si perde ma si degrada → assume una forma meno

nobile (forma di energia termica si trasforma in calore, meno nobile perché con l'aria calda difficile fare qualcosa, specialmente a basse temperature es. 20°, solo nel caso di una stufa va bene)

forme di energia nobili sarebbero E elettrica o E meccanica

### Il rendimento $\eta$ (Eta)

Si definisce rendimento  $\eta$  di una macchina/sistema il rapporto tra la potenza utile e la potenza assorbita:

$$\eta = \frac{P_u}{P_{in}}$$

$\eta$  è sempre  $< 1$  perché la potenza dissipata non è mai 0.

→ minore di 1 perché una parte della potenza viene sempre trasformata in calore

Costruzione macchina per un obiettivo, es. fornire E elettrica o lavoro meccanico  
⇒ diamo Potenza in ingresso, otteniamo potenza sottoforma di ciò che ci serve, ma una parte viene dissipata

Spesso  $\eta$  viene espresso in percentuale:  $\eta\% = 100 \times \frac{P_u}{P_{in}}$

Se macchina assorbe 100W e ce ne dà indietro 90W,  $90:100 = 0,9 \Rightarrow 100 \cdot 0,9 = 90\%$

Es.3: il rendimento di un motore elettrico

Un motore elettrico assorbe una potenza elettrica di 3 kW e fornisce una potenza massima di 2,2 kW. Calcola il suo rendimento percentuale.

$$\eta = 100 \cdot \frac{P_u}{P_{in}} = 100 \cdot \frac{2,2}{3} = 73,3\%$$

→ rendimento tipico per i piccoli motori elettrici

Motori a combustione interna nelle macchine/moto hanno rendimenti molto bassi, difficile che superino il 30% (solitamente ancora meno) ⇒ più che auto, abbiamo stufa a 4 ruote

### 13. b) LEZIONE: Potenza e rendimento nello sport

#### Forza e velocità

La **potenza nello sport** rappresenta la capacità di esercitare una forza e di spostarne velocemente il punto di applicazione. La forza (generalmente dei muscoli) può essere diretta ad accelerare un corpo (il proprio corpo oppure un attrezzo), e/o a vincere peso e attriti.

#### Potenza media e potenza istantanea

Alcuni sport richiedono un'erogazione di potenza che dura a lungo (per esempio: una tappa di montagna al Tour de France). Altri richiedono una potenza elevatissima per un tempo molto breve (esempio: la partenza del bob).

► Durante tappa alpina del Tour: registrazione potenze vicine ai 400W per qualche decina di minuti. La potenza istantanea di un ciclista su pista può arrivare a 2kW (solo per intervalli brevi).

La potenza divisa per la massa corporea prende il nome di **potenza specifica**. (differenza tra potenza di 1kW di atleta che pesa 50kg o 100kg)

2kW = 2,7 cavalli vapore

Si parla spesso di biciclette perché meccanismo permette all'uomo di sviluppare/esprimere la potenza in maniera più efficace

Es.1: la partenza del bob

Un bob di massa 180kg viene accelerato da 0 a 5 m/s in 3s dai due atleti che lo spingono. Ognuno degli atleti ha massa 90kg.

Calcola la potenza sviluppata dagli atleti, trascurando gli attriti.

$$m_{tot} = m_b + 2 \cdot m_a = 180 + 2 \cdot 90 = 360 \text{ kg}$$

$$P = \frac{\Delta E_c}{t} = \frac{\frac{1}{2} m_{tot} \cdot v_f^2}{3} = \frac{0,5 \cdot 360 \cdot 5^2}{3} = 1500 \text{ W}$$

=>se entrambi sviluppano stessa potenza, per accelerare il bob ogni atleta sviluppa potenza di 750 W

-> **teorema energia cinetica** con P al posto di L, perché P = rapporto tra lavoro L svolto e il tempo t impiegato

Come avevo svolto l'esercizio io:

$$L = \Delta E_c = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_i^2 = \frac{1}{2} \cdot (180 + 180) \cdot 5^2 - \frac{1}{2} \cdot (180 + 180) \cdot 0^2 = 4500 \text{ J}$$

$$P = \frac{L}{t} = \frac{4500}{3} = 1500 \text{ W}$$

-> Energia cinetica iniziale era 0 quindi la trascuriamo

### Il moto a v costante

Momenti in cui si accelera un corpo sono meno frequenti nella pratica sportiva, o durano poco insomma, la grande maggioranza dell'esercizio sportivo avviene a velocità costante: nuoto, corsa, ciclismo ecc

L= mgh (es. lavoro contro la forza peso)

In assenza di attriti, non è necessario applicare una forza per muoversi in orizzontale (quindi senza cambiare quota h) a v costante (=principio di inerzia)

Nella realtà, quando un atleta si muove a v costante (sviluppa certa potenza) tutta la sua forza è impiegata per vincere l'attrito e la resistenza del mezzo:

->ciclista che va a v=cost si trova in equilibrio dinamico: la risultante delle forze  $F = F_a + R$

è zero su di lui perché la forza che sviluppa con i muscoli è esattamente equilibrata dalla resistenza dell'aria e dall'attrito delle gomme con l'asfalto =>la potenza che sviluppa va a vincere gli attriti

### La potenza nel moto a v costante

Se trascuriamo l'attrito tra gomme e suolo, abbiamo:  $F = R = k v^2$

Forza muscolare è uguale alla Resistenza, la Resistenza del mezzo vale k (costante di resistenza aero o idrodinamica)

Moltiplicando per v abbiamo:

$$F v = k v^3 \rightarrow P = k v^3$$

La **potenza** necessaria per vincere la resistenza del mezzo **varia col cubo della velocità** (quando atleta procede velocità costante in un mezzo, aria o acqua, la potenza che sviluppa viene assorbita tutta per vincere la resistenza del mezzo e la potenza che deve sviluppare per andare a velocità v è  $k v^3$ ) → per un piccolo aumento di velocità serve un grande aumento di potenza (grosso sforzo)

Es.2: velocità e potenza

Un ciclista sviluppa 300W per pedalare a 40 km/h. Quanta potenza deve sviluppare per pedalare a 45 km/h?

$$v_{1m/s} = \frac{v_{1km/h}}{3,6} = \frac{40}{3,6} = 11,1 \text{ m/s}$$

$$v_{2m/s} = \frac{v_{2km/h}}{3,6} = \frac{45}{3,6} = 12,5 \text{ m/s}$$

-> non sappiamo quanto vale k però siccome abbiamo il rapporto riusciamo a risolvere il problema:

- partendo da formula  $P = k v^3$
- k possiamo semplificarlo =>otteniamo rapporto 1,43 tra le 2 potenze
- Capovolgendo la formula:

$$\frac{P_2}{P_1} = 1,43 \rightarrow P_2 = 1,43 \cdot P_1$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{k(v_2)^3}{k(v_1)^3} = \frac{12,5^3}{11,1^3} = 1,43 \rightarrow P_2 = 1,43 \cdot P_1 = 429W$$

=>si deve aumentare potenza del 40% per aumentare la velocità soltanto dell'11% circa -> per piccole variazioni di velocità serve tanta potenza in più

### Il drag del nuotatore

La formula  $P = kv^3$  vale anche per un nuotatore (potenza che sviluppa con i suoi muscoli quando  $v = \text{cost}$  è  $P = kv^3$ ), ma il coefficiente  $k$  (=coefficiente di drag) varia di molto durante le fasi di scivolamento (coefficiente di drag passivo) e di nuotata (coefficiente di drag attivo).

### La potenza sul cicloergometro

- Potenza può essere misurata anche con dispositivi/sensori a bordo della bici, ma in laboratorio si usa il cicloergometro
- l'atleta non si sposta ( $v=0$ ), quindi per calcolare la **potenza sviluppata dal ciclista**:  
=> per i moti che implicano una rotazione, la potenza si calcola con la formula  $P = M \cdot \omega$
- Momento torcente = la coppia (la forza applicata per il suo braccio) => SINONIMI  
Qui abbiamo 2 forze (una da una parte, una dall'altra) che costituiscono una coppia, il momento torcente di questa coppia che va a torcere l'albero del mozzo del cicloergometro
- Nel cicloergometro: c'è un sistema/un freno in cui si può scegliere quale momento torcente/resistente applicare quindi in base all'equilibrio dinamico che l'atleta raggiunge possiamo sapere il momento torcente che sta applicando
- A sua volta il **momento torcente  $M$**  è dato da  $F$  per la **lunghezza della pedivella  $L$** :  $M = F \cdot L$   
->atleta non applica direttamente una coppia, applica delle forze con le gambe: una che spinge e una che tira su

Es.3: potenza al cicloergometro

Un ciclista pedala al cicloergometro applicando un momento torcente di 24 Nm (resistenza del cicloergometro, momento di una coppia si misura in Nm). La sua cadenza è di 80 cicli/min (ciclo = pedalata). Quanta potenza sviluppa?

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot \frac{80}{60} = 8,37 \text{ rad/s}$$

$$P = M \cdot \omega = 24 \cdot 8,37 = 201 \text{ W}$$

->frequenza non in giri al secondo ma giri al min  
=>divisione per 60

### Il rendimento della trasmissione

Ciclista e bici: sistema complesso di ingranaggi corone, pignoni ->trasmissione a catena ha un suo rendimento → Non tutta la potenza meccanica sviluppata dall'atleta (applicata sulla pedivella) finisce effettivamente alla ruota. La trasmissione a catena dissipa una parte della potenza in attriti (la trasformano in calore)  
->per questo motivo lubrificazione molto importante

Anche **nella corsa**: una parte della potenza muscolare sviluppata viene dissipata quando la scarpa tocca terra; c'è un cuscinetto che si deforma e dissipa una parte dell'energia nel lavoro di deformazione, quando riprende la sua forma non lo restituisce tutto =>una parte dell'energia va persa (vale per tutti gli strumenti, anche salto con l'asta p.e.)

Es.4: rendimento e prestazione

Un ciclista pedala a 40km/h con una trasmissione che ha un rendimento del 90%. Che velocità raggiungerebbe se il rendimento della trasmissione fosse il 95%?

$$P_u = P \cdot \eta$$

$$\frac{P \cdot 0,95}{P \cdot 0,9} = \frac{k(v_2)^3}{k(v_1)^3} \rightarrow 1,05 = \frac{(v_2)^3}{(v_1)^3}$$

$P_u$  = potenza utile

$P$  = potenza sviluppata dall'atleta

$\eta$  = rendimento

->mettendo le formule in 2 frazioni riusciamo a semplificare 2 incognite (Potenza e  $k$ )

G.D.

0 gradi Kelvin è lo zero assoluto, sono  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  ed è la temperatura minima che si possa raggiungere in un sistema termodinamico ->usata perché non si hanno valori negativi, quindi più pratica nei calcoli matematici

$$v_2 = \sqrt[3]{1,05 \cdot (11,1)^3} = 11,3 \frac{m}{s} = 40,7 \text{ km/h}$$

->lubrificando la catena un'atleta guadagnerebbe 700m in più di uno che non l'ha lubrificata

#### 14. a) LEZIONE: Temperatura e calore (TERMODINAMICA)

- La **temperatura  $T$**  è la grandezza fisica che fornisce una misura oggettiva delle nostre sensazioni di caldo e freddo
- nel SI si misura in **kelvin (K)**, ma nella pratica si utilizza il grado centigrado, o grado **Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )**,  $0^{\circ}$  temperatura ghiaccio fondente e  $100^{\circ}$  temperatura acqua bollente)
- 1 grado kelvin e 1 grado celsius sono uguali => differenza di temperatura con scala C o K è identica
- **Termometro**: strumento di misura della temperatura; i tipi di termometri più comuni sfruttano la dilatazione termica dei materiali (termometri a dilatazione: temperatura di liquido aumenta il liquido si dilata) ->non adatti in scheda elettronica/trasduttore (sistema che fornisce in uscita tensione elettrica)=> altri tipi di sensori:
- variazione di grandezze elettriche: **termistori** (sfrutta il fatto che la resistività materiale cambia con la temperatura ->con misura della resistenza si risale alla temperatura), **termocoppie** (sfrutta effetto Seebeck che fa sì che quando ci sono delle giunzioni di materiali diversi che vengono messe a temperature diverse si crea una differenza di potenziale/circolazione di corrente)

#### Cos'è la temperatura? ->agitazione termica delle molecole

La temperatura è legata al/riflette il movimento (agitazione) delle molecole che formano un corpo ->molecole dispongono di minimo di libertà di movimento (anche nello stato solido) e vibrano intorno ad una posizione di equilibrio. Più le molecole vibrano, più elevata è la temperatura.

#### Il calore

Calore non è un fluido ma una forma di energia

Come esperimento dei vasi comunicanti, si pensava che anche qui ci fosse un fluido che passasse da un corpo all'altro, MA scoprirono che non c'è fluido ma che **il calore è l'energia cinetica delle molecole che viene trasmessa**

->Se poniamo a contatto 2 corpi a temperature diverse (quello caldo: molecole più agitate e freddo: meno agitate) ->molecole più agitate sbattono contro superficie di contatto tra i 2 corpi, trasmettono la loro energia cinetica alle molecole meno agitate =>una parte dell'energia cinetica delle molecole passa dal corpo caldo a quello freddo =>stato di agitazione medio uguale per tutte le molecole (tutte hanno la stessa energia cinetica), quando le 2 temperature sono uguali, il passaggio si arresta => EQUILIBRIO TERMICO

L'energia che si trasferisce in questo modo si chiama energia termica o calore. Come tutte le forme di energia, si misura in **J** (SI)

#### La legge fondamentale della termologia

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$\Delta$  = variazione/differenza

Se forniamo una quantità di calore  $Q$  a un corpo, la sua temperatura aumenta (si riscalda); se lo sottraiamo diminuisce (si raffredda). La variazione di temperatura  $\Delta T$  è proporzionale alla massa  $m$  del corpo e da un parametro  $c$  detto calore specifico, che dipende dal materiale.

->calore specifico dell'acqua è molto elevato: significa che per riscaldare l'acqua bisogna darle una grande quantità di calore

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$  a masse unitarie, più grande è il  $c$  specifico di una sostanza, più piccola è la sua variazione di temperatura a parità di calore somministrato  
 es. se do 10 J di calore all'acqua si riscalda poco ( $c$  specifico è elevato), se lo do al piombo, si riscalda molto di più ( $c$  specifico è più piccolo e quindi  $\Delta T$  sarà più grande)

### La capacità termica

$$C = m \cdot c$$

Il prodotto del calore specifico per la massa si chiama capacità termica. Indica la riluttanza che ha un corpo a variare la propria temperatura (quanto è difficile riscaldare/raffreddare quel corpo).

inerzia meccanica data da  $m$ : grande massa difficile da accelerare  
**inerzia termica** data da  $C$ : grande capacità termica, difficile variare la temp.

❖ es. differenza capacità termica tra terra e mare: sottoposti allo stesso irraggiamento termico/energia proveniente dal sole: terra si riscalda subito perché ha bassa capacità termica, il mare resiste molto di più perché ha alta capacità t. => differenza di temperatura influenza diversi fenomeni naturali come il vento o il clima stesso

Es. 1: il riscaldamento dell'acqua

Vogliamo riscaldare 5 litri d'acqua ( $c = 4186 \text{ J/K} \cdot \text{Kg}$ ) da  $40^\circ$  a  $60^\circ$ . Quanto calore dobbiamo fornirgli?

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 5 \cdot 4186 \cdot 20 = 418.000 \text{ J}$$

4186 J/K · Kg  
 "Joule su Kelvin per kg"

### I passaggi di stato

- La materia si presenta in 3 **stati di aggregazione: solido, liquido e aeriforme** -> i passaggi da uno stato all'altro avvengono somministrando calore (freccie rosse) o sottraendo calore (freccie azzurre)=>legati a passaggio di energia termica/calore
- es. ghiaccio fonde, acqua: evaporazione = riguarda solo strati superficiali acqua (esposti direttamente al calore), ebollizione = tutta la massa interessata, si trasforma gradualmente in vapore)
- differenza vapore e gas**: se a temperatura ambiente in stato aeriforme = **gas**, liquido a temperatura ambiente e in stato aeriforme a temperatura elevata = **vapore**
- passaggi diretti: sublimazione**: direttamente da solido a vapore, es. ghiaccio secco, **brinamento**: da gas a solido
- Durante il **passaggio di stato** la sostanza assorbe o cede calore, ma  $T$  rimane **costante** -> dando calore ad un corpo questo si riscalda, quando arriva al punto in cui cambia di stato il cambiamento di temperatura si arresta. L'energia che diamo invece di essere diretta a scaldare il corpo è diretta a rompere i legami tra le molecole e quindi a favorire il passaggio di stato.
- calore scambiato durante queste fasi si chiama **calore latente  $\lambda$**  (Lambda) (=parametro chiamato calore latente di fusione, evaporazione, condensazione etc.)
- latente (=nascosto) -> non vediamo gli effetti in termini di cambio di temperatura



Es.2: ebollizione dell'acqua

Una pentola con 5 L d'acqua ( $\lambda_e = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J/Kg}$ ) si trova alla temperatura di  $60^\circ\text{C}$ . Quanto calore serve per trasformare completamente l'acqua in vapore?

$$Q = Q_1 + Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta T + \lambda_e \cdot m =$$

$$= 5 \cdot 4186 \cdot 40 + 2,3 \cdot 10^6 \cdot 5 = 12,3 \text{ MJ}$$

->per il passaggio di stato serve più calore

Prima si porta l'acqua da  $60^\circ\text{C}$  a  $100^\circ$ , poi si fa evaporare  
 =>concettualmente 2 tipi di calore diversi  
 MJ = milioni di Joule

### La trasmissione del calore

- Il passaggio di energia termica da un corpo caldo a uno freddo avviene attraverso 3 meccanismi: **conduzione**, **convezione** e **irraggiamento**.
- Nella **conduzione**: contatto diretto tra i corpi, nella **convezione**: calore è trasferito da un fluido, nell'**irraggiamento**: calore trasportato da onde elettromagnetiche

#### Conduzione – corpi a contatto

Essa è regolata dalla **legge di Fourier**: 
$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t}{d}$$

La quantità di calore che passa attraverso una parete dipende da:

- **materiale (coefficiente/costante k)**: conducibilità termica del materiale (es. metalli conducono meglio)
- **superficie A** : facendo toccare i corpi tramite parete ampia->passa tanto calore, tramite superficie di 1mm ->poco calore
- **spessore d** : passaggi inversamente proporzionale a d, parete molto spessa passa meno calore
- **differenza di T ( $\Delta T$ )** : se i 2 corpi sono a temperatura molto diversa passa molto calore
- **tempo**: più lascio i corpi a contatto, più calore passa

Es.3: calore attraverso un muro

Un muro di mattoni ( $k = 0,7 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ) di superficie  $12 \text{ m}^2$  e spessore  $20 \text{ cm}$  ha la faccia esterna a  $3^\circ$  e quella interna a  $20^\circ$ . Calcola il calore che trasmette in un'ora.

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t}{d} = \frac{0,7 \cdot 12 \cdot 17 \cdot 3600}{0,2} = 2,6 \text{ MJ}$$

$0,7 \text{ W/m} \cdot \text{K}$   
"Watt diviso metro diviso Kelvin"

### 14. b) LEZIONE: Temperatura e calore nello sport

#### Convezione – trasferimento con fluido

modalità di trasmissione del calore legata alla presenza di un fluido, per esempio aria, acqua o olio. Le particelle di fluido vicine alla fonte di calore si riscaldano per conduzione, poi si muovono verso l'alto e lasciano il posto ad altre particelle, dando luogo alle correnti convettive.

- ❖ es. **termosifoni o camino** ci trasmettono il calore per convezione: non dobbiamo toccarli per far sì che ci trasmettano calore, bensì riscaldano l'aria che si trova intorno al corpo del termosifone, aria si muove e va a riscaldare le altre parti della stanza
- ❖ **pentola**: fuoco riscalda pareti di metallo della pentola, queste per conduzione scaldano le molecole d'acqua che sono a contatto diretto (specialmente con il fondo) molecole d'acqua scaldandosi diventano più leggere e vanno su, al loro posto arrivano altre molecole da sopra (più pesanti, scendono), si scaldano e salgono => si crea una **circolazione di acqua**, circolazioni = **CORRENTI CONVETTIVE**: fanno sì che il calore che viene somministrato ad una parte del fluido si diffonda in tutto quanto il resto del fluido  
(processo richiede tempo e non sempre efficace, es. se stanza è grande ci saranno parti che rimangono più fredde)

**Convezione naturale**: quando il fluido si muove solo per effetto delle differenze di temperatura

**Convezione forzata**: quando il fluido è mosso anche da un agente esterno, per esempio un ventilatore, una pompa, un compressore =>permette uno scambio di calore molto più efficace  
es. *phon*: resistenza che per effetto Joule scalda l'aria, aria calda resterebbe in prossimità della resistenza se non ci fosse la ventola dietro =>aria calda vicino alla resistenza viene spostata

#### Convezione forzata degli atleti

Non è necessario che ci sia ventilatore, se ci muoviamo/corriamo/sciamo con il fluido fermo (in situazione senza vento) rispetto al nostro corpo, il movimento dell'aria c'è ugualmente

⇒ relatività galileiana – sappiamo che non fa differenza se l'aria ferma e ci muoviamo noi o se siamo fermi e si muove l'aria => anche quando noi ci muoviamo può essere considerata convezione forzata perché il moto del fluido non è causato dalla differenza di temperatura ma dal movimento del corpo (atleta)

Maggiore è la velocità relativa fluido-corpo (velocità con cui il corpo si muove), più efficace è la convezione e quindi più elevato è lo scambio termico.

- ❖ es. vantaggio andando in bicicletta in giornata molto calda, più si va veloce, più si riesce a dissipare il calore velocemente, in una cyclette da fermi il calore invece rimane tutto addosso
- ❖ per sciatore a 100 km/h in giornata molto fredda è negativo: calore trasmesso per convezione forzata è molto grande, se non si copre prende molto più freddo

### **Fattori che influenzano la convezione**

Non esiste una formula generale per calcolare il calore scambiato per convezione -> influenzato da diversi fattori, i principali in gioco sono: la differenza di temperatura, l'estensione delle superfici, la velocità del fluido, la sua densità e viscosità, se situazione laminare o turbolenta ecc.

Come per la resistenza dell'aria, si crea anche uno strato limite termico (**temperature boundary layer**) il cui comportamento influenza il passaggio di temperatura

### **Irraggiamento – trasmissione con onde elettromagnetiche**

il calore è trasmesso sotto forma di onde (o radiazioni) elettromagnetiche.

- ❖ es. Calore del sole ci arriva con questa modalità, perché NON siamo a contatto (conduzione) e tra terra e sole NON c'è un fluido (convezione) bensì il vuoto => onde elettromagnetiche del sole portano con sé una carica di energia termica che arriva alla terra

La radiazione che colpisce un corpo viene in parte riflessa, in parte assorbita (=corpo diventa più caldo), in parte trasmessa (=passa attraverso) ->% del calore che viene rifles./ass./trasm. dipende da com'è fatto il corpo (in particolare se è trasparente, semi-trasparente o opaco)

Non solo il sole emette energia sotto forma di radiazioni, ma tutti i corpi ne emettono; la potenza termica emessa da un corpo dipende dalla quarta potenza della sua temperatura (legge di Stefan-Boltzmann) -> più un corpo è caldo, più emette potenza termica

### **L'importanza del calore**

% del calore che viene rifles./ass./trasm. da un corpo dipende anche dal colore della sua superficie. Colori chiari riflettono le radiazioni, colori scuri le assorbono.

- ❖ Es. in posti marittimi come la Grecia, case dipinte di bianco per riflettere/respingere il calore (+ pareti spesse per far sì che penetri meno calore)

### **La temperatura corporea**

Il corpo dell'atleta deve mantenersi a una temperatura attorno ai 37 °C. Se ci si allontana da questo valore si incorre in crisi di ipotermia ( $T < 35$  °C) e ipertermia ( $T > 40$  °C)

->conseguenze possono essere molto gravi per entrambi, es. colpo di calore o addirittura morte

### **Calore in ingresso e in uscita**

Bilancio termico dell'atleta: se vogliamo che la temp. rimanga su valori costanti, significa che non dobbiamo né assorbire troppo calore né disperderne troppo

L'atleta ottiene:

- ⌘ Metabolismo: dell'atleta produce una quantità di calore **M** (energia termica), che cresce con l'intensità dello sforzo ->es. riscaldamento, produce calore all'interno del corpo
- ⌘ Calore dal sole R per irraggiamento: corpo riceve questo calore in entrata/dall'esterno

L'atleta dissipa:

- ✧ quantità di calore C tramite convezione
- ✧ quantità di calore S tramite irraggiamento
- ✧ (trascurabili: conduzione tra piedi e suolo, aria calda emessa con la respirazione)

### Bilancio termico dell'atleta

Se vogliamo che  $\Delta T$  sia 0, cioè che la variazione della temp. sia 0, la quantità di calore Q dev'essere 0 => tanto ne entra, tanto ne deve uscire

➔ per mantenere T costante, la somma dei calori in ingresso e in uscita deve essere 0:

$$M + R - S - C = 0, \text{ ovvero } M + R = S + C$$

**Il sudore:** sistema che il corpo adotta per dissipare calore in eccesso, sostanza prodotta dal corpo e composta essenzialmente di acqua. Sottrae calore al corpo mediante il meccanismo dell'evaporazione: meccanismo del passaggio di stato, passaggio sudore da stato liquido a aeriforme richiede calore => lo sottrae al corpo:  $Q = \lambda_e \cdot m$

Calore latente di evaporazione del sudore vale:

$$\lambda_e = 2400 \text{ kJ/kg a } 25^\circ\text{C}$$

(se il sudore rimane allo stato liquido non serve a niente, questo meccanismo non entra in gioco => sudore inutile)

Es.1: un litro e mezzo di sudore

Durante una maratona un'atleta perde 1,5 kg di massa corporea.

Quanto calore ha dissipato per mezzo del sudore?

$$Q = \lambda_e \cdot m = 2400 \cdot 1,5 = 3.600 \text{ kJ} = 3.600.000 \text{ J}$$

-> quantità di calore dissipata attraverso il sudore

calore latente di evaporazione  $\lambda_e$  (dell'acqua) per la massa del liquido che evapora  
più grande è la massa di sudore che evapora, più grande è la quantità di calore che viene sottratta => più intenso è lo sforzo, più sudore si produce  
=> scambio termico è più efficace

### Trasmissione del calore attraverso i vestiti

- Se fa freddo: i vestiti aiutano a trattenere il calore M prodotto dal corpo, mantenendo la T corporea costante.
- Tra pelle e primo strato di tessuto abbiamo strato d'aria, se abbiamo un secondo strato di vestiti, tra il primo e il secondo strato abbiamo uno strato di aria, poi abbiamo boundary layer (strato limite dell'aria a contatto con la superficie esterna del vestito) e poi l'aria esterna
- Attraverso i vestiti che sono solidi la trasmissione avviene per conduzione (aria prende calore che passa attraverso lo strato), attraverso gli strati d'aria c'è in piccola parte la conduzione (molecole di aria a contatto con la parete calda ricevono del calore), c'è irraggiamento (che un po' c'è sempre) ma soprattutto convezione
- Aria è ottimo isolante termico (=barriera) => passa poco calore, ottima strategia avere più strati di vestiti e vestiti che aiutano ad intrappolare l'aria

Il calore attraversa per conduzione gli strati di tessuto, principalmente per convezione (molto meno efficace) quelli di aria interposti.

## 15. a) LEZIONE XXIX: Elementi di biomeccanica

Scienza che applica i principi della fisica (in particolare della meccanica = parte della fisica che studia le forze e il movimento) agli organismi viventi

### Il corpo libero

Corpi studiati fino adesso erano *singoli/individuali che si muovevano*, rigidi o deformabili es. slitta, cilindro, veicolo, molla, trampolino ecc.

Per individuare posizione e assetto di un corpo libero nello spazio (senza vincoli, senza essere legato p.e. aereo) occorrono **6 parametri**:

➤ **3 coordinate  $x, y, z$**  di un suo punto, es. aereo: latitudine, longitudine e altezza (3 coordinate di un punto, p.e. il suo baricentro) -> individuare la posizione

➤ **3 angoli** di rollio, beccheggio e imbardata ( $r, p, y$ ) -> individuare l'assetto

tutti i parametri sono indipendenti tra di loro

→ si dice che il corpo libero possiede **6 GRADI DI LIBERTÀ** (gdl)

Un corpo nel piano possiede solo 3 gradi di libertà:  $x, y$  e  $\theta$ , le coordinate di un suo punto qualsiasi e l'angolo che forma rispetto p.e. all'asse x del piano -> meno possibilità di movimento

<p><b>rollio</b> = rotazione intorno all'asse di avanzamento</p> <p><b>beccheggio</b> = rotazione intorno all'asse trasverso</p> <p><b>imbardata</b> = rotazione intorno all'asse verticale, ci dà p.e. la rotta dell'aereo</p>
---

Corpo umano non è blocco unico come un aereo, è snodato e può fare molti più movimenti di un corpo rigido nello spazio

=> **Sistema articolato**

è formato da più corpi rigidi collegati fra di loro attraverso vincoli. I gradi di libertà del sistema sono minori della somma dei gdl dei singoli corpi liberi->possono muoversi per conto loro ma sono comunque vincolati a stare insieme agli altri

nella meccanica: sistemi in cui ogni corpo è legato a quello successivo attraverso una coppia cinematica (=meccanismo che permette certi movimenti ma ne vieta altri), es. manovellismo ordinario formato da manovella, biella e stantuffo

❖ es. due barre vincolate attraverso una cerniera tra di loro ed un'altra cerniera vincola una barra al telaio => sistema piano: se considerassimo i 2 corpi, il sistema dovrebbe avere 6 gradi di libertà (3 di una sbarra, 3 dell'altra), invece siccome abbiamo le cerniere, il corpo ne ha di meno

individuare la situazione del sistema: diamo la coordinata di un punto (es. estremità della barra), l'angolo che la barra ha rispetto all'asse x e poi l'angolo che la seconda barra ha rispetto alla prima avendo 4 parametri: posizione di un punto, primo angolo, secondo angolo sappiamo esattamente in che situazione è il sistema -> ha 4 gradi di libertà (invece di 6 delle 2 barre prese singolarmente) perché esistono:

### I vincoli

sono meccanismi che impediscono a un sistema di compiere determinati movimenti (ma ne permettono altri). I vincoli più comuni sono:

- la cerniera: permette 1 rotazione
- lo snodo (sferico): permette rotazioni intorno ad un punto ma non permette traslazioni
- la guida cilindrica: permette di scorrere e ruotare (es. pistone dentro un cilindro)
- la guida prismatica: permette di traslare ma non ruotare

Il **corpo umano**, o parti di esso, possono essere rappresentati come sistemi articolati.

->tante parti che si possono muovere indipendentemente una dall'altra ma entro certi limiti

Visto che il **corpo umano possiede decine di gdl** (corpo u.= successione di corpi connessi tra loro mediante dei vincoli; es. spalla -> snodo, ginocchio ->cerniera) si usano di solito **modelli semplificati**, p.e. modello a 7 gradi di libertà: 2 coordinate di un punto + 5 angoli (vedi slide)

→ Modello planare (non prevede una terza dimensione):

- 2 coordinate di un punto: es. x e y della punta del piede (primi 2 gradi di libertà)
- 1.angolo che il piede forma rispetto al pavimento =1 gdl
- 2.angolo che forma la caviglia rispetto al piede
- 3.angolo che il ginocchio forma rispetto alla tibia

<p>Più gradi di libertà ha un modello, più è complicato studiarlo -&gt;le equazioni che lo descrivono sono sempre più complesse</p>
---

- 4.angolo dell'anca rispetto al quadricipite
  - 5.angolo che forma il braccio rispetto al torso/angolo della spalla
- >modello non possiede grado di libertà della testa (nelle circostanze in cui la testa non ci interessa si può usare questo modello)

Es.1: gdl del modello

Quanti gdl possiede il modello di gamba in figura?

Risposta: 5 gdl-> 2 posizioni e 3angoli: x e y, 1.angolo del piede rispetto al terreno, 2.angolo del piede rispetto alla tibia e 3.angolo della tibia rispetto al femore

### La ricostruzione del moto

Attraverso la tecnologia si può descrivere e ricostruire esattamente il movimento di una persona, es. videogiochi come fifa, movimenti basati su quelli di calciatori veri ->misurazione e ricostruzione grazie a modelli articolati molto raffinati.

Ci sono 2 modalità per determinare la posizione del modello:

- **accelerometri e giroscopi triassiali:** un set applicato ad ogni segmento, i sensori ricostruiscono dall'accelerazione e dalla velocità angolare la posizione e l'assetto di ogni segmento del mio corpo e dandoli in input sul modello dello scheletro, si avrà lo scheletro che fa la persona vera)
- **sistemi di telecamere e markers:** tuta con marker luminosi-> telecamere vedono solo i marker, ricostruendo la posizione dei marker possono ricostruire p.e. posizione e assetto dei personaggi di un film

### Parametri del modello

Oltre ai parametri cinematici (=come si muove il modello)-> ogni segmento che costituisce il modello è caratterizzato da lunghezza, massa (avambraccio vs. femore), posizione del baricentro (di ognuno dei segmenti) e momento di inerzia.

**Il baricentro G** di un corpo rigido è il punto di applicazione della forza peso. Non è un punto fisicamente esistente, e può trovarsi anche al di fuori del volume del corpo.

Mentre in un corpo rigido il baricentro sta sempre nello stesso punto, in un sistema articolato e quindi nel corpo umano non è fisso: la sua posizione varia quando il corpo si muove. (può anche non far parte del volume della persona (es. piegandosi in avanti)

Il baricentro dei singoli segmenti può invece essere considerato fisso.

**Il momento di inerzia I** = parametro che misura la riluttanza di un corpo a girare intorno ad un certo asse, (=esprime la sua difficoltà a cambiare la propria velocità angolare attorno a un certo asse) -> più il momento di inerzia di un corpo è elevato, più è difficile farlo girare (più coppia/momento dobbiamo applicare). Ha la stessa funzione della massa per i moti lineari (massa ci dice quanto è difficile modificare la velocità di un oggetto, *I* la velocità angolare).

Nel SI si misura in  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

- ❖ es. più facile far girare un disco sul giradischi che una giostra intorno al suo asse verticale (non solo perché la massa è più grande, ma perché le masse sono distribuite lontano dall'asse di rotazione)
- ❖ es. se metto un cilindro verticalmente e lo faccio girare intorno al suo asse verticale, il momento di inerzia è piccolo; se lo metto orizzontalmente e li faccio girare intorno alla sua estremità assume un momento di inerzia molto più grande

Es.2:  $I$  dell'avambraccio

Un avambraccio è lungo 27 cm e ha una massa di 1,5 kg. Quanto vale il suo momento di inerzia attorno all'asse passante per l'estremità?

$$I = \frac{1}{3} \cdot m \cdot L^2 = \frac{1}{3} \cdot 1,5 \cdot 0,27^2 = 0,036 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

**Momento di inerzia del modello articolato**

Il momento di inerzia del corpo umano non è fisso (anche quando consideriamo sempre lo stesso asse di rotazione) =>rispetto a un asse passante per il baricentro dipende da quanto le membra sono lontane da esso (corpo è articolato). Più sono lontane, maggiore è il momento di inerzia =>muovendo gli arti possiamo variare il momento di inerzia

Guscio cilindrico, rispetto all'asse $I = mR^2$	Asta sottile, rispetto a una retta perpendicolare passante per il suo centro $I = \frac{1}{12}mL^2$
Cilindro pieno, rispetto all'asse $I = \frac{1}{2}mR^2$	Asta sottile, rispetto a una retta perpendicolare passante per una estremità $I = \frac{1}{3}mL^2$
Cilindro cavo, rispetto all'asse $I = \frac{1}{2}m(R_1^2 + R_2^2)$	Guscio sferico sottile, rispetto a un diametro $I = \frac{2}{3}mR^2$
Guscio cilindrico, rispetto a un diametro passante per il centro $I = \frac{1}{2}mR^2 + \frac{1}{12}mL^2$	Sfera piena, rispetto a un diametro $I = \frac{2}{5}mR^2$
Cilindro pieno, rispetto a un diametro passante per il centro $I = \frac{1}{4}mR^2 + \frac{1}{12}mL^2$	Parallelepipedo rettangolo pieno, rispetto a un asse passante per il centro, perpendicolare a una faccia $I = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$

**15. b) LEZIONE: Elementi di biomeccanica dello sport**

**Principio di inerzia:** velocità di un corpo in assenza di forze è costante =principio di conservazione della quantità di moto ( $m \cdot v = cost$ )

Per i moti rotatori: In assenza di momenti esterni, il **momento angolare** ( $M = I \cdot \omega$ ) di un sistema articolato si mantiene costante. (ci può essere la forza peso perché rispetto a un asse di rotazione che passa per il baricentro non presenta momenti, non ci interessa)

➔ Per **corpo rigido poco** interessante, perché il momento di inerzia di un corpo rigido è costante e quindi momento angolare costante significa velocità angolare costante.

➔ Per un **sistema articolato**: il momento di inerzia  $I$  cambiare, quindi se cambia  $I$  visto che il prodotto cioè il momento angolare dev'essere costante, cambia anche la velocità angolare  $\omega$

**Analogia con la massa** (vedi sopra) MA la massa solitamente è costante, il momento di inerzia di un sistema articolato come il corpo umano è variabile

può

Ambito sportivo: modificando la geometria del corpo l'atleta può modificare la sua velocità di rotazione

❖ **Ballerini e pattinatori sul ghiaccio** possono controllare la propria velocità di rotazione allargando o chiudendo le braccia ->variano  $I$

**Allarga braccia:**  $I$  più grande perché masse si allontanano dall'asse di rotazione e quindi la sua  $\omega$  diminuisce

**Chiude braccia:**  $I$  diminuisce, visto che il prodotto (momento angolare) è costante, la sua  $\omega$  aumenta

Se  $I$  aumenta,  $\omega$  diminuisce, e viceversa.

Traiettoria parabolica determinata dalla sua velocità iniziale

**Moto del baricentro e momento angolare**

In assenza di punti di appoggio, il tuffatore non può modificare la traiettoria del suo baricentro qualunque agitazione faccia (prosegue imperturbata secondo le leggi dei moti piani); però può modificare il suo assetto e quindi la sua velocità di rotazione allontanando o avvicinando gli arti al baricentro.

(pattinatrice può perché ha come punto di appoggio i piedi per terra)

**Le leve (ripasso):**

forza motrice, forza resistente e un fulcro

➔ a seconda della posizione del fulcro, le leve si classificano in **3 GENERI**:

- **I GENERE: interfissa**

il fulcro si trova tra le 2 forze (all'interno della congiungente). Se è vicino alla resistenza la leva è vantaggiosa (perché il braccio della forza è più grande), se il fulcro è vicino alla forza motrice la leva è svantaggiosa, se è esattamente in mezzo la leva è indifferente (es. altalena) quindi il guadagno è 1, **es. forbici**

- **II GENERE: interresistente**

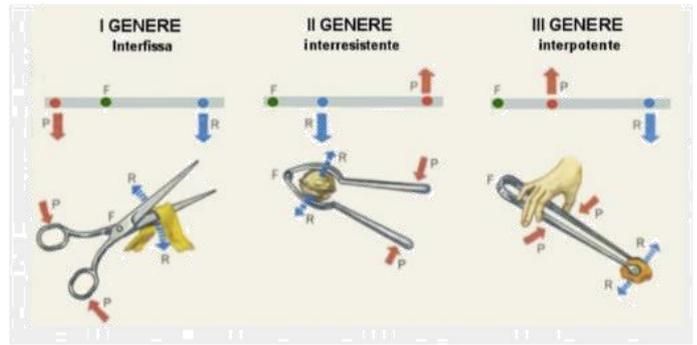
La forza resistente si trova tra fulcro e forza motrice ->fulcro a un'estremità, in mezzo la resistenza e forza motrice all'altra estremità

->Leva sempre vantaggiosa perché il braccio della forza motrice è sempre superiore al braccio della resistenza, **es. schiaccianoci** amplifica la nostra forza

- **III GENERE: interpotente**

La forza motrice (potenza) si trova tra fulcro e forza ->fulcro ad un'estremità, in mezzo la forza motrice e resistenza all'altra estremità

->leva svantaggiosa, braccio della forza sempre inferiore al braccio della resistenza, **es. pinzetta**

**Le leve nel corpo umano**

Fulcri = vincoli, cerniere, snodi che permettono certi movimenti e ne impediscono altri

Forza motrice = applicata dai muscoli, punto di applicazione è quello in cui il muscolo attraverso il tendine si collega all'osso

Resistenza = generalmente il peso proprio della parte di corpo che esaminiamo (es. cranio) oppure peso esterno come un bilanciere da sollevare

**Leva di 1°GENERE: Movimento della testa**

->fulcro si trova tra le due forze

Fulcro: punto in cui la colonna vertebrale incontra il cranio

Punto applicazione forza motrice: all'inserzione del muscolo che permette di muovere la testa

Resistenza: applicata al baricentro del cranio ed è diretta verticalmente

braccio della resistenza più grande perché il cranio è più grande mentre l'inserzione del muscolo è vicino all'articolazione

**Leva di 2°GENERE: Piede che si appoggia al suolo**

->la forza resistente si trova tra fulcro e forza motrice

Fulcro: punto in cui il piede incontra il suolo

Punto applicazione forza motrice: punto in cui il tendine d'Achille si inserisce nelle ossa del piede

Resistenza: peso proprio del corpo (applicata sulla verticale del baricentro)

Intrinsecamente vantaggiosa->braccio della forza motrice sempre più grande della resistenza

**Leva di 3°GENERE: braccio che sostiene un pallone**

Fulcro: articolazione dell'avambraccio (un'estremità)

Punto applicazione forza motrice: inserzione del bicipite sull'osso

Resistenza: avambraccio che sostiene (altra estremità)

->la forza motrice (potenza) si trova tra fulcro e forza

intrinsecamente svantaggiosa-> se vogliamo vincere una forza dobbiamo applicare una forza molto più grande con il bicipite

Es.1: la forza del bicipite

Lunghezza avambraccio e mano 26 cm (braccio resistenza), la distanza di applicazione tra il punto di rotazione e l'estremità del muscolo sono 4 cm (braccio della forza molto piccolo). Il peso è 50 N (massa di circa 5kg)

Quale forza deve esercitare il bicipite per tenere in equilibrio il peso?

$$F \cdot a = P \cdot (a + b) \rightarrow F = P \cdot \frac{a + b}{a} = 50 \cdot \frac{26}{4} = 325 \text{ N}$$

->per sollevare 5 kg il muscolo deve fare 32kg di sollevamento

Come ho svolto l'esercizio io:

$$F_m \cdot s_m = F_r \cdot s_r \rightarrow F_m = \frac{F_r \cdot s_r}{s_m}$$

$$F_m = \frac{50 \cdot 0,26}{0,04} = 325 \text{ N}$$

#### Equilibrio dei momenti

$F \cdot a$  = momento della forza

$P \cdot (a + b)$  = momento della resistenza

$P$  = resistenza

(non trasformo le unità perché è un rapporto=> sempre uguale)

#### La forza muscolare ha braccio variabile

Rispetto ai meccanismi normali come pinze, forbici ecc. il braccio della forza nel corpo umano durante l'azione varia->il braccio della forza muscolare è dato dalla distanza che c'è tra la retta d'azione della forza e il fulcro (l'articolazione)

Man mano che il braccio si muove, il braccio della forza (quindi la distanza tra il muscolo e l'articolazione) varia =>corpo umano molto complesso

#### La leva nel nuoto

Nel nuoto la forza resistente (pressione esercitata dall'acqua che devo vincere per avanzare) può essere considerata applicata al palmo della mano, il fulcro invece è circa sulla spalla.

Più si allunga il braccio, quindi più ampio è l'angolo tra avambraccio e braccio, più svantaggiosa è la leva perché il braccio della resistenza è molto lungo

#### Ampiezza e frequenza

In molti sport l'atleta compie azioni cicliche: per es. correre, nuotare, vogare, pedalare.

In questi casi la velocità dell'atleta può essere espressa come il prodotto di un'ampiezza (del passo, della bracciata, della falcata, del colpo di remo...) quindi quanta distanza faccio ogni ciclo per una frequenza:

$$v = A \cdot f$$

(in base alle proprie caratteristiche fisiche l'atleta sceglie una strategia, il migliore compromesso tra ampiezza e frequenza)

Es.2: la falcata del figlio del vento

Carl Lewis corre i 100m in 9"85, facendo 43 passi. Calcola l'ampiezza e la frequenza dei suoi passi.

$$A = \frac{d}{n} = \frac{100}{43} = 2,33 \text{ m}$$

->ogni passo è lungo 2,33 m

$$f = \frac{n}{t} = \frac{43}{9,85} = 4,36 \text{ Hz}$$

Ampiezza del passo = distanza percorsa diviso il numero di passi

Frequenza = numero di passi compiuti diviso il tempo impiegato

->ogni secondo ha fatto 4,36 passi

Moltiplicando  $2,33 \cdot 4,36$  si ottiene lo stesso risultato come facendo  $100 \div 9,85 \rightarrow 10,15 \text{ m/s}$  (= la velocità)