

# Fisica degli Sport Lezione 11:

## Applicazioni della Potenza Muscolare

Aggiornata al 26/4/1999

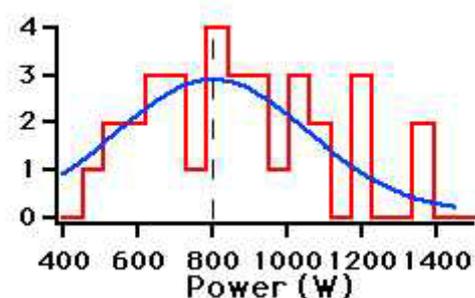
Traduzione di C.Caterbi, C.Peroni

### Salendo le scale: un'analisi

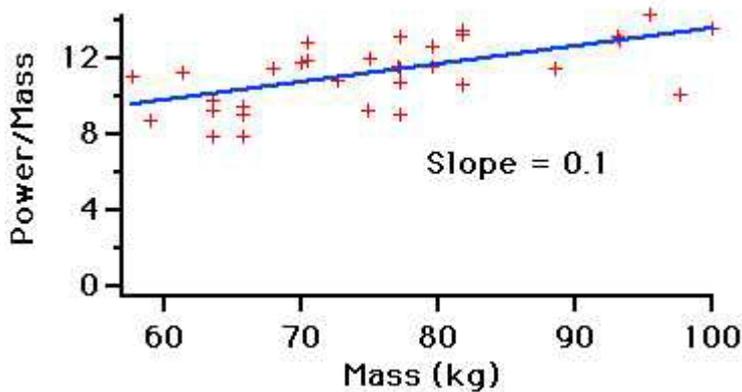
Il risultato ([Lezione 10](#)) che la densità di potenza di un muscolo è 400 W/ kg implica che la potenza muscolare è proporzionale alla massa muscolare: è ragionevole? A prima vista sembrerebbe di sì. La Legge dei Muscoli afferma che la forza dipende dall'area. Ma la potenza dipende dal lavoro, che è una forza moltiplicata per una distanza. La distanza lungo la quale un muscolo può esercitare una forza dipende dalla sua lunghezza. Quindi il lavoro (e conseguentemente la potenza) dovrebbero dipendere da un'area moltiplicata per una lunghezza, ovvero da un volume... o da una massa. Possiamo dimostrare questa ipotesi in un modo molto simile a quello usato per dimostrare la Legge dei Muscoli, usando i dati raccolti... salendo le scale.

Intanto, potrebbe interessarvi sapere che la persona media in questo corso ha un'altezza di 176.5 cm, una massa di 76 kg e ha salito le scale in 3.04 secondi, sviluppando una potenza di 868 watt; è un Sagittario a cui piacciono le cene a lume di candela e le passeggiate in riva al mare... ehm... aspettate un attimo...

L'istogramma a destra mostra la distribuzione delle potenze sviluppate dagli allievi del corso. Il centro della distribuzione si trova a circa 800 watt. Useremo questo dato come misura di riferimento. Parleremo della quantità di potenza necessaria per eseguire diverse azioni negli sport e la confronteremo alla media di 800 watt sviluppata per salire le scale.



Vogliamo dimostrare l'ipotesi che la potenza sviluppata è proporzionale alla massa. Sappiamo che il lavoro compiuto ( $\Delta E$ ) salendo le scale equivale a  $mgh$ ... che è anch'esso proporzionale alla massa. Dunque se dividiamo la potenza sviluppata da ciascun studente per la sua massa dovremmo ottenere una costante. Funziona così? Vediamo! Sotto è riportato un grafico del rapporto potenza/massa rispetto alla massa di ciascun studente del corso. Secondo l'ipotesi che stiamo dimostrando, dovrebbe trattarsi di una retta orizzontale:



Non è così... cosa è andato storto?

Il motivo più ovvio è che avete tutti mentito sul vostro peso, ma lasciamo perdere questo per il momento. A dire il vero, è importante notare che la dimostrazione non è completamente sbagliata; la pendenza della retta (0,1) è piuttosto piccola. Quindi c'è stato un CERTO annullamento dell'effetto della massa sulla potenza sviluppata, solo non è stato cancellato completamente.

Per capire il perché, dobbiamo riflettere sulla differenza tra questo caso e quello del sollevatore di pesi (che ha funzionato così bene). Nel caso del sollevatore avevamo a che fare con dei record mondiali, atleti super-allenati in grado di offrire la migliore prestazione rispetto ad un qualsiasi essere umano nella storia. Questo non è ASSOLUTAMENTE vero nel caso delle scale. Abbiamo sempre detto che i nostri semplici calcoli erano stime che fornivano limiti utili. E abbiamo dimostrato che gli atleti professionisti si avvicinano a questi limiti. Adesso notiamo che le approssimazioni possono non essere più valide quando non si parla di atleti professionisti in condizioni ideali. Ma possiamo comunque concludere che la potenza sviluppata per unità di massa salendo le scale dipende debolmente dalla massa.

## Potenza media e contenuto energetico del cibo

La fonte essenziale di tutta la potenza di cui abbiamo parlato è il cibo. La potenza media sviluppata è più o meno equivalente alla quantità di energia che assumiamo mangiando. In cosa consiste questa quantità?

Avete, senza dubbio, sentito parlare della caloria. E sapete che il numero di calorie del cibo è un indice di quanta energia può fornire. La **caloria** è in realtà un'unità di misura di calore. È la quantità di calore necessario per innalzare di 1° Celsius la temperatura di 1 grammo d'acqua. Per essere più precisi, è esattamente la quantità di calore necessaria a portare un grammo d'acqua da 15° a 16° Celsius, ma non siamo pignoli! (1 cal = 4.184 J)

Potrebbe sorprendervi apprendere che il calore è proprio il modo in cui viene determinato il contenuto calorico dei cibi. Da qualche parte, in un laboratorio, proprio in questo momento, un tizio in camice bianco sta bruciando delle merendine e misurando la quantità di calore prodotta per scriverlo sull'etichetta.

Adesso le cattive notizie. La definizione di caloria data sopra è quella dei fisici, non quella dei nutrizionisti. Per ragioni che hanno a che vedere più con il marketing che con altro (almeno credo) le “calorie” elencate sul cibo non sono affatto calorie; sono invece kilocalorie. Dunque ogni “caloria” di cibo equivale in realtà a **1000 calorie**. Fareste meglio a mettervi a dieta!

Come potete immaginare il calore è semplicemente una forma di energia, quindi le calorie possono essere messe in relazione con i joule (e di conseguenza con i watt). Una kilocaloria (ovvero una caloria dei nutrizionisti) equivale a 4184 joule. Se prendiamo una dieta tipica di circa 3000 kilocalorie al giorno, ciò implica un assorbimento di energia di:

$$3000 * 4184 \text{ J} = 12.6 \text{ MJ (M sta per mega, ovvero un milione).}$$

Se lo dividiamo per il numero di secondi in un giorno ( $24*60*60 = 86400$ ) otteniamo un potenza media di circa 150 W.

Per periodi di tempo relativamente lunghi, usando principalmente fibre muscolari a spasmo lento, potete sviluppare 10 volte questa potenza. Per brevi periodi, usando fibre muscolari a spasmo rapido, potete sviluppare UN ALTRO fattore di 10 per un totale di 100 volte questa potenza media. Ma per sviluppare molta più potenza per qualsiasi periodo di tempo dovrete mangiare di più.

---

## Efficienza muscolare

Non tutto il contenuto energetico del cibo verrà trasformato in energia meccanica utile (per es. il movimento). Infatti, la stragrande maggioranza di esso andrà “sprecato”. Ciò avviene perché i muscoli non operano con un'efficienza del 100%.

Ci sono molti motivi per questo. Innanzi tutto ci sono dispersioni nell'ambiente: l'attrito della strada quando si corre oppure la resistenza dell'aria. Nella maggior parte dei casi tali dispersioni sono trascurabili. Per velocisti a livello mondiale possono rappresentare una piccola percentuale del totale della potenza sviluppata; in molti altri casi le dispersioni sono anche più piccole (un'eccezione degna di nota è rappresentata dai nuotatori, i quali hanno a che fare con un mezzo molto più viscoso che causa dispersioni maggiori). Il più delle volte i principali meccanismi di dispersione sono interni.

Esistono due fonti principali di dispersione interna: l'attrito interno dei muscoli e delle articolazioni, che scivolano gli uni contro gli altri, e l'energia spesa per muovere gli arti in un modo che non contribuisce al moto complessivo del CM. La prima di queste, l'attrito interno, può essere aumentata drasticamente dal grasso contenuto nei muscoli. Anche la tensione muscolare causa maggiori dispersioni dal momento che i muscoli sono costretti ad operare l'uno contro l'altro. Il secondo tipo di dispersione avviene, per esempio, quando si fa un passo: ci si spinge su una gamba e poi bisogna riportare la stessa gamba in avanti. Per far ciò occorre accelerare la gamba in avanti e poi riportarla a riposo quando ha raggiunto la posizione più avanzata del passo. Nessuno di questi movimenti contribuisce a spingere il corpo in avanti.

Il risultato di tutto questo è che i muscoli hanno un'efficienza nel convertire le calorie contenute nel cibo in lavoro utile pari ad appena il 15-25% di quella ideale.

### Esempi di sfruttamento delle calorie

Immaginate che il Tizio-che-salta salti una volta al secondo per dieci minuti, vale a dire 600 salti. Se ha una massa di 70 kg e ogni volta salta ad un'altezza di 60 cm, compierà

$$mgh = 70 \cdot 9.8 \cdot 0.6 = 411 \text{ J}$$

di lavoro ogni volta per un totale di

$$411 \cdot 600 = 2.5 \times 10^5 \text{ J.}$$

Questo è proprio il lavoro utile che si è trasformato in movimento. Supponendo che i muscoli siano efficienti al 20%, l'energia totale consumata dal suo corpo sarebbe in realtà 5 volte questo valore, ovvero

$$5 \cdot 2.5 \times 10^5 = 1.25 \times 10^6 \text{ J} = 300 \text{ kilocalorie.}$$

Ci sono davvero poche persone (se ce ne sono!) che potrebbero fare 600 salti di 60 cm in 10 minuti. Eppure l'energia consumata in questa impresa eroica è più o meno pari al contenuto energetico di due ciambelle!

Per fare un altro esempio, supponiamo che possiate convertire completamente il contenuto calorico di un hamburger Big Mac in energia potenziale gravitazionale. Che altezza potreste raggiungere? Un Big Mac contiene circa 700 kilocalorie ovvero 2.9 MJ.

Se consideriamo una persona di 70 kg allora

$$E = mgh$$

$$h = E/mg = 2.9 \times 10^6 / (70 \times 9.8) = 4270 \text{ m}$$

Questa è l'altezza del Monte Rainier! In realtà, per quanto detto sopra, solo il 20% dell'energia introdotta sotto forma di nutrimento può essere convertita in energia meccanica, quindi solo

$$2.9 \times 10^6 \times 0.20 = 5.8 \times 10^5 \text{ J}$$

che corrispondono ad un'altezza di 854 m, ancora rispettabile.

Quindi se il contenuto energetico del cibo è così elevato, come si può perdere peso allenandosi? Il motivo è che allenandosi e mantenendosi in forma si aumenta il metabolismo. Così le persone in buona forma fisica bruciano calorie in continuazione più velocemente... anche solo stando sedute a seguire un corso di Fisica!

## Il test del salto: il Tizio-che-salta diventa un professionista (Sargent test)

Il test del salto è una prova standard utilizzata dai *talent scout* per giudicare la forma fisica dei nuovi talenti sportivi. In pratica gli atleti si accovacciano e saltano toccando il muro più in alto che possono (senza rincorsa). Ciò che si misura è l'altezza del salto, ma ciò che se ne deduce è la potenza massima sviluppata dall'atleta.

Ecco alcuni dati reali del test del salto per un giocatore di football della squadra degli Husky: massa = 100 kg, distanza del piegamento = 30 cm, altezza massima del CM = 72 cm. Per cui l'energia totale sviluppata è:

$$mg(h + c) = 100 \cdot 9.8 \cdot 1.02 = 1000 \text{ J}$$

Per ottenere la potenza sviluppata dobbiamo dividere questo per la giusta quantità di tempo. Misure accurate ottenute grazie a riprese video digitalizzate mostrano che il tempo totale da quando comincia a slanciarsi con le braccia a quando lascia il suolo è 0.33 secondi. Tuttavia la spinta delle gambe responsabile dello slancio dura soltanto 0.13 secondi. Iniziamo supponendo che la maggior parte del lavoro venga compiuto in questa spinta finale e vediamo dove questo ci porta. In tal caso la potenza media è

$$P = \Delta E / \Delta t = 1000 / 0.13 = 7690 \text{ W}$$

E questa è solo la potenza MEDIA; la potenza massima sarà più o meno il doppio, ovvero 15400 W! Quanto muscolo servirebbe a produrre questa potenza? Abbiamo calcolato che la densità di potenza di un muscolo è 400 W/kg, da cui si ricava  $15400 / 400 = 38$  kg di muscolo. Ma ricordatevi che i muscoli funzionano in coppie agonista/antagonista. Se ci sono 38 kg di muscolo agonista che spingono l'atleta verso l'alto, ci devono essere anche almeno 38 kg di muscolo antagonista che sono inattivi. E' un totale di 76 kg ! Di sicuro le gambe del tizio non sono COSI' muscolose! Quindi da dove viene quella potenza?

Tenete a mente che eravamo partiti dall'ipotesi che le gambe stessero compiendo tutto il lavoro. Adesso facciamo un passo indietro e consideriamo il contributo dei muscoli del braccio e del busto. In questo caso dobbiamo fare una media della potenza per l'intera durata del salto, 0.33 secondi:

$$P = \Delta E / \Delta t = 1000 / 0.33 = 3030 \text{ W}$$

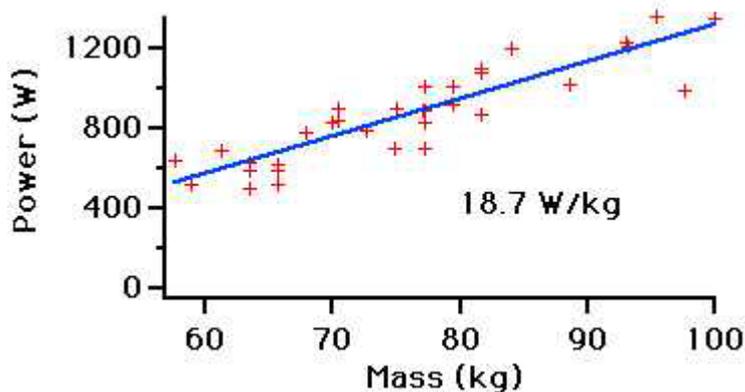
Di nuovo la potenza massima sarà più o meno il doppio. Ciò implica  $6060 / 400 = 15$  kg x 2 (per gli antagonisti) = 30 kg. Questo valore è del tutto ragionevole per un atleta di 100 kg, soprattutto considerando che ora la massa muscolare può essere distribuita sulle braccia e sul busto, oltre che sulle gambe.

Notate che la potenza massima sviluppata, ~6000 W, è MOLTO maggiore di quella che avevamo misurato per la salita delle scale. Ecco perché il test del salto è una prova così utile per i *talent scout*: permette di stimare rapidamente la potenza sviluppata e la massa muscolare totale.

## Salendo le scale: un'ulteriore analisi

Facciamo un passo indietro e applichiamo questo tipo di analisi alla salita delle scale. La densità di potenza dei muscoli è 400 W per kg di massa muscolare. Un atleta ben allenato avrà circa metà della sua massa corporea composta da muscoli. Vi offrirò il beneficio del dubbio e considererò che la vostra densità di potenza sia 200 W per kg di massa corporea. Ancora una volta dobbiamo tenere conto del fatto che mentre i muscoli agonisti stanno lavorando, gli antagonisti restano inattivi. Quindi si avranno 100 W di lavoro per kg di massa corporea. Ma ricordate che i muscoli sono efficienti solo al 20%, quindi si otterranno solo circa **20 W** di energia meccanica per kg di massa corporea.

Ovviamente questa è un'analisi molto approssimativa, ma se prendiamo i dati della salita delle scale e tracciamo il grafico della pura potenza sviluppata (non divisa per qualcosa) rispetto alla massa, vediamo che il risultato è piuttosto lineare.



Aggiustando i dati lungo una retta ci viene offerta una buona approssimazione con una retta di pendenza **18.7 W/kg**; proprio come avevamo calcolato! Dunque ancora una volta vediamo che un'analisi molto semplice può descrivere le cose abbastanza bene, anche se non tutti i dettagli sono proprio giusti.

## Potenza in un fuoricampo

Studi hanno dimostrato che la velocità minima di una mazza da baseball necessaria per battere un fuoricampo è di circa 24 m/s. Una tipica mazza da baseball pesa 30 once e quindi possiede una massa di 0.85 kg. La mazza viene fatta oscillare intorno alla posizione di battuta in circa 0.13 secondi, così la potenza richiesta è

$$P = \Delta E / \Delta t = 1/2 mv^2 / 0.13 = 245 / 0.13 = 1884 \text{ W}$$

Usando lo stesso tipo di analisi utilizzato sopra, la potenza MASSIMA risulterà 3768 W, che richiede circa 9.4 kg di muscoli agonisti, per un totale di 18.8 kg. Chiaramente questa potenza non deriva solamente dalle braccia.

Il battitore in realtà comincia ad oscillare la mazza usando i muscoli dei fianchi e del

busto. Questi hanno una massa relativamente grande, per cui possono sviluppare molta energia cinetica anche se la velocità è bassa. Questa energia deve poi essere trasferita efficacemente alla mazza. Ciò si ottiene compiendo un movimento simile ad una frustata; all'inizio la mazza viene spinta all'indietro (e i muscoli delle braccia si stendono per sviluppare il massimo della forza) e poi mossa molto rapidamente in avanti.

Questa analisi non è scontata neanche per i giocatori della Major League. Quando Mark McGwire decise di migliorare la potenza della sua battuta, andò in palestra e cominciò a sollevare pesi per sviluppare i muscoli delle braccia. Poi i suoi allenatori gli spiegarono che i principali muscoli impiegati per eseguire una battuta si trovano nel busto, non nelle braccia. Solo dopo aver cominciato un programma di sollevamento pesi appositamente mirato allo scopo, la potenza della sua battuta decollò davvero.

Un'analisi simile si applica ai lanciatori, che impiegano *all'estremo* la tecnica descritta sopra! Notate che di solito non hanno braccia molto muscolose: troppa massa rallenterebbe considerevolmente il movimento del braccio. Tuttavia, i loro pettorali e addominali sono in media maggiormente sviluppati.

<b>Lezione 11</b> <b>PUNTI PRINCIPALI:</b>	<a href="#">Lezione 12</a> <b>ANTEPRIMA:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 kilocaloria = 1.000 calorie = 4.184 J.</li> <li>• I muscoli sono efficienti solo al 20% circa nel convertire calorie in movimento.</li> <li>• Analizzare la potenza impiegata nel movimento può aiutare a determinare quali muscoli vi sono coinvolti.</li> </ul>	Esempi di Leggi Scalari.