



Art & Science across Italy

V
edizione

Un viaggio tra Scienza e Arte con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



16 Gennaio 2025 ore 16:00

Paolo Valente

Dirigente di Ricerca, INFN - Roma1

su Youtube e FaceBook

**Vivere il futuro:
scienza, tecnologia e sport nella vita di ogni giorno**

artsandscience.infn.it

PATROCINIO

MEDIA PARTNERSHIP



Disclaimer

- **Non** sono un professionista della scienza dello sport [né tantomeno della fisiologia]
- **Non** sono neanche uno sportivo professionista [e anche come amatore non sono particolarmente evoluto]

MA

- Lo **sport** è una componente importante della vita di tutti, soprattutto per migliorare la nostra **salute**
- La **scienza** è una chiave di lettura per comprendere tutti gli aspetti della nostra vita quotidiana
- Studiare alcuni meccanismi che sono alla base di gesti quotidiani e leggerli in chiave scientifica è interessante e spero divertente

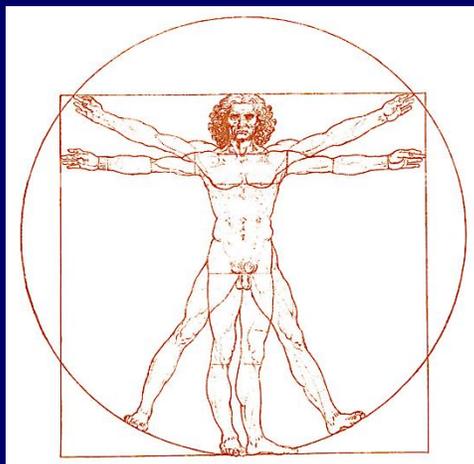


Tanti tipi di sport, un solo protagonista

Sport a parità di condizioni tra gli atleti

DI RESISTENZA

Ripetizione del movimento: pedalare, correre, marciare, nuotare, remare, ecc.



ALTERNATI

Fasi attive che si alternano a pause di recupero, con la possibilità di protrarre l'impegno.

Tipicamente sport di squadra o con gesti atletici intervallati (tennis)

DI DESTREZZA

È necessario eseguire e perfezionare movimenti difficili (tuffi, ginnastica artistica) o in modo sempre vario e imprevedibile (scherma, arti marziali).

alcuni con supporto di «attrezzi»



DI POTENZA

Quando è dominante l'intervento della forza e della potenza (forza x velocità) come salti o lanci, corsa breve, sollevamento pesi, ecc.

Sport con elevato supporto tecnologico

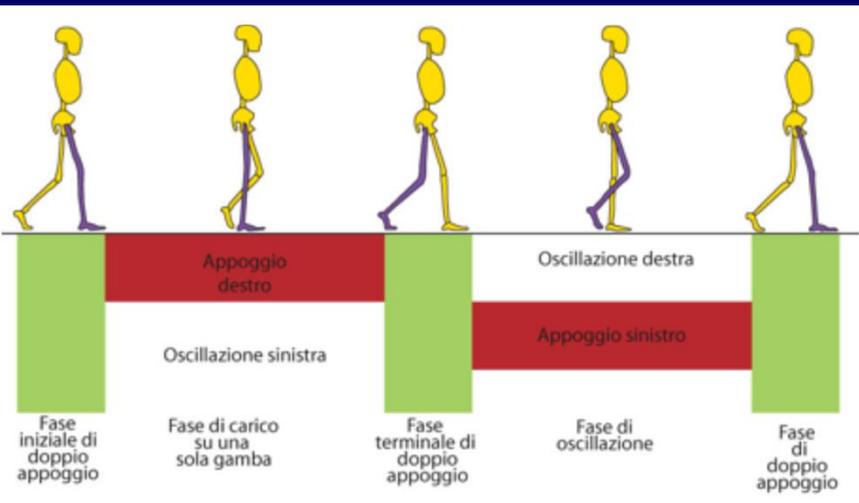
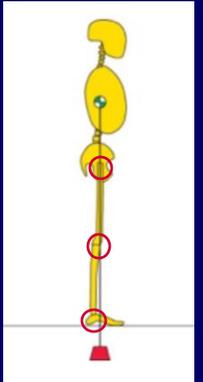
MOTORISTICI e non solo



Il gesto più naturale: camminare, correre...

Camminare richiede di generare una spinta in avanti, mantenendo l'equilibrio del corpo, di assorbire l'impatto con il suolo, il tutto ottimizzando i movimenti e il dispendio energetico.

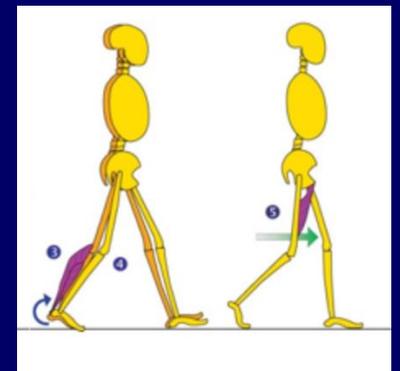
- Schematizziamo il corpo umano come una serie di leve costituite da ossa e articolazioni e la potenza è fornita dai **muscoli**. Consideriamo la metà inferiore come «locomotore» e quella superiore come «passeggero».
- Si ha una stabilità passiva quando il baricentro del corpo è allineato alle articolazioni che lo supportano [**anca, ginocchio e piede**].
- Per andare in avanti, si sfrutta la caduta in basso e in avanti del peso del corpo mentre una gamba avanza [e si appoggia sull'altra], e poi la spinta quando trova il nuovo appoggio e il movimento in avanti della gamba di «richiamo».



La reazione all'impatto del piede al terreno è diretta verso il baricentro e quindi può essere scomposta in una componente verticale e una orizzontale «frenante» dell'avanzamento del baricentro.

L'attrito del piede con il terreno è quello che permette di generare la spinta in avanti.

Per contrastare la frenata conviene **alzare il baricentro**.



Contrazione muscolare

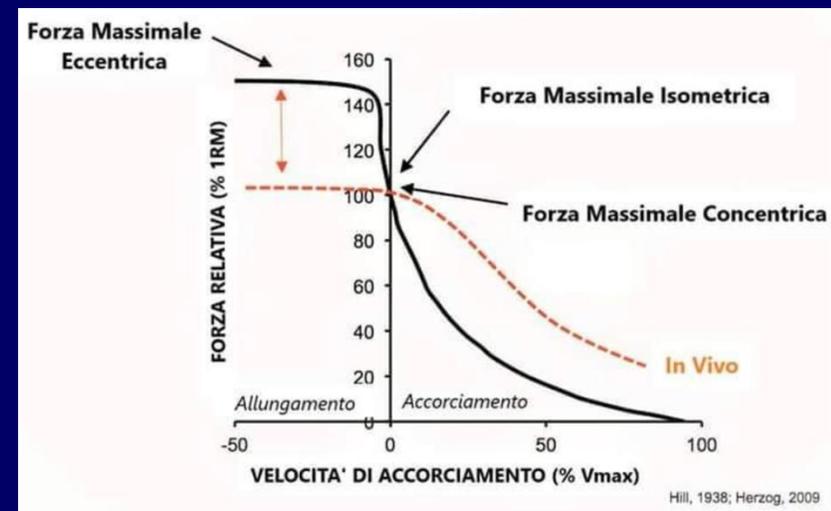
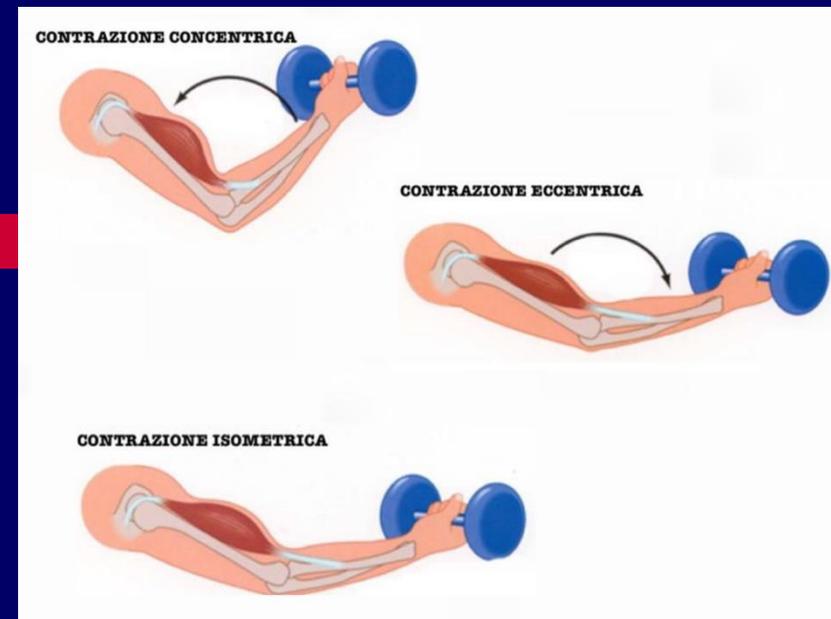
Il muscolo è in grado di convertire l'energia chimica [ATP] in energia meccanica, agendo su un sistema di leve [apparato muscolo scheletrico] tramite la contrazione delle fibre muscolari, a seguito della quale i muscoli possono **accorciarsi** [fase concentrica o positiva], ma anche **allungarsi** [fase eccentrica o negativa] o anche rimanere della stessa lunghezza [isometrica]

Nella fase eccentrica:

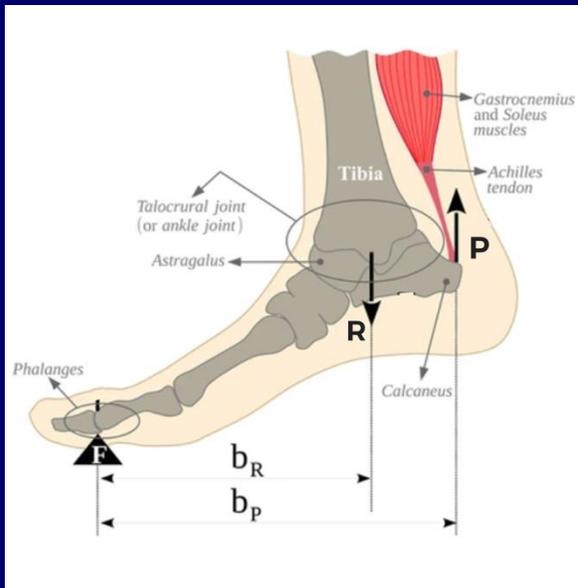
- Si pre-attiva il muscolo
- Si accumula energia elastica «stirando» le componenti elastiche

La fase concentrica di solito è effettuata con maggiore forza e velocità rispetto alla eccentrica. Vengono attivate più fibre muscolari con minor carico per ciascuna fibra.

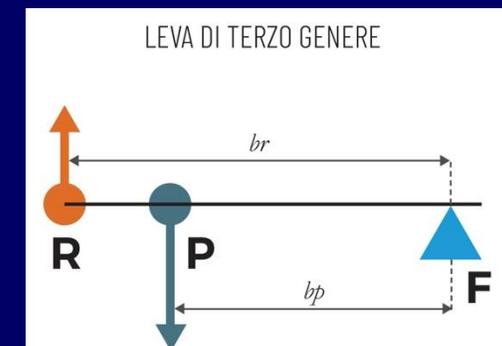
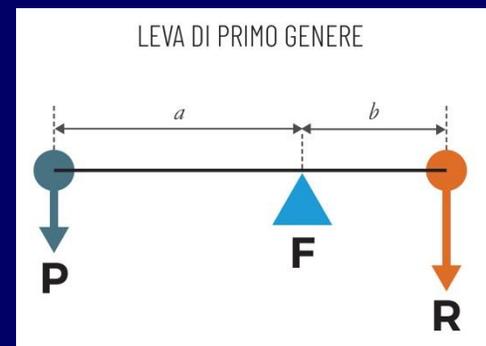
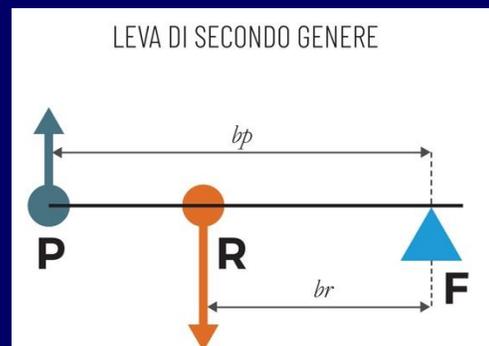
La relazione tra forza espressa e velocità di spostamento prodotta esprime semplicemente la costanza della massima potenza muscolare $P = Fv$



Il gesto più naturale: camminare, correre...

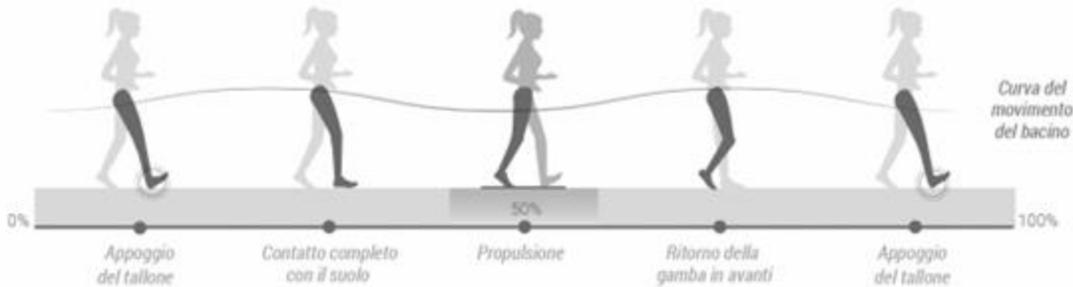


- Il piede si comporta come una leva di **secondo genere** [vantaggiosa]: la punta del piede è il **fulcro**, il peso del corpo applicato all'articolazione del perone è la **resistenza**, la **potenza** è esercitata dai muscoli che sollevano il calcagno, $P:R = b_R:b_P$
- La maggior parte delle leve del corpo umano sono invece «**di equilibrio**» o di primo genere [il fulcro nel mezzo, come una bilancia a piatti] o «**di velocità**» cioè di terzo genere [con la potenza nel mezzo, sempre svantaggiosa]

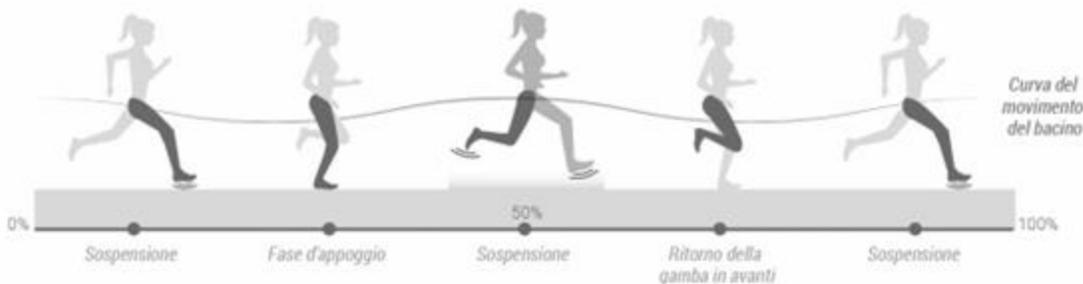


Il gesto più naturale: camminare, correre...

La camminata



La corsa



Nella corsa, come nella camminata, quando il baricentro è indietro rispetto all'appoggio, cioè in fase di «ammortizzazione», il lavoro è prevalentemente negativo; quando invece il baricentro oltrepassa il punto di appoggio prevalentemente positivo.

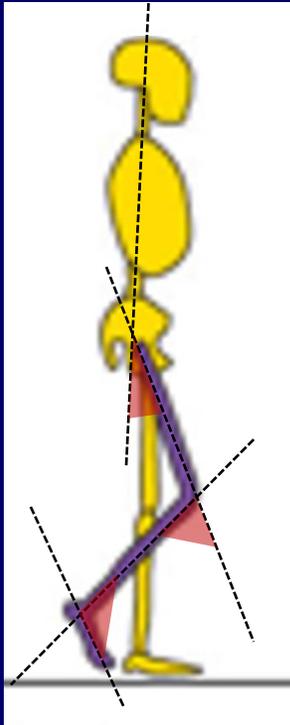
Nella fase di «sostegno» il piede è in asse con il baricentro, diversi muscoli si contraggono in modo isometrico per favorire la stabilità.

La sequenza di appoggio del piede a terra non è tallone-punta ma è l'**avampiede** [con la parte esterna metatarsale] a assorbire l'impatto al suolo e sfruttare l'azione dei muscoli estensori.

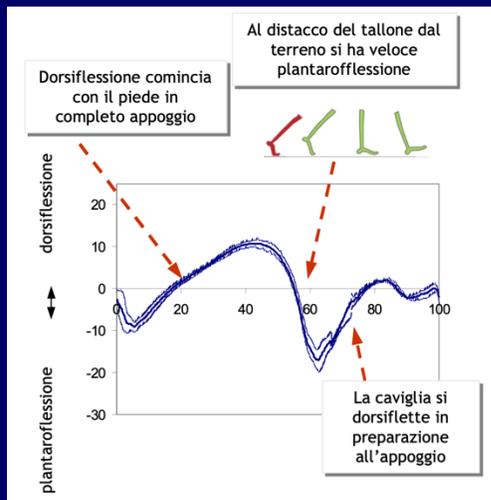
Nell'azione di corsa, contrariamente alla camminata, c'è una fase di **sospensione** durante la quale **entrambi** i piedi sono staccati dal terreno.

Nella fase finale di spinta il piede è dietro al baricentro; i muscoli sfruttano la loro forza di tipo elastico e reattivo per proiettarsi in avanti (distensione della gamba). La fase di spinta inizia dai muscoli del bacino, più lenti ma potenti, si continua con i muscoli della gamba e termina con quelli del piede.

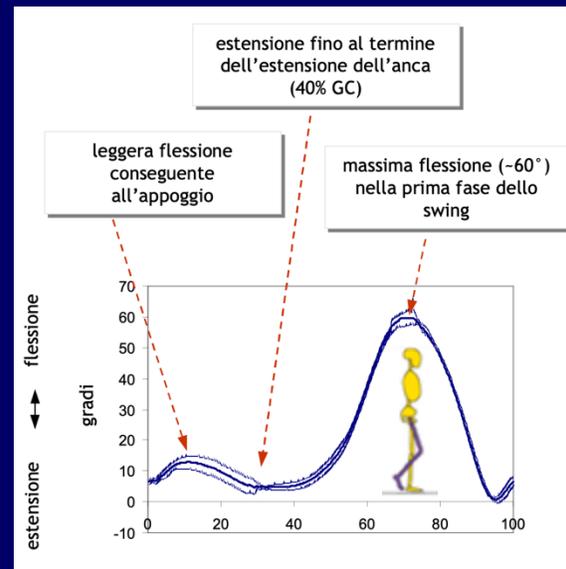
Il gesto più naturale: camminare, correre...



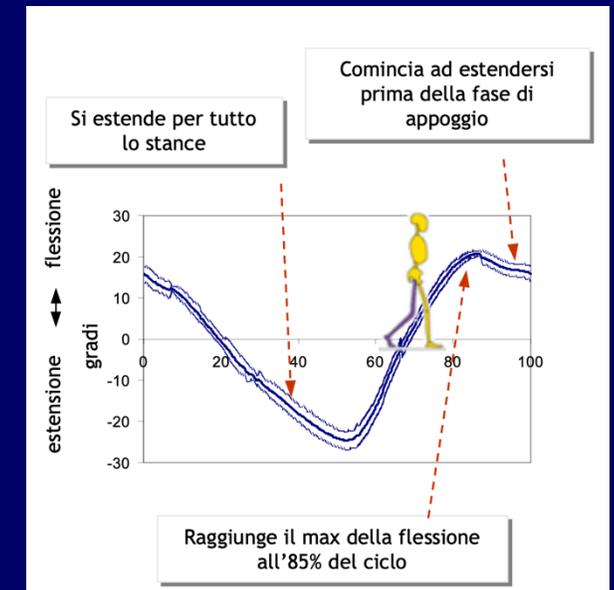
piede



ginocchio



anca



Il contributo più importante al movimento nella camminata e nella corsa è dato dal soleo [muscolo profondo del polpaccio] e dal grande gluteo.

Biomeccanica della corsa

Migliorare la tecnica di corsa valutando la **biomeccanica** soddisfa diverse esigenze:

- Migliorare l'efficienza e quindi la performance rispetto alla potenza muscolare
- Dissipare le forze di carico in modo corretto, minimizzando le sollecitazioni su muscoli e articolazioni, sui tendini e sulle ossa.
- Evitare movimenti scorretti: iperestensioni, torsioni, con rischi di infortuni muscolari, ai tendini, legamenti, ecc.

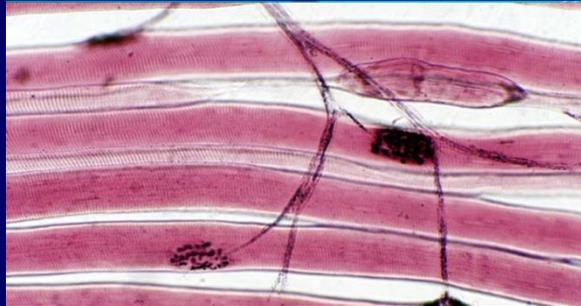


Questo per quanto riguarda la meccanica, ma che cosa possiamo dire del **motore**?

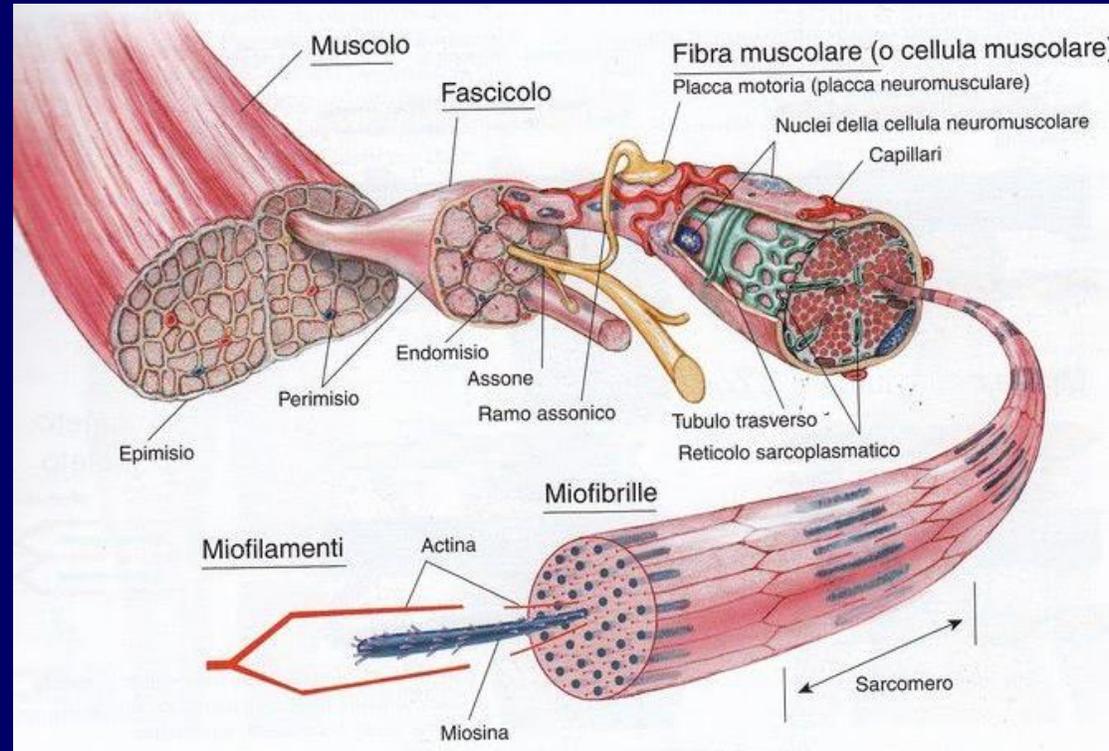
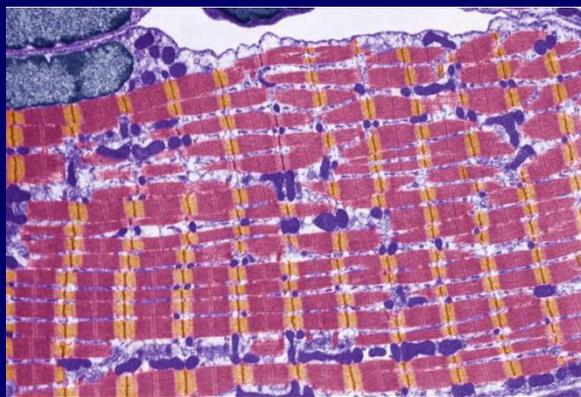


Il motore

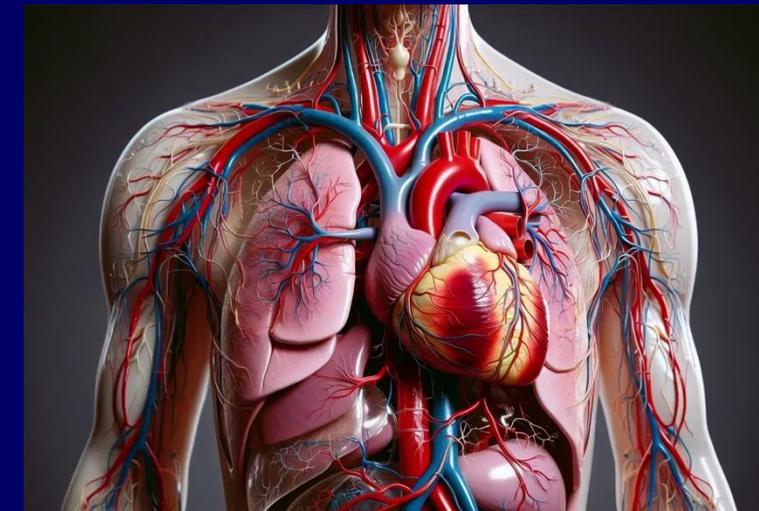
300x



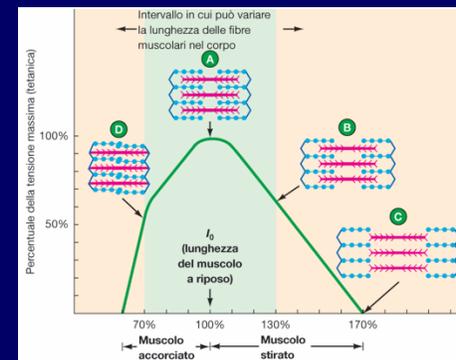
10000x



Questa trasformazione richiede [quasi sempre] delle reazioni di ossidazione, un po' come in quelle di combustione, e quindi occorre trasportare sia l'**ossigeno** sia il «**carburante**» [sostanze ricche di energia, glucosio e acidi grassi] e quindi in un certo senso gli apparati circolatorio e respiratorio costituiscono il sistema di pompaggio del motore



La trasformazione di **energia chimica** in **energia meccanica** avviene a livello delle **fibre** dei muscoli scheletrici, che si contraggono, grazie allo scorrimento di **filamenti sottili** all'interno di fasci di **filamenti spessi** all'interno di una struttura (il sarcomero) grazie a dei «ponti» di molecole specializzate di una proteina «motrice» la **miosina**.



La benzina: glucosio

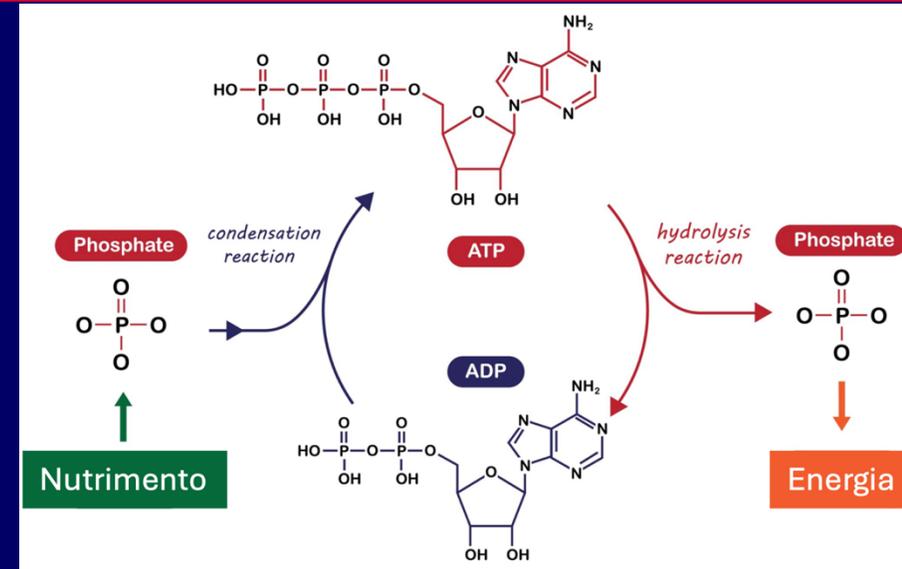
Per poter compiere un lavoro le cellule dei muscoli hanno bisogno di **energia**, che deve essere rifornita un po' come la benzina al motore a scoppio.

La «moneta» energetica della cellula è una molecola che si chiama **ATP** e l'energia viene fornita dal processo che scinde uno dei tre gruppi fosfato trasformandola in ADP: $ATP \rightarrow ADP$. Il corpo umano consuma grande quantità di ATP e quindi bisogna **produrla continuamente**.

La sintesi dell'ATP avviene tramite il processo della «**respirazione cellulare**», che si compone di varie fasi e in pratica **inverte** quanto avviene nelle piante attraverso la fotosintesi, estraendo energia dalla scomposizione delle molecole dello zucchero semplice, il **glucosio** [C₆H₁₂O₆].

La prima fase avviene nel **citoplasma**, la **glicolisi**, scinde il glucosio in due molecole con 3 atomi di C, il **piruvato**. Il piruvato viene trasportato nei **mitocondri**, dove avviene la completa **ossidazione**, quindi una fase che **richiede ossigeno** o **aerobica**, che produce anidride carbonica, acqua ed energia: circa **30 molecole di ATP**.

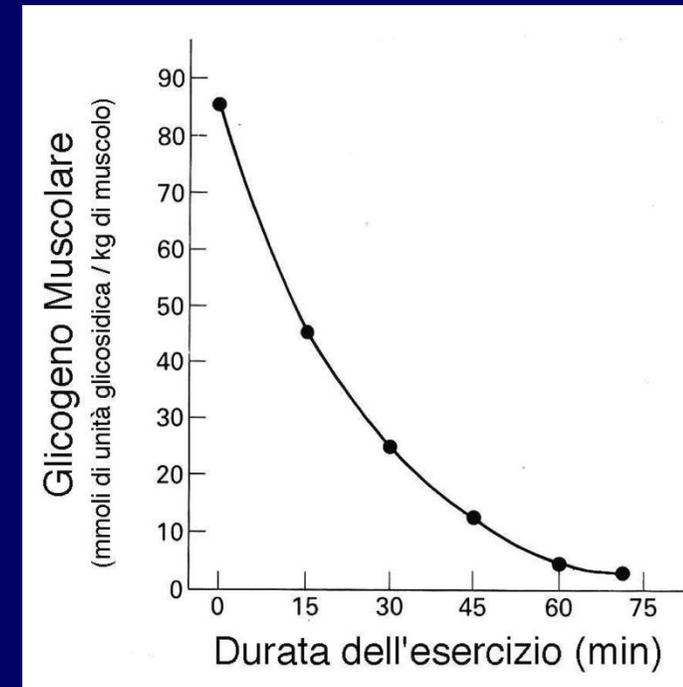
Anche se simile alla normale combustione, efficienza molto alta: 65% **energia chimica** sotto forma di ATP + 35% calore.



Il serbatoio: glicogeno

Il meccanismo **aerobico** è quello dominante **a riposo** o nell'esercizio fisico **moderato**. A intensità moderate la maggior parte del glucosio necessario viene ricavato dai **lipidi**. Ma mano che però l'intensità aumenta è necessario attingere a delle scorte. Nei muscoli una certa quantità di glucosio è accumulata sotto forma di catena polimerica: il **glicogeno**.

È una fonte di energia prontamente disponibile e viene prodotto principalmente a partire dai **carboidrati**. Inoltre lega una notevole quantità di **acqua**. A differenza del glicogeno necessario alle cellule nervose, prodotto nel fegato e trasportato nel sangue, il glicogeno muscolare rimane nelle cellule del muscolo.



Quadricipite femorale

Metabolismo anaerobico lattacido



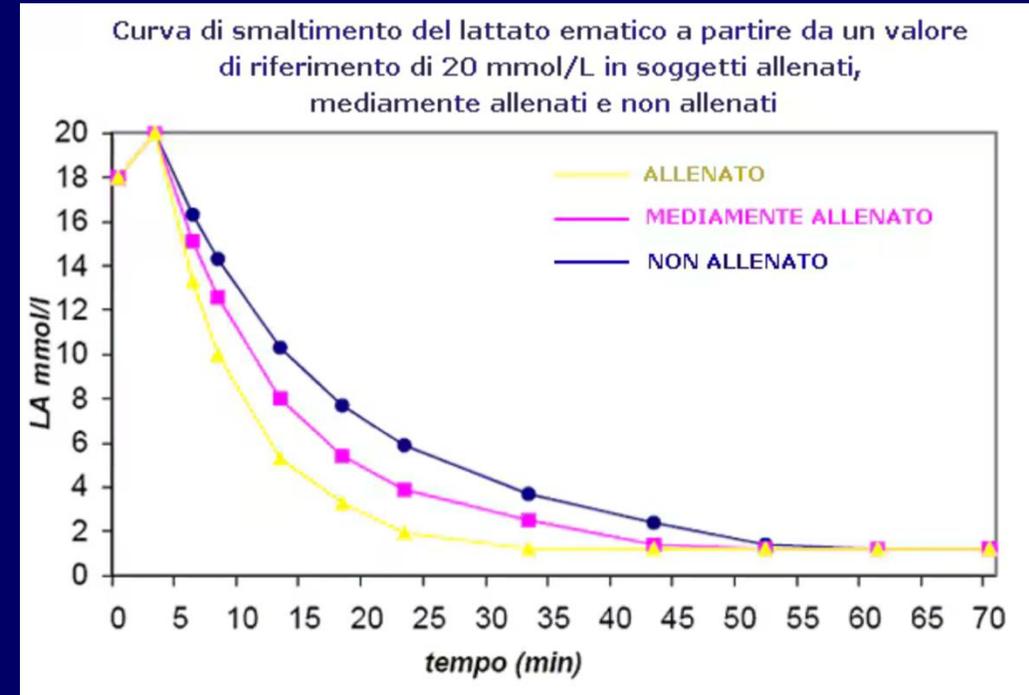
Nella **glicolisi**, il glucosio viene scisso nel citoplasma in due molecole di piruvato. Questa reazione può produrre ATP anche **in assenza di ossigeno**, quindi può essere sfruttata quando lo sforzo è così intenso che non può essere trasportato tutto l'ossigeno necessario all'ossidazione del piruvato.

Per sostenere la glicolisi in alternativa alle reazioni di ossidazione aerobica interviene la **fermentazione** della riserva di **glicogeno** del muscolo.

Poiché l'ossidazione è incompleta, rimane uno scarto, l'**acido lattico** [in realtà è in gran parte presente dissociato come ione **lattato** e H^+]. Essendo un composto tossico per le cellule l'acido lattico deve essere smaltito, la cellula si difende dall'abbassamento del pH espellendo l'acido lattico nel sangue, dove si può misurare l'aumento di concentrazione del lattato.

Un enzima rallenta inoltre la glicolisi, generando quella che chiamiamo «**fatica muscolare**» fino a che la concentrazione non ritorna normale. L'acido lattico è riconvertito in glucosio dal fegato o essere utilizzato al posto del glucosio dalle stesse fibre muscolari, in particolare quelle **bianche** [e quelle cardiache].

Questo è il meccanismo prevalente nelle fibre muscolari «**bianche**» o «veloci».



Metabolismo anaerobico alattacido



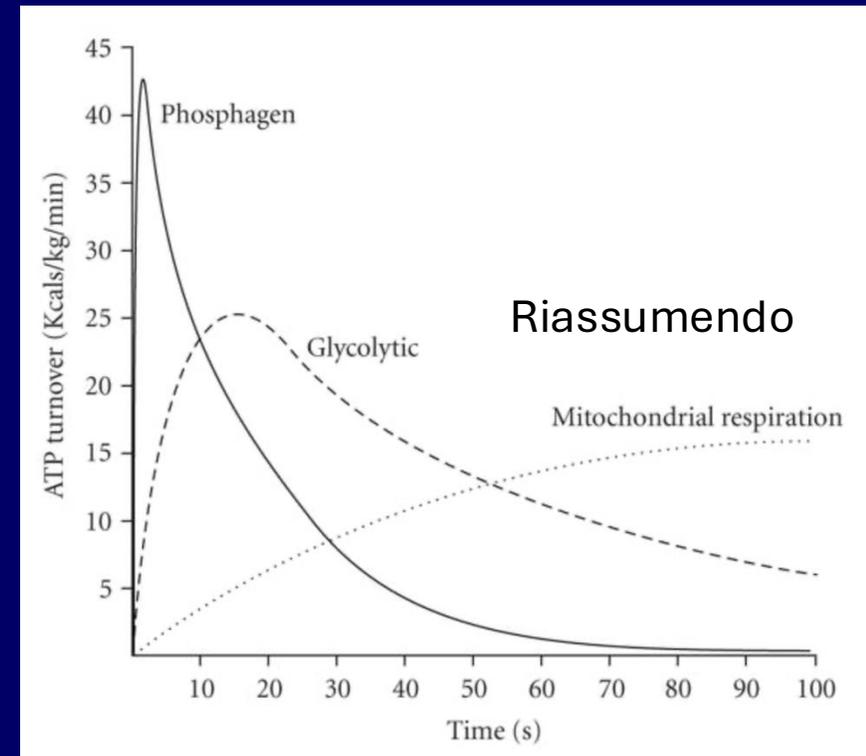
Quando il corpo ha **bisogno immediato di energia**, utilizza un meccanismo differente: nel corpo ci sono riserve di **fosfocreatina**, che si forma nel muscolo a riposo associando **creatina** a un gruppo **fosfato**. È quindi possibile produrre ATP attraverso la reazione che «presta» il fosfato della fosfocreatina all'ADP. In questo processo non interviene l'ossigeno e si produce soltanto di nuovo creatina e quindi è detto **anaerobico alattacido**, cioè **non si produce acido lattico**.

La **latenza**, ovvero il tempo necessario, è molto breve, la massima energia che si produce, la **potenza**, è elevata ma la quantità totale di energia che si **ricava**, la **capacità**, è ridotta.

Le riserve di fosfocreatina si esauriscono **rapidamente**, per cui la forza diminuisce, e necessitano di diversi secondi al termine dello sforzo per ristorarsi. Complessivamente ATP e fosfocreatina accumulate nei muscoli sono sufficienti a uno sforzo molto intenso della durata di **pochi secondi**.

Anche questo meccanismo, come quello lattacido, avviene prevalentemente nelle fibre muscolari **bianche**, che quindi sono più adatte a sforzi brevi ed intensi.

Le fibre **rosse**, invece, più ricche di mioglobina e mitocondri e con una maggiore densità e ramificazione capillare, sfruttano prevalentemente il meccanismo aerobico e sono quindi più adatte a sforzi moderati e prolungati.



Fibre muscolari

A livello muscolare ci sono quindi diversi tipi di fibre:

- Fibre **Rosse** di Tipo I (ST)

Chiamate anche Fibre Lente, sono anche resistenti. Prevalenti negli sforzi di bassa intensità e lunga durata.

Lavorano in ambiente **aerobico**, grazie alla grande riserva di ossigeno sempre disponibile perché ricche di mioglobina (colore rosso). Utilizzano glucidi e lipidi a scopo energetico, hanno una soglia di attivazione bassa, una velocità di contrazione lenta e riescono a generare poca forza.

- Fibre **Bianche** di Tipo IIB

Colore dovuto alla scarsa presenza di mioglobina, sono le fibre più veloci. Possono esprimere potenza molto elevata nel breve tempo grazie alle grandi dimensioni dei motoneuroni che aumentano la velocità di conduzione nervosa.

Stimolate in ambiente anaerobico e in assenza di acido lattico (**anaerobico alattacido**). Hanno una soglia d'attivazione molto alta e pertanto entrano in gioco solo se richiamate da sforzi elevati. Sono fibre con una maggior propensione all'ipertrofia, e vengono stimolate con allenamenti brevi ma molto intensi.

- Fibre **Intermedie** di Tipo IIA

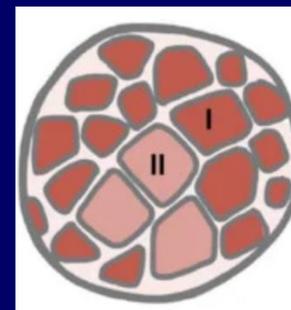
Una via di mezzo tra le fibre di Tipo I e le fibre di Tipo IIB: riescono quindi a generare una buona potenza per un tempo medio.

Utilizzate in ambiente anaerobico e in presenza di acido lattico (sistema **anaerobico lattacido**). Utilizzano prevalentemente i glucidi a scopo energetico. Sono fibre che si stimolano con allenamenti di durata intermedia e ad alta intensità.

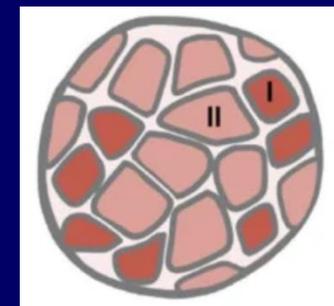
Muscolo	%ST	%Ffa	%Ffb	Muscolo	%ST	%Ffa	%Ffb
Adduttore breve*	45	15	40	Adduttore lungo*	65	15	40
Grande adduttore*	55	15	30	Gemelli*	50	20	30
Grande gluteo*	50	20	30	Gluteo medio/piccolo*	50	20	30
Ileo Psoas*	50		50	Otturatore est/interno*	50	20	30
Pettineo*	45	15	40	Piriforme*	50	20	30
Psoas*	50	20	30	Bicipite femorale*	65	10	25
Gracile*	55	15	30	Sartorio*	50	20	30
Semimembranoso*	50	15	35	Semitendinoso*	50	15	35
Tensore fascia lata*	70	10	20	Popliteo*	50	15	35
QF Vasto intermedio*	50	15	35	QF Vasto laterale*	45	20	35
QF Vasto mediale*	50	15	35	QF Retto femorale*	45	15	40
Soleo*	75	15	10	Tibiale anteriore*	70	10	20
Grande dorsale**	50		50	Retto addominale**	46		54
Bicipite brachiale**	50		50	Brachio-radiale**	40		60
Delticoide**	60		40	Grande pettorale**	42		58
Romboide**	45		55	Tricipite brachiale**	33		67
Trapezio**	54		46	Sopraspinoso* *	60		40

Percentuali diverse nei vari muscoli scheletrici

Prevalentemente lente



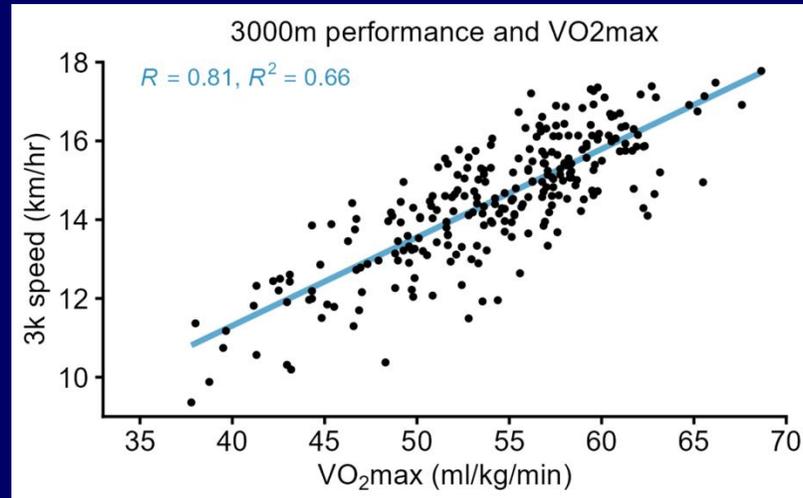
Prevalentemente veloci



Allenamento scientifico



- Misura dei parametri fondamentali, come il **consumo di ossigeno**, l'andamento della frequenza cardiaca e del lattato in funzione della potenza e del tempo
- **Correlazione tra parametri e performance**



	Sedentary		Elite Athlete	
	Men	Women*	Men	Women*
$\dot{V}O_{2max}$, mL/min/kg	<45	<40	~70-85	~60-75
$\dot{V}E_{max}$, L/min	120-140	~95	165-185	~125
Stroke volume, mL/beat				
At rest	~65	~55	~110	~70
Maximum	~100	~70	150-200	~125
Cardiac output, L/min				
At rest	~5-6	~3.5-4.5	~5-6	~3.5-4.5
Maximum	~20	~15	~30-40	~25
Lactate threshold, %	~60	~60	75-85	75-85
$\dot{V}O_{2max}$				
Fiber type, % type I	40-50	40-50	>60	>60
Capillary-to-fiber ratio	1.5-2	Similar or slightly lower	2.5-3	insufficient data
Mitochondrial volume density, %	4-5	Similar or slightly lower	7.5-9	insufficient data

La pompa: il cuore



Durante una prestazione atletica aumenta la necessità di **assorbire ossigeno** ed espellere **anidride carbonica**. A questo corrisponde quindi l'aumento della **frequenza del battito cardiaco** fino a un valore massimo (**FCmax**) che dipende dallo stato fisico e diminuisce costantemente con l'età.

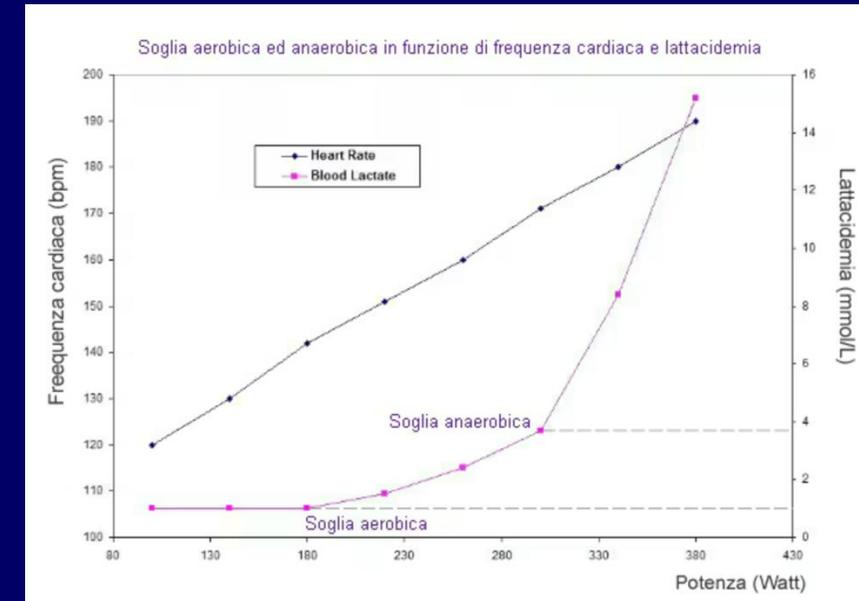
Un altro parametro utile è il massimo consumo di ossigeno (**VO2max**) che è una caratteristica fondamentalmente genetica.

In realtà la frequenza cardiaca è influenzata da numerosi altri fattori, tra cui la genetica, lo stato di forma fisica, lo stress e lo stato psicologico, la dieta, l'assunzione di farmaci, lo stato ormonale, l'ambiente, eventuali malattie ecc.

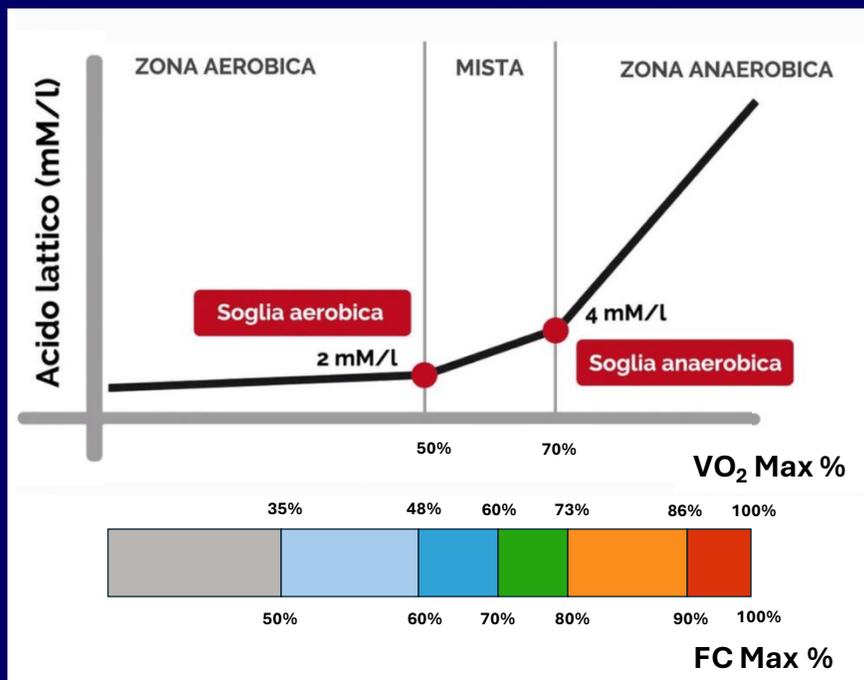
L'aumento è inizialmente **proporzionale** all'energia richiesta, ma quando il metabolismo aerobico non è più sufficiente e subentra il metabolismo anaerobico lattacido, questa proporzione non è più lineare. Da questo livello in poi l'aumento del battito rispetto all'aumento dell'intensità d'esercizio sarà più lento: **soglia anaerobica**.

In realtà questa transizione è meglio definita misurando la **concentrazione di lattato** nel sangue e in particolare dal raggiungimento del limite oltre il quale non è più smaltito efficientemente, pari a circa **4 mmol/l**.

La **soglia** per la concentrazione di lattato che viene considerata «basale», sotto la quale praticamente il metabolismo è solo **aerobico**, è fissata a **2 mmol/l**, e in queste condizioni lo sforzo può essere molto prolungato.



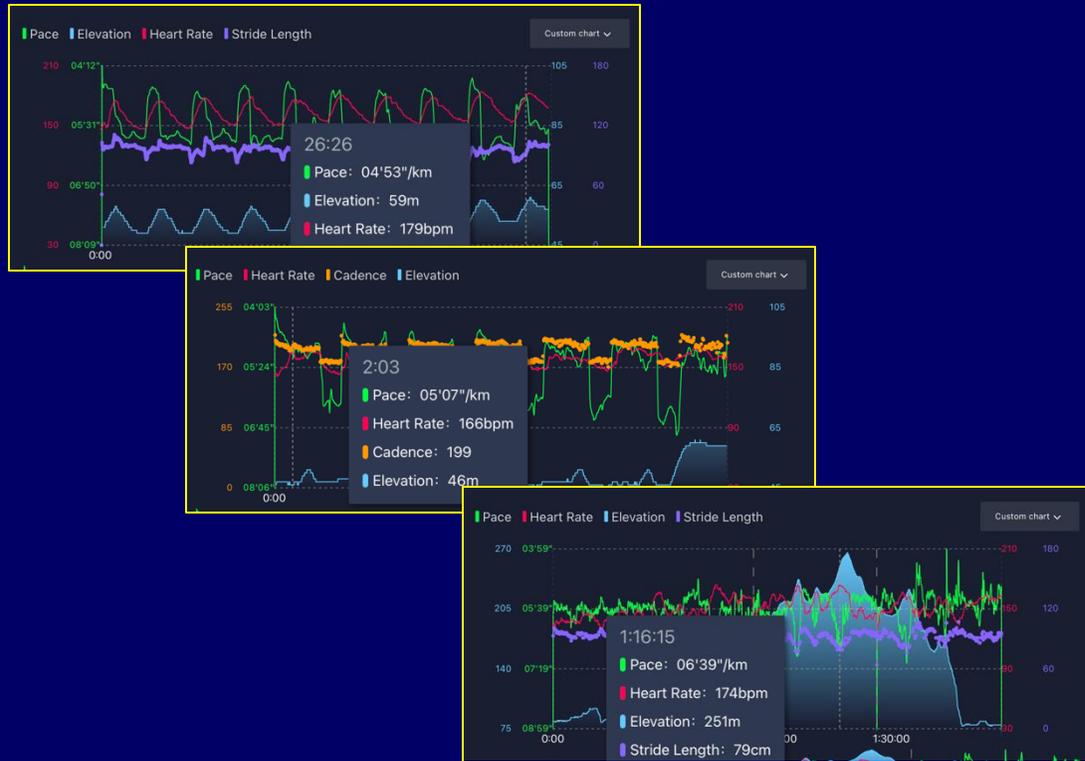
Zone di frequenza cardiaca



La maggior parte dei dispositivi con cardio-frequenzimetro utilizza una suddivisione in 6 o più zone riferite alla FC massima [Wrigley]

ZONA	FC Max %	Descrizione	Benefici	Consigliato per	Durata
ZONA 5	90% - 100%	Massima Intensità	Migliora la prestazione massima e la velocità. Migliora la velocità massima di sprint.	resistenza anaerobica e potenza muscolare.	0 - 2 minuti
ZONA 4	80% - 89%	Zona Anaerobica	migliora la resistenza alle alte velocità e le prestazioni massime. Consente di innalzare la propria soglia anaerobica.	allenamento potenza e miglioramento massime prestazioni.	2 - 10 minuti
ZONA 3	70% - 79%	Zona Aerobica	migliora la condizione aerobica e ritarda la fatica causata dall'acido lattico. Espande i vasi sanguigni, aumenta la capacità polmonare e rinforza il muscolo cardiaco permettendo allenamenti più lunghi.	resistenza.	10 - 40 minuti
ZONA 2	60% - 69%	Controllo del Peso	aumenta l'efficienza con cui grassi e carboidrati sono usati come fonti energetiche. Prepara il corpo ad allenamenti più intensi.	dimagrimento.	40 - 80 minuti
ZONA 1	50% - 59%	Intensità Moderata	migliora la circolazione sanguigna, aiutando ad avere un cuore sano e a recuperare dopo allenamenti intensi.	riscaldamento e defaticamento.	A lungo
ZONA 0	meno del 50%	Riposo	meno del 50% della FCMax: riposo.		Molto a lungo

Zone di frequenza cardiaca

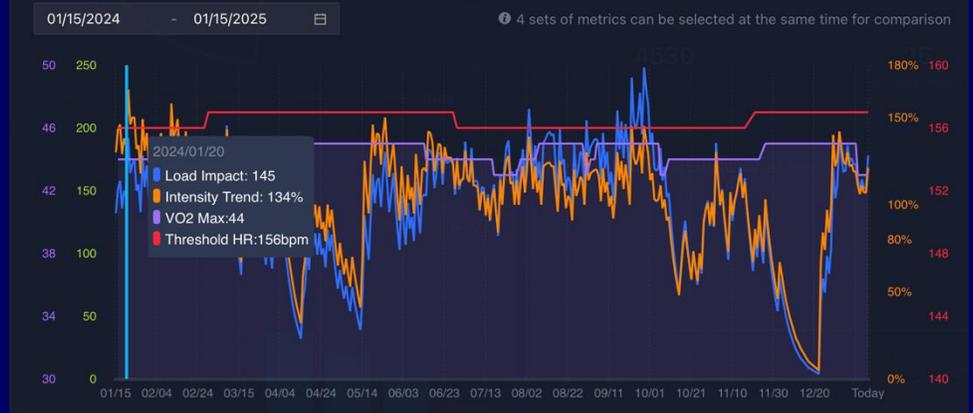


Threshold Heart Rate Zones

Lactate Threshold **157 bpm** Max Heart Rate **176 bpm** Resting HR **50 bpm**

Heart Rate Zones HR Range(bpm)

- Recovery < 126
- Aerobic Endurance 126 - 141
- Aerobic Power 142 - 149
- Threshold 150 - 160
- Anaerobic Endurance 161 - 166
- Anaerobic Power > 166



Sport di resistenza

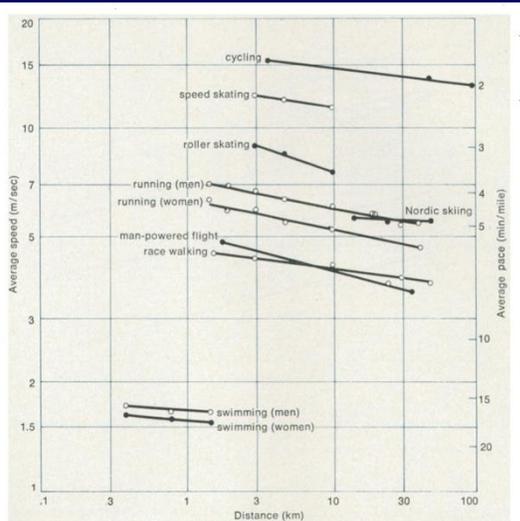


Figure 2. When speed is plotted against distance for world records in various endurance sports, it becomes evident that speed decreases as distance increases in all activities. Although the cycling competition covers the greatest distance span, time of effort is less than that involved in running and race walking.

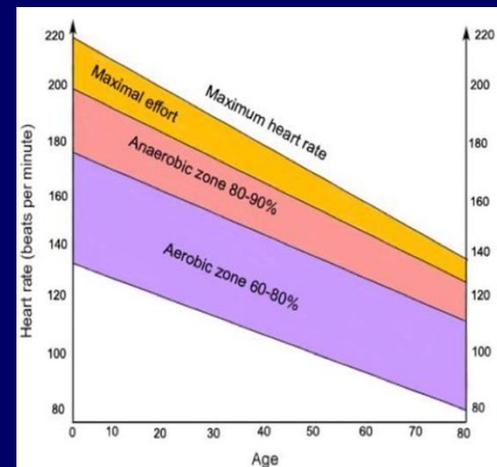
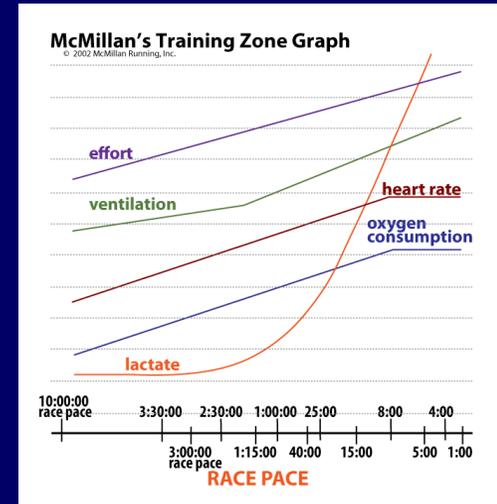
Pete Riegler, un ingegnere americano all'inizio degli anni '80 condusse una serie di studi sulla correlazione tra **distanza** e **velocità** (cioè tempo di gara) per diversi tipi di sport di resistenza, e trovò una comune legge di potenza. Non esistevano dispositivi indossabili, naturalmente, quindi i dati maggiormente disponibili erano quelli delle gare podistiche [si pensi alle maratone...]

L'esponente, variabile da sport a sport, indica l'indice di «affaticamento» a e scoprì anche che sia la prestazione massima, sia l'affaticamento **peggiorano con l'età** e ovviamente differiscono tra atleti uomini e donne.

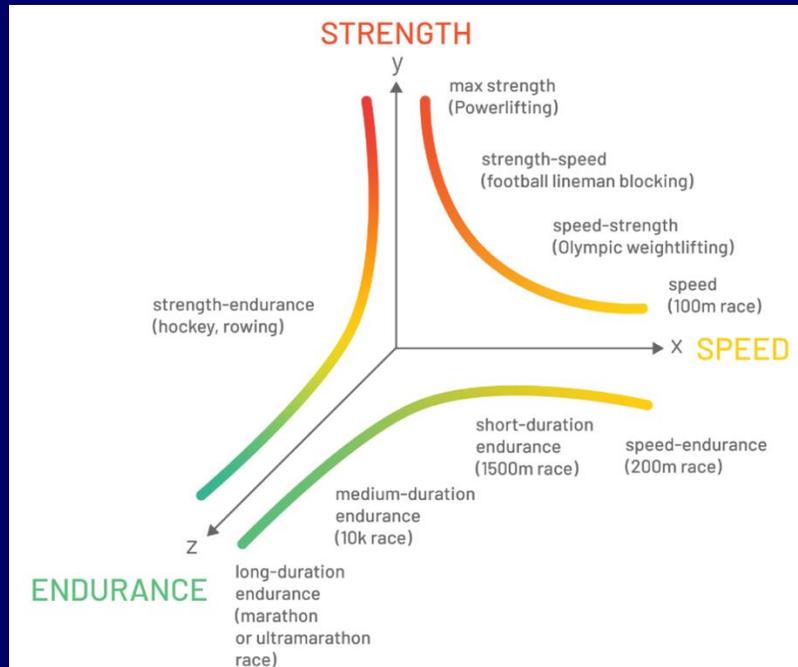
Questo consente la predizione della prestazione a una certa distanza D_2 dato il risultato a una distanza diversa D_1 secondo la semplice formula: $T_2 =$

$$T_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^a$$

Altri modelli sono stati elaborati: l'ovvia dipendenza in funzione della intensità dello sforzo (velocità) è con il consumo di ossigeno, al netto dall'accumulo del lattato, e quindi la prestazione massima è legata al $VO_2\text{max}$ e alla FC_{max}

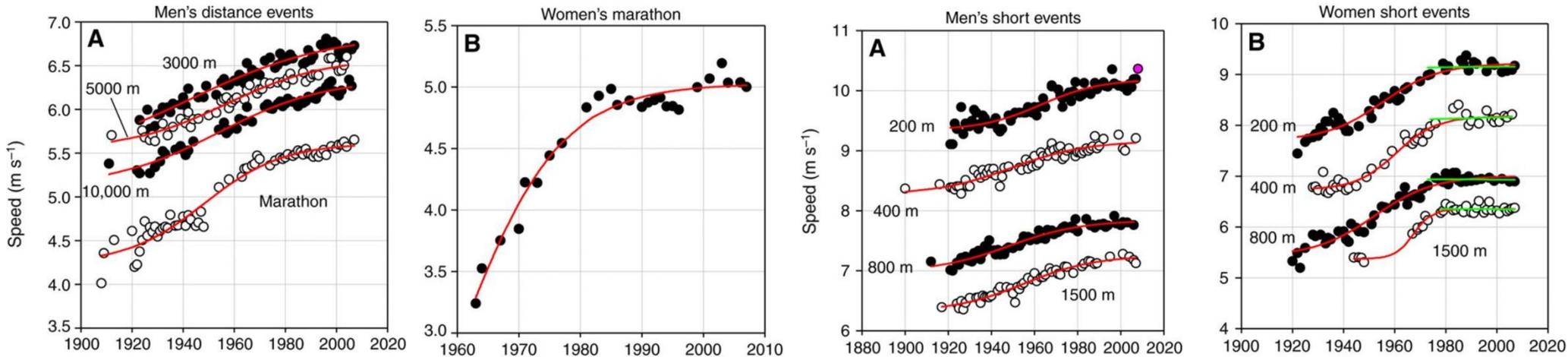


Velocità, resistenza, forza



Tipo di attività sportiva	Tipo di attività sportiva	Massimo consumo di ossigeno (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	
		Maschi	Femmine
Sport di resistenza	Sport di resistenza		
Corsa su lunghe distanze	Corsa su lunghe distanze	75-80	65-70
Sci di fondo	Sci di fondo	75-78	65-70
Biathlon	Biathlon	75-78	-
Ciclismo su strada	Ciclismo su strada	70-75	60-65
Corsa-Mezzo fondo	Corsa-Mezzo fondo	70-75	65-68
Pattinaggio	Pattinaggio	65-72	55-60
Orienteering	Orienteering	65-72	60-65
Nuoto	Nuoto	60-70	55-60
Canottaggio	Canottaggio	65-69	60-64
Kajak	Kajak	60-68	50-55
Marcia	Marcia	60-65	55-60
Giochi di squadra	Giochi di squadra		
Calcio	Calcio	50-57	-
Pallamano	Pallamano	55-60	48-52
Hockey su ghiaccio	Hockey su ghiaccio	55-60	-
Pallavolo	Pallavolo	55-60	48-52
Pallacanestro	Pallacanestro	50-55	40-45
Tennis	Tennis	48-52	40-45
Tennis da tavolo	Tennis da tavolo	40-45	38-42
Sport di combattimento	Sport di combattimento		
Boxe	Boxe	60-65	-
Lotta	Lotta	60-65	-
Judo	Judo	55-60	50-55
Scherma	Scherma	45-50	40-45
Sport di potenza	Sport di potenza		
Sprint (200 m)	Sprint (200 m)	55-60	45-50
Sprint su pista (100-200 m)	Sprint su pista (100-200 m)	48-52	43-47
Salto in alto	Salto in alto	50-55	45-50
Decathlon, eptathlon	Decathlon, eptathlon	60-65	50-55
Combinata nordica	Combinata nordica	60-65	-
Sollevamento pesi	Sollevamento pesi	40-50	-
Disco, lancio del peso	Disco, lancio del peso	40-50	35-40
Giavellotto	Giavellotto	45-50	42-47
Salto con l'asta	Salto con l'asta	45-50	-
Salto con gli sci	Salto con gli sci	40-45	-
Sport tecnico-acrobatici	Sport tecnico-acrobatici		
Sci (discesa)	Sci (discesa)	60-65	48-53
Pattinaggio artistico	Pattinaggio artistico	50-55	45-50
Ginnastica	Ginnastica	45-50	40-45
Ginnastica ritmica	Ginnastica ritmica	-	45-50
Vela	Vela	50-55	45-50
Tiro	Tiro	40-45	35-

Abbiamo raggiunto il limite? (nella corsa)

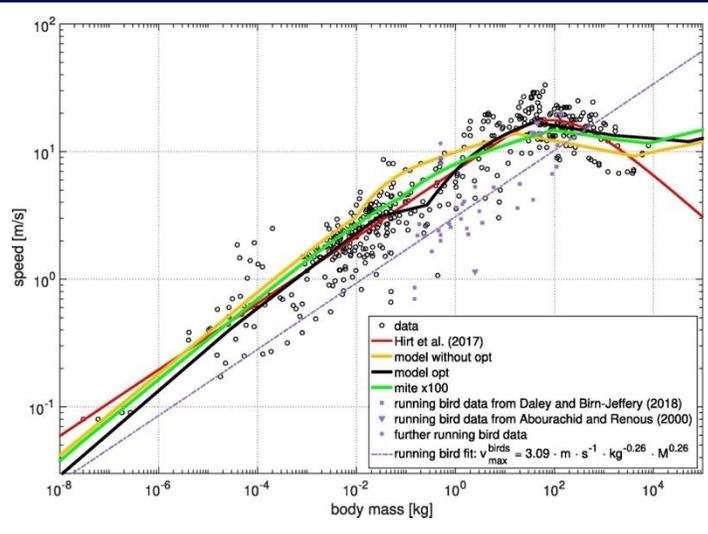


Mark W. Denny, studio statistico basato sull'andamento storico dei record mondiali e sulla dimensione della popolazione complessiva, comparata a **cavalli da corsa** e **levrieri**, sostiene che siamo vicini ai limiti della velocità massima consentita dalla selezione genetica.

Il problema nello sprint è il compromesso tra la necessità di aumentare la fase di volo, cioè l'ampiezza della falcata [stride] per aumentare l'avanzamento [visto che la maggior parte dell'energia viene dispersa verticalmente e non in avanti] e quella di aumentare la frequenza [cadence] per ottenere una velocità maggiore. Questo compromesso dipende dai parametri fisici dell'atleta [altezza, potenza, struttura muscolare e scheletrica, ecc.] per cui difficile stimare scientificamente il limite «fisiologico»,

Inoltre, se il tempo di appoggio è troppo breve, può non essere sufficiente alla completa attivazione dei muscoli che non reagiscono istantaneamente.

Velocità vs. dimensioni



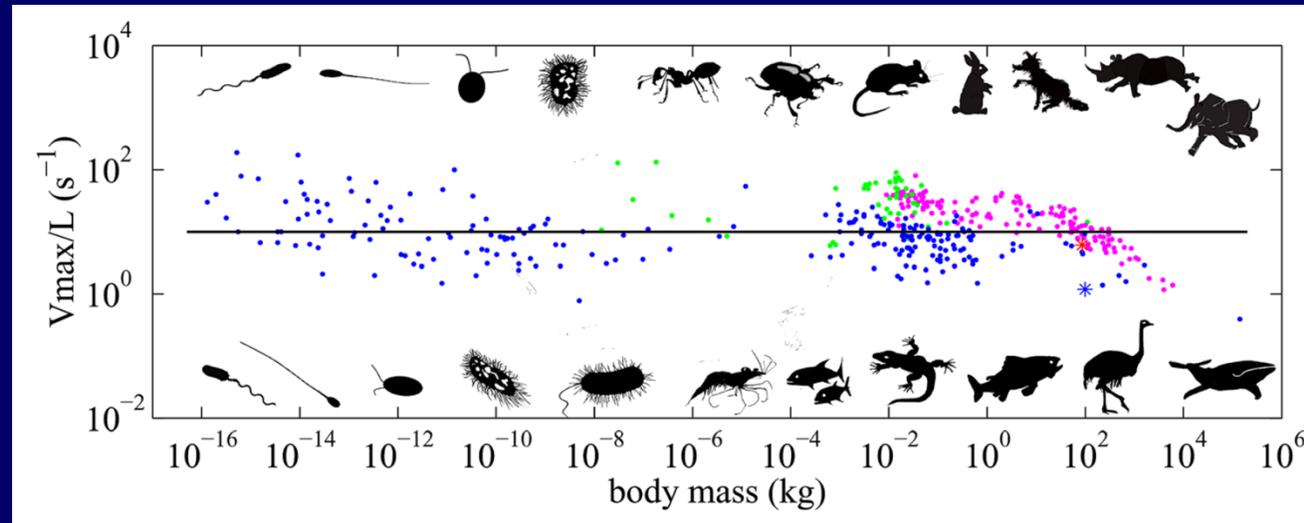
Si trova una relazione empirica tra velocità massima e massa corporea [che è in relazione con la dimensione «caratteristica» come $M = \alpha \cdot \rho L^3$]. Questo perché con la massa aumenta la velocità del metabolismo, l'efficienza energetica e tanto altro.

Naturalmente per diversi animali, per coprire i tanti ordini di grandezza...

Per essere umano medio: $M = 70 \text{ kg}$, $h = 1.78 \text{ m}$ $L = 0.835 \text{ m}$ e quindi $\alpha = 0.12$

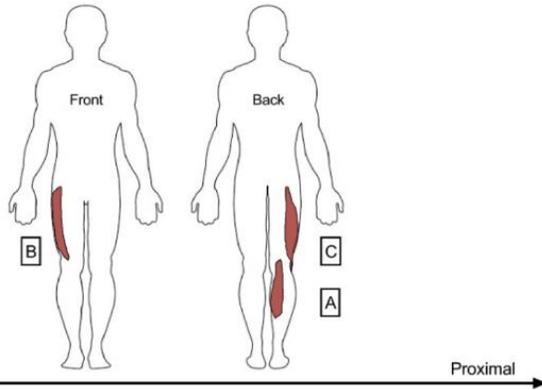
La velocità smette di crescere quando i muscoli diventano così grandi che la loro velocità di risposta diventa troppo lenta, inoltre al crescere delle dimensioni, anche l'apparato scheletrico deve essere più robusto per sostenere il peso corporeo e la potenza espressa dai muscoli cresce solo in funzione dalla loro sezione con $M^{2/3}$

La legge è approssimativamente $v \sim M^{1/3}$, per cui in funzione di M/L :

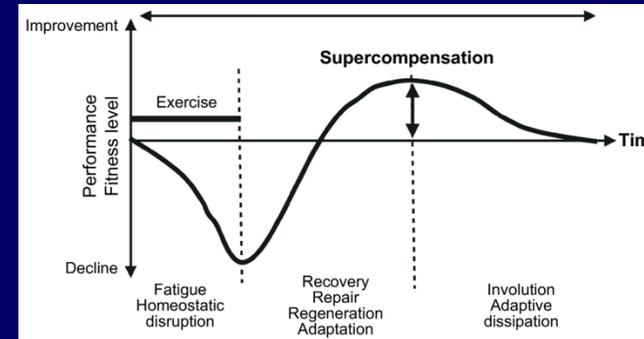
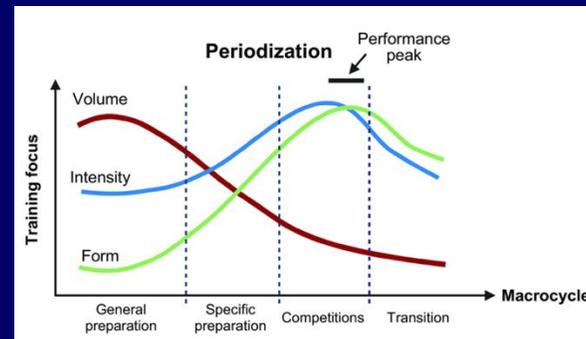


$$v_{\max}/L \sim 10 \text{ s}^{-1}$$

Tecnica di allenamento



Ottimizzazione dei blocchi di allenamento e della loro intensità e durata

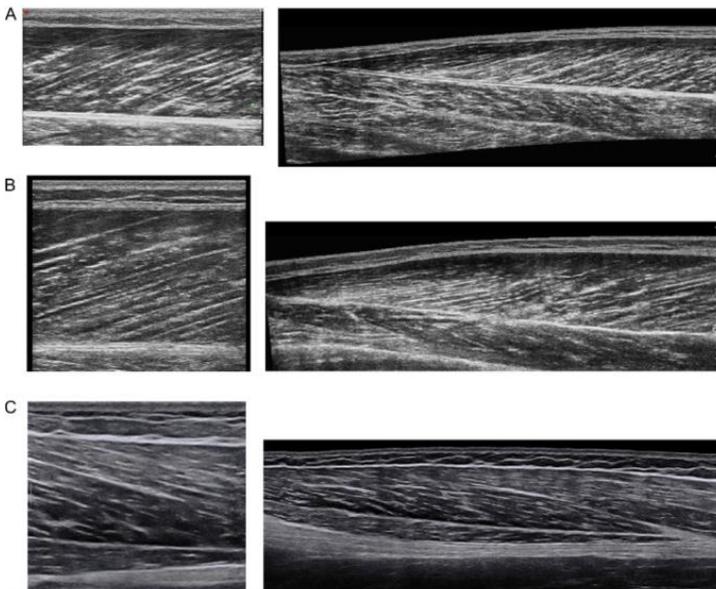


A livello muscolare, per esempio, nell'allenamento della **resistenza**, si vuole ottenere un aumento della densità mitocondriale, dell'assorbimento e dell'immagazzinamento dei substrati [acidi grassi e glucosio], del contenuto di mioglobina e la vascolarizzazione, e l'aumento delle fibre muscolari di tipo I

A livello cardiovascolare, migliorare la capacità aerobica e anaerobica, a seconda della FC

Gli adattamenti indotti dall'allenamento della **forza** portano a un aumento della sintesi proteica muscolare che porta all'ipertrofia delle fibre e all'accrescimento dei nuclei muscolari.

- Analisi dei cambiamenti a livello cardiovascolare, muscolare e neurologico
 - Nel caso dei muscoli e dei tendini non solo dimensioni e composizione del tessuto, ma anche per es. elasticità
- Correlazione con la performance
- Prevenzione o recupero di infortuni



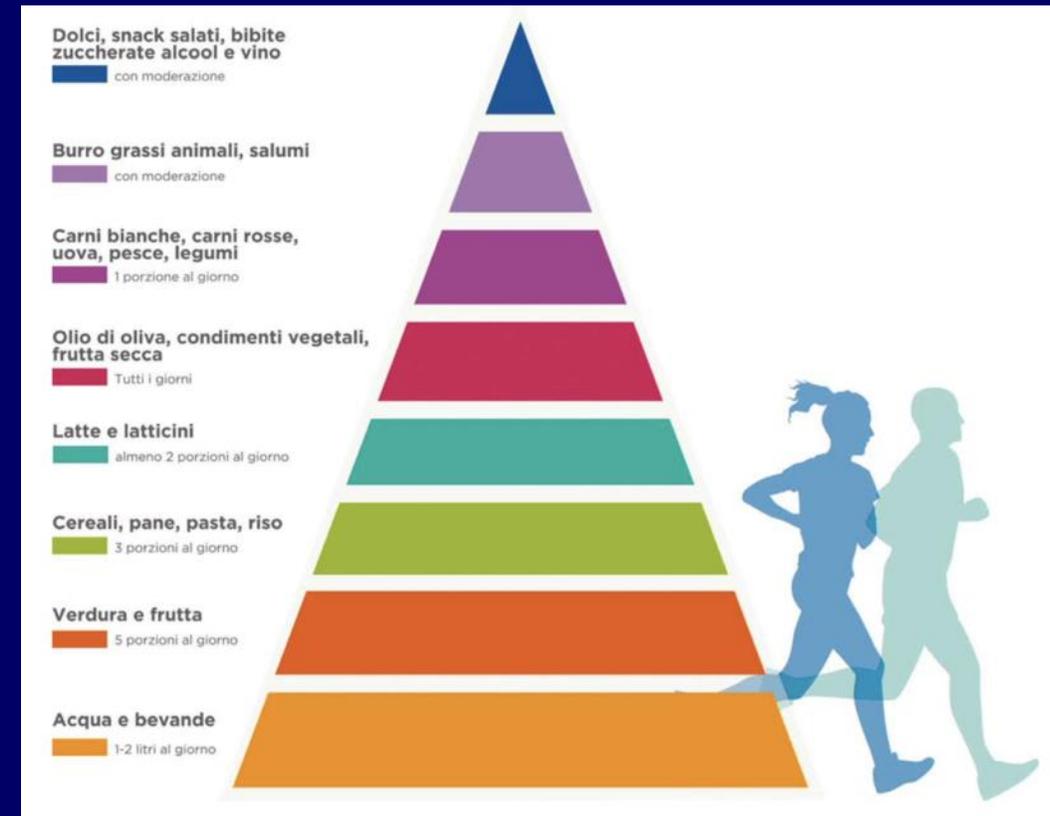
Alimentazione

%V02 max	%FC max	Substrato energetico principalmente utilizzato	Finalità dell'allenamento
35	50	lipidi	dimagrimento
48	60	lipidi	dimagrimento
60	70	glucidi e lipidi	potenza aerobica
73	80	glucidi	massima potenza aerobica
86	90	glucidi	potenza anaerobica lattacida
100	100	creatina fosfato	potenza anaerobica alattacida

L'attività fisica regolare di per sé aumenta il consumo e quindi il fabbisogno energetico, il quale varia in funzione dell'individuo e delle sue caratteristiche fisiche e preparazione, ma anche in funzione dello sport praticato.

In funzione dell'intensità dell'allenamento cambia anche il **substrato energetico** principalmente utilizzato: da una prevalenza di **lipidi** a bassa intensità si passa ai **glucidi** ad alta intensità fino ad arrivare al meccanismo anaerobico alattacido che impiega solo creatina fosfato.

Le caratteristiche dello sforzo richiesto cambiano quindi anche il bilanciamento tra fabbisogno di lipidi, carboidrati e proteine, oltre che minerali e vitamine, data la diversità dei meccanismi in azione.



La «piramide» per un'alimentazione completa ed equilibrata

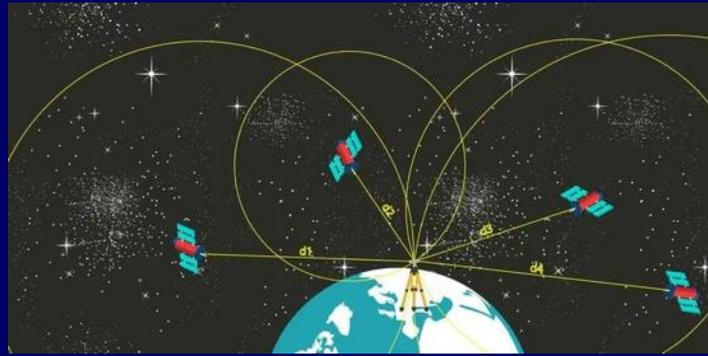
Dispositivi indossabili e sensori

In questi ultimi anni il mondo degli atleti, sia dei professionisti ma anche degli amatori, è stato cambiato drasticamente dalla disponibilità di tecnologie di **dimensioni** e **costo** sempre decrescenti, e in particolare: **cardiofrequenzimetri**, dispositivi **satellitari**, **accelerometri**, **giroscopi**, misuratori di **potenza**, dei livelli di **glucosio** e **lattato**, temperatura interna, ecc.

Questo consente di allenarsi **monitorando costantemente** parametri fisici come la frequenza cardiaca e lo sforzo, scegliendo la tipologia di allenamento in funzione delle caratteristiche che si vogliono migliorare: forza, velocità, resistenza, soglia aerobica, soglia anaerobica.



Dispositivi «indossabili» e sensori



Dei **satelliti** a circa 20000 km trasmettono dei segnali radio a un **ricevitore** sulla Terra, a intervalli regolari fissi di tempo, contenenti la **posizione** e l'**ora** corrente, che naturalmente viaggiano alla velocità della luce. La **distanza** tra un **ricevitore** e il **satellite** viene calcolata trovando la **differenza** tra l'ora in cui il segnale è stato inviato e l'ora in cui viene ricevuto.

Per trovare la posizione precisa (da qualche a **1 metro**) occorre triangolare con almeno 4 satelliti [3 individuano il punto sulla superficie della Terra, il quarto determina l'altitudine].

Ciascuno dei satelliti è dotato di un orologio atomico che mantiene l'ora aggiornata. Per fornire tempi precisi il ricevitore utilizza il quarto satellite, mentre i satelliti sono costantemente sincronizzati da stazioni a terra.

Poiché i satelliti si muovono rispetto al ricevitore, il loro orologio va più lentamente per effetto della relatività ristretta. I campi gravitazionali cambiano sia la velocità degli orologi, sia la propagazione dei segnali radio. Inoltre, la Terra ruota intorno a se stessa, inducendo ulteriori effetti. Solo grazie all'uso delle formule della **Teoria della Relatività**, sia ristretta sia generale, si possono fare le correzioni necessarie alla massima precisione.

4 network di satelliti: GPS (USA), Galileo (EU), GLONASS (Russia), BeiDou (Cina)



La disponibilità di dispositivi sempre più piccoli ha rivoluzionato lo sport all'aperto, oltre che il trasporto automobilistico, aereo e marittimo. La precisione a livello di 1 metro consente anche l'analisi di sport di movimento come il calcio



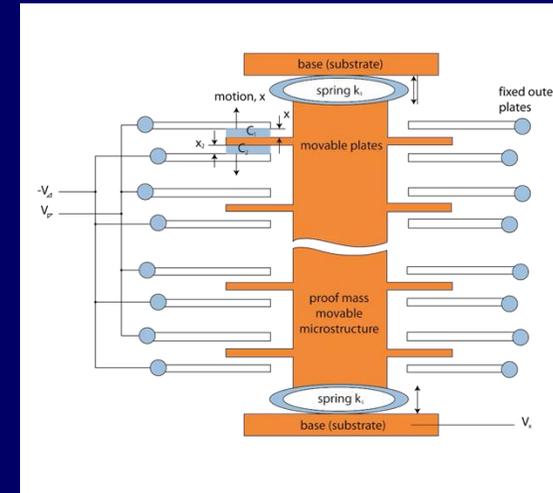
Dispositivi «indossabili» e sensori

L'**accelerometro** è un dispositivo che **misura le vibrazioni o l'accelerazione di movimento** della struttura o dell'oggetto su cui è posto: l'energia delle vibrazioni viene trasformata in segnale elettrico, proporzionale all'accelerazione dell'oggetto. L'accelerometro quindi, più che un sensore è, più propriamente, **un trasduttore**, che converte in grandezza elettrica una grandezza meccanica o vettoriale.

Nei dispositivi come smartphone o sportivi sono di tipo capacitivo, cioè sfruttano **la variazione di capacità elettrica di un condensatore**. Delle due armature del condensatore una è nel dispositivo, l'altra è la massa, con materiale conduttivo, sospesa su una membrana e posta a poca distanza. Ma possono essere anche induttivi, piezoelettrici, ecc.

La corrente generata dalle due armature (dispositivo + massa conduttiva di riferimento) ne cambia la variazione di tensione (capacità elettrica), e quindi la distanza.

Dalla rilevazione della capacità elettrica, il dispositivo deduce lo spostamento della massa e ne genera un segnale elettrico proporzionale.

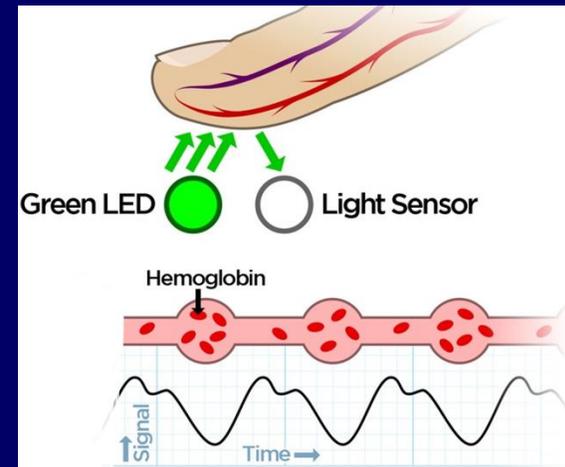


I MEMS (Micro Electro-Mechanical System) sono **microsistemi elettromeccanici** realizzati direttamente su silicio

Se alla massa di riferimento viene impresso un movimento angolare, di tipo vibratorio, si può realizzare un **giroscopio**: una velocità angolare perpendicolare a questo movimento provocherà una forza proporzionale sia al movimento vibratorio sia alla velocità angolare e perpendicolare a entrambi.

Questa forza di Coriolis viene rilevata sempre con in modo capacitivo.

Dispositivi «indossabili» e sensori

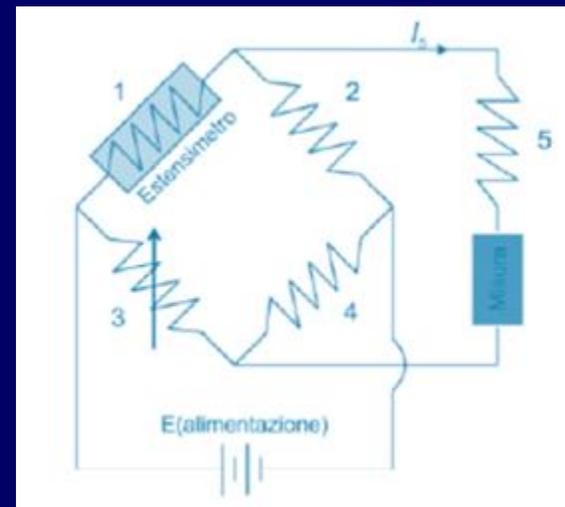


Cardiofrequenzimetro ottico

Il dispositivo alterna **LED verdi** e **fotodiodi**, sensori capaci di misurare la luce.

Quando il cuore batte, il flusso di sangue e quindi l'assorbimento della luce verde è maggiore. Il flusso è invece minore tra un battito e l'altro. Lampeggiando il LED si accende centinaia di volte al minuto, è possibile calcolare il numero di volte che il cuore batte.

La precisione dipende dalla perfusione cutanea, cioè dal sangue che circola attraverso la pelle.



Gli **estensimetri** sono dispositivi che misurano piccole deformazioni dimensionali in seguito a sollecitazione meccanica [o anche termica] rivelando la variazione di resistenza, possono quindi determinare la coppia applicata a un sistema meccanico.

Pulsiossimetro

Maggiore assorbimento da parte dell'emoglobina **ricca** di ossigeno della luce di un **LED rosso** dalla quale si può misurare la % di O_2 nel sangue perfuso.

Dati sulle attività sportive

Solo la più popolare delle applicazioni di tracciamento e monitoraggio delle attività sportive [corsa e ciclismo in particolare] ha raggiunto i **135 milioni di utenti** e registrato **decine di miliardi di attività in 15 anni**.

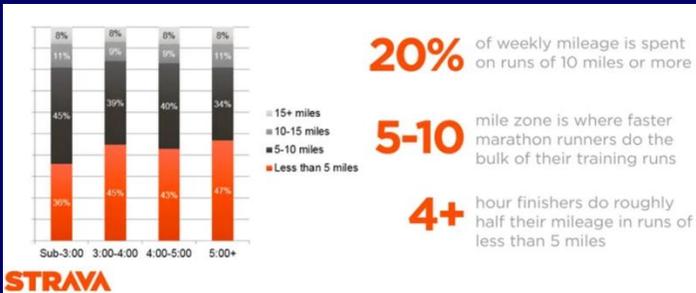
Esempio: correre una maratona



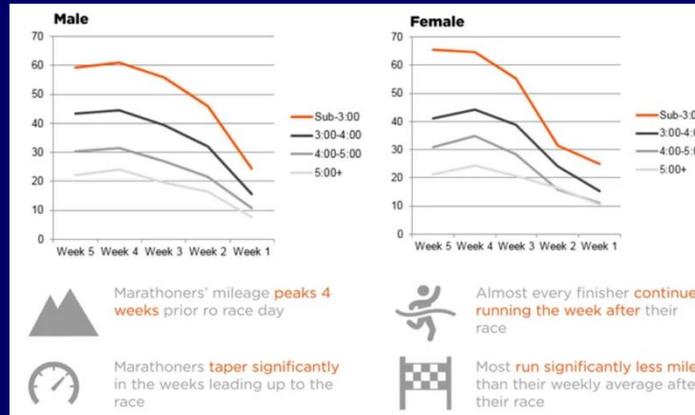
Allenamento: volume complessivo



Allenamento: corse brevi e «lunghi»



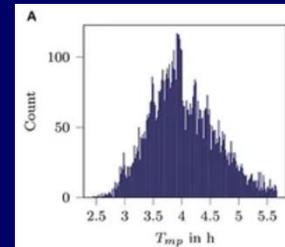
«tapering» nelle settimane prima della gara



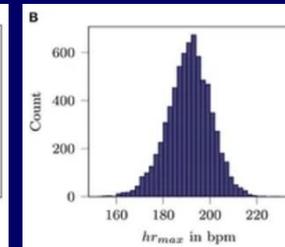
«shakeout» il giorno prima della gara



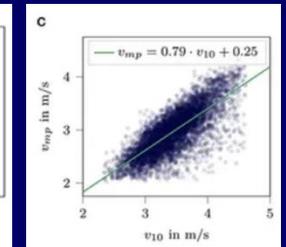
- Un importante fattore **motivazionale** e di **socializzazione**
- Un complemento fondamentale per **l'allenamento** degli atleti amatori [e non]
- Un'enorme quantità di dati a disposizione dei ricercatori....



Tempo maratona

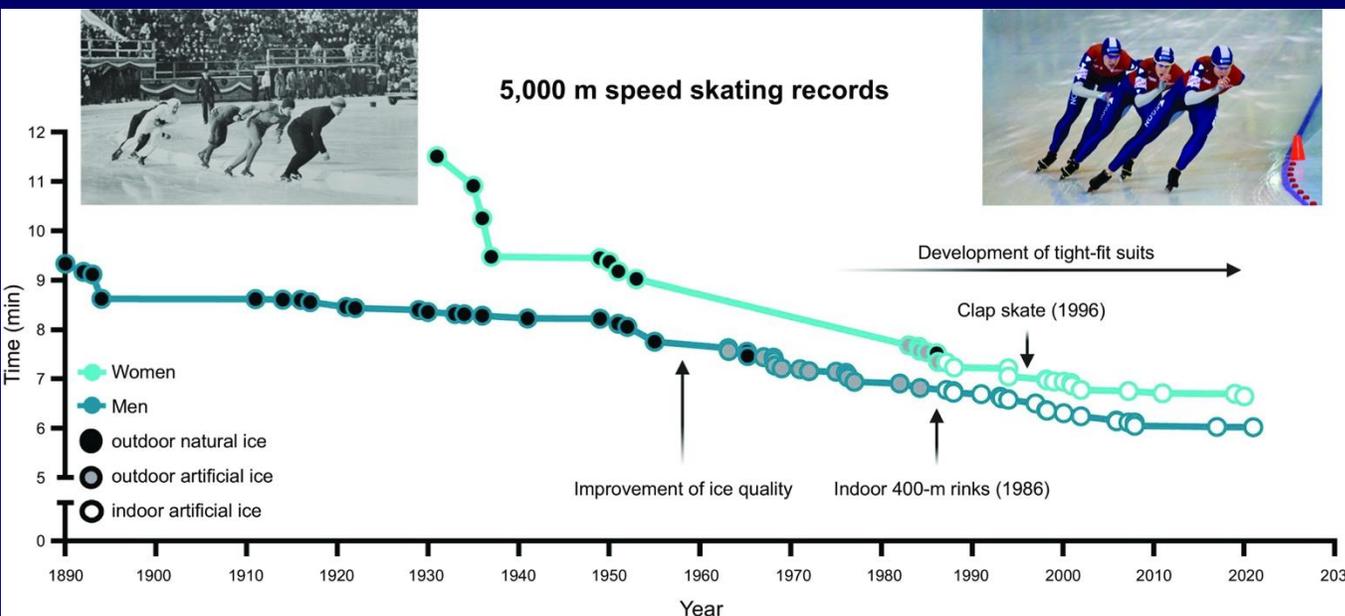
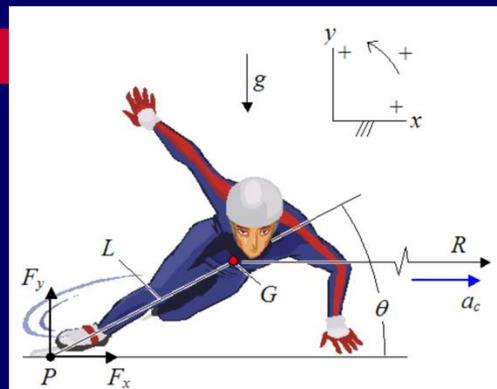
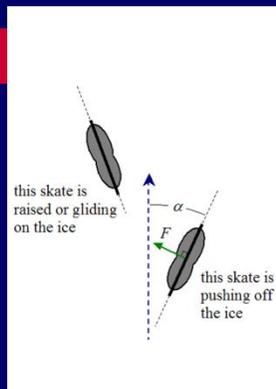
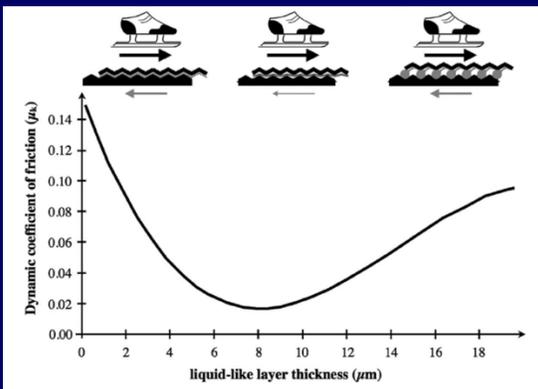


FC max



Velocità maratona vs. 10 km

Quando c'è un «attrezzo»: pattinaggio su ghiaccio



Il pattinaggio sul ghiaccio è ricco di spunti di fisica:

- il sottile strato di acqua sotto la lama consente di abbassare di molto il coefficiente di attrito e scivolare velocemente sul ghiaccio
- per avanzare occorre creare una componente della forza nella direzione di avanzamento, che si ottiene pattinando ad angolo
- la forza centrifuga in curva costringe il pattinatore a compensare piegandosi, ecc.
- E ovviamente la conservazione del momento angolare

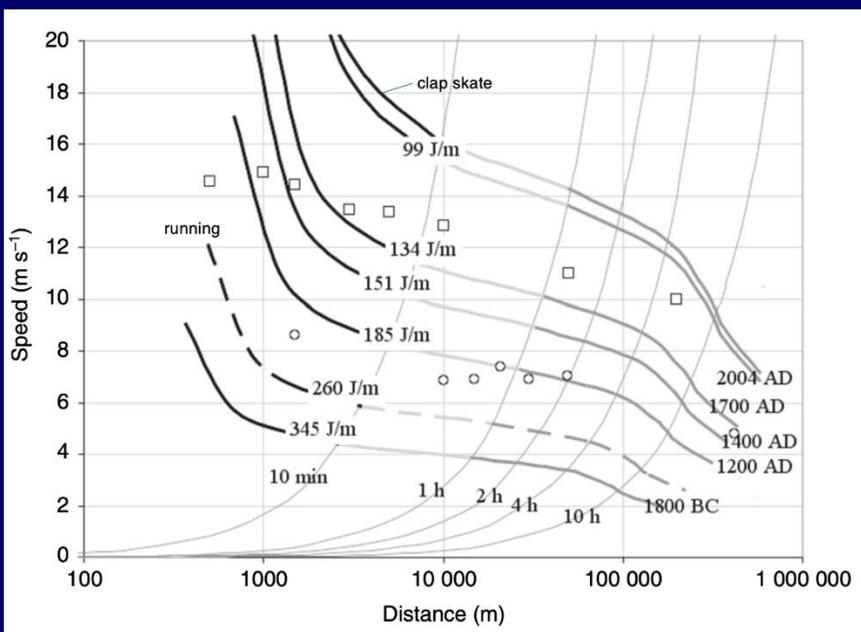
Ma è anche buon esempio dell'impatto dei miglioramenti della **tecnologia** sulla performance: prima il passaggio al ghiaccio naturale a quello artificiale e poi l'introduzione degli anelli refrigerati e infine l'evoluzione del pattino e dell'abbigliamento aerodinamico hanno costantemente migliorato [per esempio il record del mondo sui 5000 m]

Anche la forma e la lunghezza delle lame è oggetto di continua ricerca [anche con risultati contrastanti]

Quando c'è un «attrezzo»: pattinaggio su ghiaccio

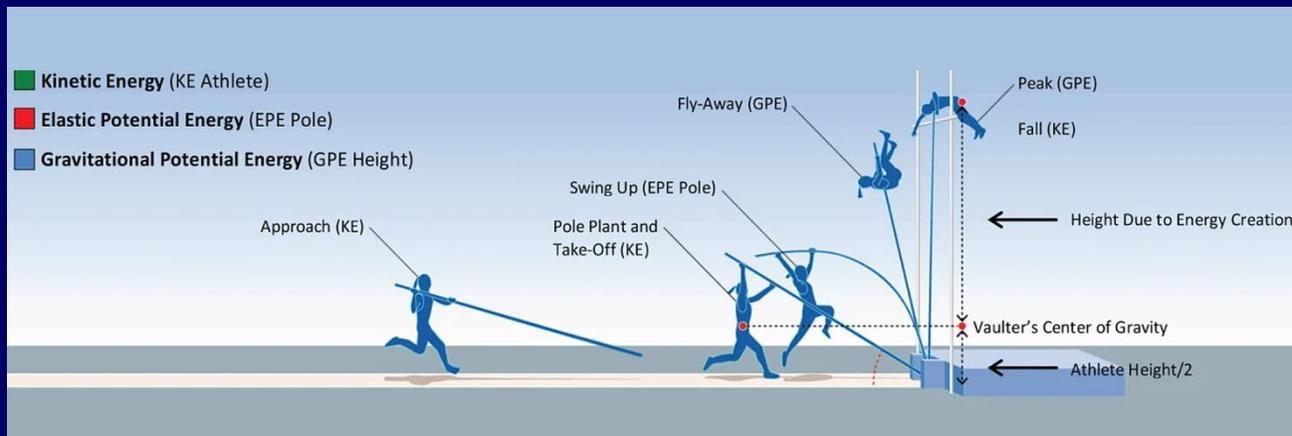
Il pattinaggio sul ghiaccio è interessante anche dal punto di vista **biomeccanico**: a velocità più alta occorrono pattinate lunghe, che richiedono una contrazione muscolare lenta e quindi con più forza disponibile, più vantaggioso della corsa dove per andare più veloce occorre contrarre i muscoli più velocemente a scapito della forza.

Ultima innovazione: il **clap skate**, consente di sollevare il tallone al termine della pattinata grazie a una cerniera, lasciando più a lungo il pattino a contatto sul ghiaccio e allungano quindi lo slancio



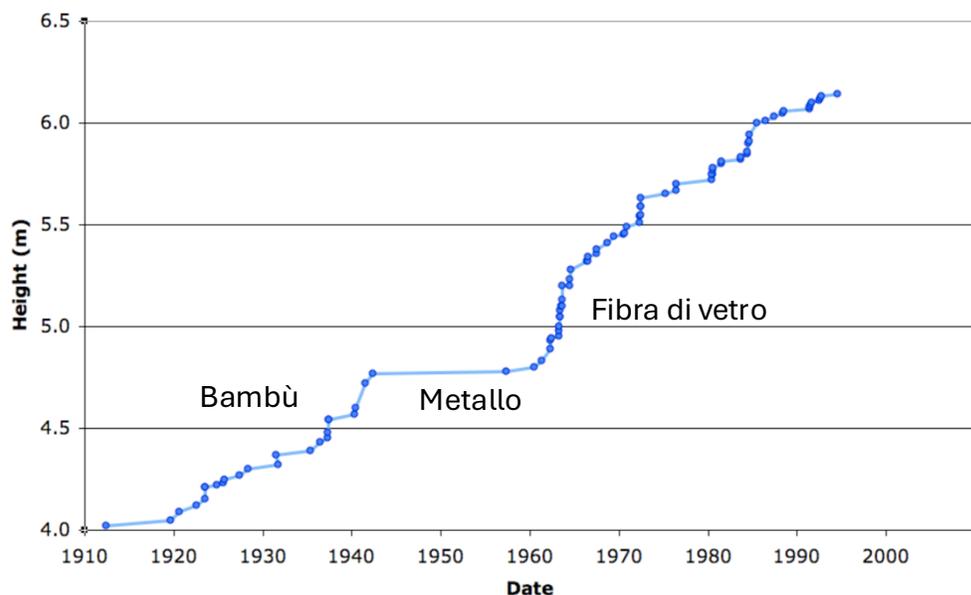
Confronto tra i vari tipi di pattino durante tutta l'evoluzione: dai primi pattini in osso, circa 1800 a.C., ai più moderni, in termini di velocità massima in funzione della distanza percorsa. Incremento di oltre un fattore 4!

Quando c'è un «attrezzo»: salto con l'asta



All'energia cinetica data dalla velocità dell'atleta, che si trasforma in **energia elastica** dell'asta che si piega, per poi restituirla sotto forma di **energia potenziale gravitazionale** [in modo completo nel punto più alto].

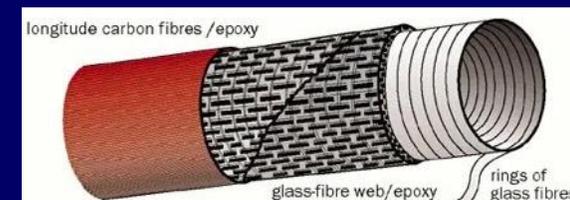
World record progression - men's pole vault



Le prestazioni sono migliorate in modo drammatico in funzione del **materiale**: si è passati attraverso le epoche del **legno**, del **bambù**, del **metallo** e poi della **fibra di vetro**, per arrivare ai materiali compositi attuali. Interessante anche l'effetto di saturazione dopo la crescita dovuta all'innovazione.

Con l'aggiunta di **strati di fibra di carbonio** le aste sono diventate ancora più efficienti nel trasferire l'energia e sono più resistenti, leggere, flessibile e reattive.

Il perfezionamento della tecnica dello swing-up ha inoltre aumentato l'efficacia, permettendo agli atleti di raggiungere altezze maggiori a parità di energia.



L'attrezzo del podista: le scarpe



Nella corsa, 3 fasi del movimento del piede:

- Contatto: la parte posteriore esterna del piede tocca il terreno, (circa 25% del movimento)
- Appoggio, il piede deve sorreggere il corpo per il 40% del tempo e avviene quindi la pronazione ossia la rotazione dell'osso interno [scafoide] rispetto all'arco plantare per aumentare la superficie di contatto,
- Spinta, in cui il piede funziona come una leva rigida: il peso si sposta sull'avampiede; i muscoli del polpaccio e delle dita si contraggono e i movimenti sono opposti, cioè il piede ruota verso l'esterno e in alto (supinazione) per il 35% del movimento.

Due movimenti naturali e opposti, entrambi necessari, ma che possono essere squilibrati:

- **Iperpronazione** [il piede continua a ruotare verso l'interno DOPO l'impatto]: sollecitazione a tibia e parte interna ginocchio
- **Ipersupinazione** [rotazione insufficiente nella fase di impatto]: sollecitazione alla pianta del piede, alla bandelletta ileo-tibiale, al tendine di Achille

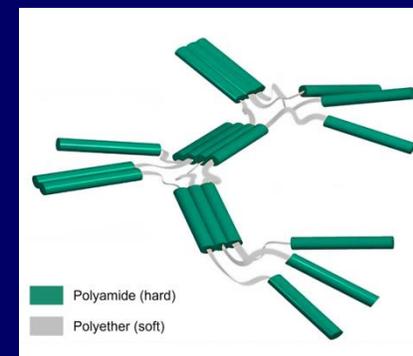
Materiali sempre più ammortizzanti: dalla pelle e gomma si è passati dal 1975 alla schiuma di **EVA** (etilene vinil acetato) una plastica copolimerica, quindi un materiale leggero e soprattutto elastico, in grado di restituire il **65%** dell'energia dell'appoggio plantare.

Dal 2013 è stata introdotta la schiuma di poliuretano (un'altra famiglia di polimeri contenenti azoto) termoplastico, TPU, raggiungendo il **70-75%** di ritorno di energia.

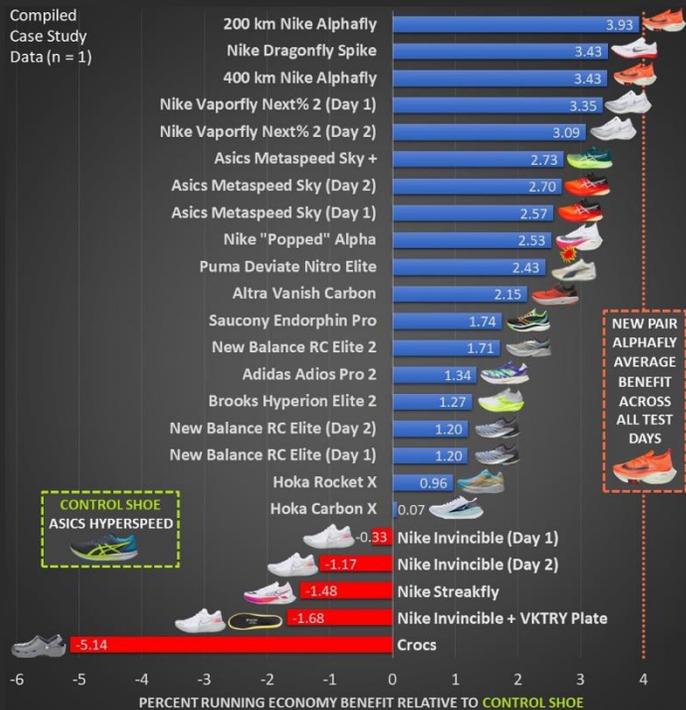
Nel 2017 con il PEBA (polietere ammide) si è raggiunto l'**87%**, grazie alla sua struttura fatta di blocchi di poliammide rigidi e di polietere soffici.

Ma... la schiuma ottenuta è troppo morbida tanto da modificare la dinamica di corsa, la soluzione è stata introdurre una piastra rigida in fibra di carbonio.

Altra tendenza, è realizzare soles sempre più spesse, per aumentare l'ammortizzazione e ridurre la pronosupinazione e tenere l'articolazione del calcagno più allineata [aumentando però le sollecitazioni a tendini e articolazioni se si appoggia molto di tallone]

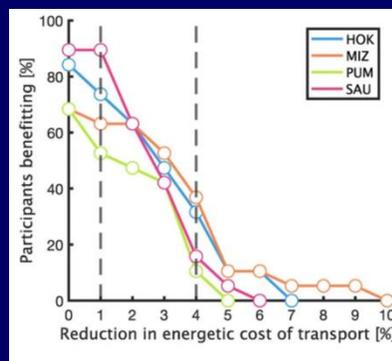


L'attrezzo del podista: le scarpe



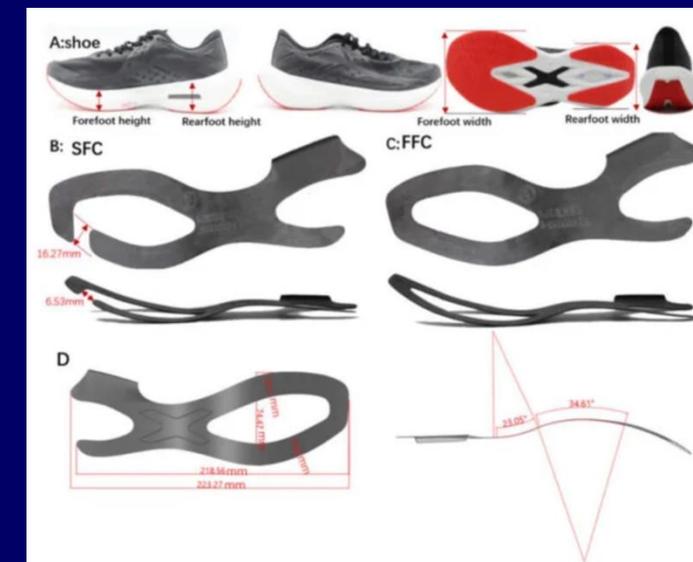
Scarpe in PEBA+piastra fibra di carbonio: risparmio tra l'1% e il 4% di **energia metabolica** [misurata tramite misura continua scambio di O₂ e CO₂] rispetto a scarpe da corsa in EVA senza piastra.

Sulla performance effetto lineare per una corsa di 3000 m, ma inferiore per corse più lunghe: dal 4% si scende al 3% di miglioramento per un maratoneta elite, sempre meno vantaggioso per atleti più lenti

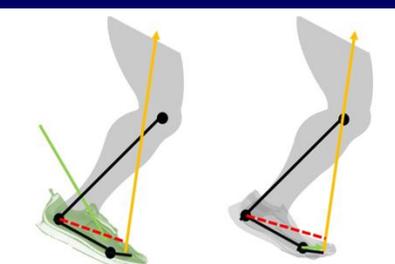


L'effetto maggiore si ottiene inoltre su una percentuale decrescenti di atleti

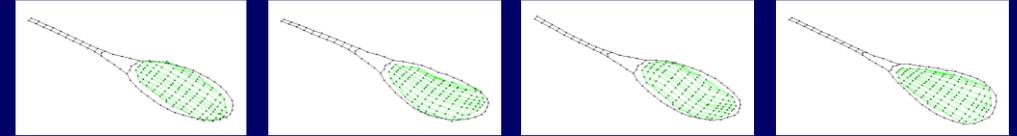
Il beneficio principale viene dalla sinergia tra la compressibilità della schiuma e la rigidità della piastra, e dalla sua geometria, che danno il massimo di ritorno energetico.



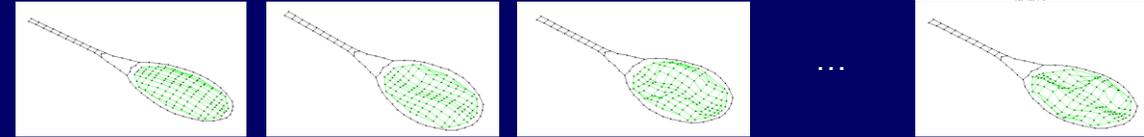
Rispetto a una scarpa «tradizionale», che si piega all'altezza dell'articolazione tra metatarso e falangi, una con piastra si piega di meno spostando anche il punto di applicazione della reazione del terreno verso la punta del piede, aumentando il braccio della leva, ma è emerso che questo non è l'effetto principale...



Racchetta da tennis

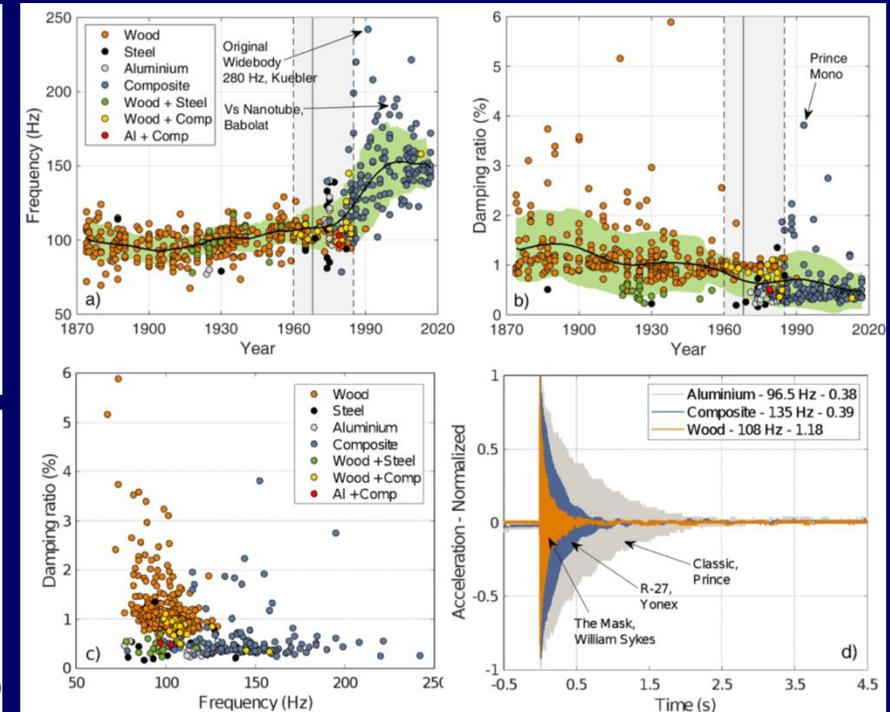
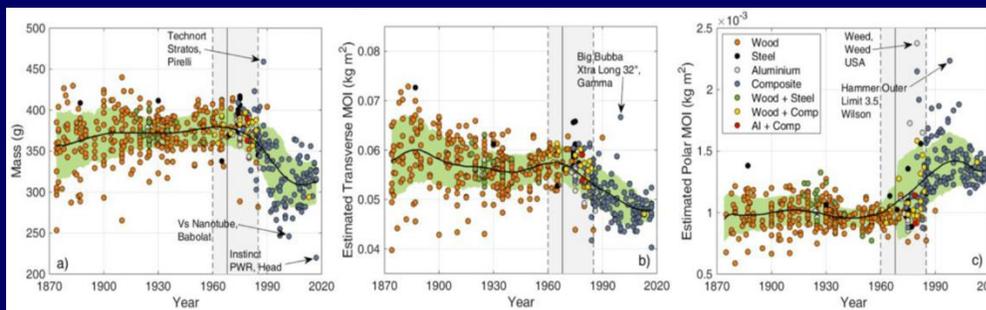


Membrane modes of the string bed



La maggior parte delle innovazioni è avvenuta dopo il 1970, quando i compositi fibra-polimero hanno sostituito il legno e poi l'alluminio come materiale principale per i telai delle racchette. I progressi nei materiali hanno portato miglioramenti significativi, come una testa più grande per facilitare il gioco e una frequenza naturale più alta per ridurre la perdita di energia dovuta alle vibrazioni. Ora anche nanotubi di carbonio e grafene e poi... stampa 3D

I compositi offrono una maggiore libertà di progettazione e le proprietà delle racchette moderne tendono a essere più diversificate rispetto ai loro predecessori in legno, tuttavia sono prodotti con un processo ampiamente manuale e hanno capacità di smorzamento limitata.



Scienza del doping

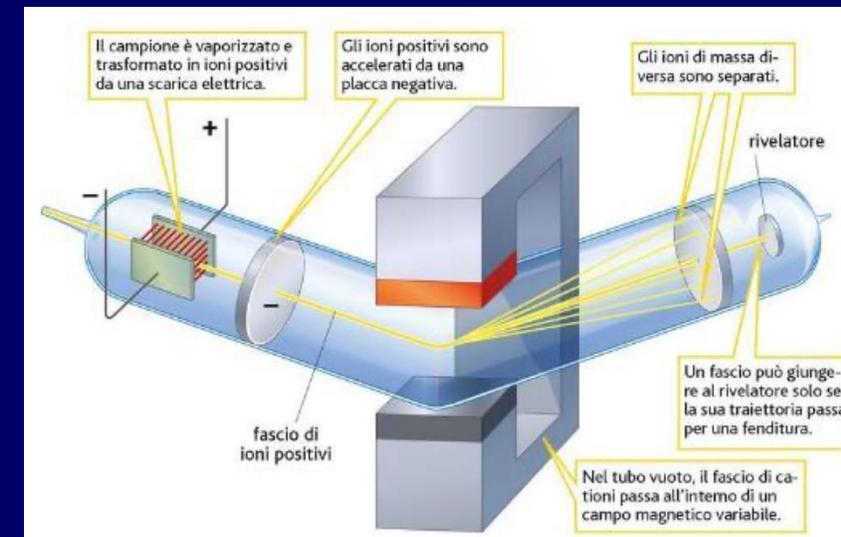
Il **testosterone** è un ormone prodotto naturalmente e il ligando nativo per il recettore degli androgeni. Quando questo recettore si lega a un androgeno come il testosterone o uno steroide sintetico si attiva producendo effetti di miglioramento delle prestazioni, tra cui un aumento della **forza muscolare** attraverso la stimolazione della sintesi proteica, della densità ossea e della produzione di globuli rossi che aumenta l'efficienza del trasporto di ossigeno.

Il testosterone (sia sintetico che naturale), quindi, costituisce la base per gli steroidi anabolizzanti. Il farmaco utilizzato da Jannik Sinner ricade in questa categoria.

Per **rivelare** l'uso di un **farmaco** occorre identificare i suoi principali metaboliti con test diagnostico diretto su urina, sangue o saliva.

Il corpo umano produce naturalmente testosterone (T) ed epitestosterone (E) in rapporto circa 0,4-2. Si può semplicemente misurare questo rapporto tra nei campioni di urina: se $T/E > 4$, si sospetta il doping con testosterone esogeno. Per confermare la presenza di T esogeno, il laboratorio può misurare il rapporto isotopico di $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ nel T, poiché il T prodotto in laboratorio ha un rapporto leggermente inferiore rispetto a quello endogeno.

Si utilizzano tecniche che combinano la **cromatografia** (tecnica di separazione dei componenti di una miscela basata sulla distribuzione dei suoi componenti tra due fasi, una stazionaria ed una mobile in una direzione definita) e la **spettrometria di massa**, che utilizza campi elettrici e magnetici per separare ioni e identificare gli elementi che compongono una data molecola.

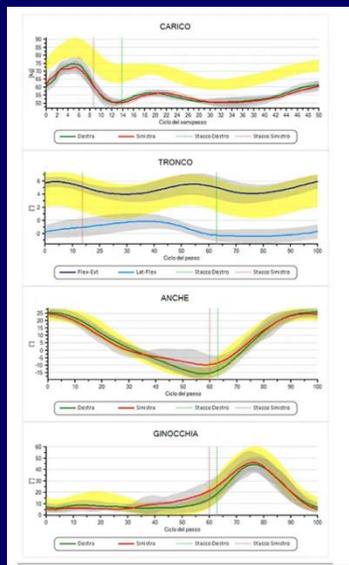


Analisi del movimento



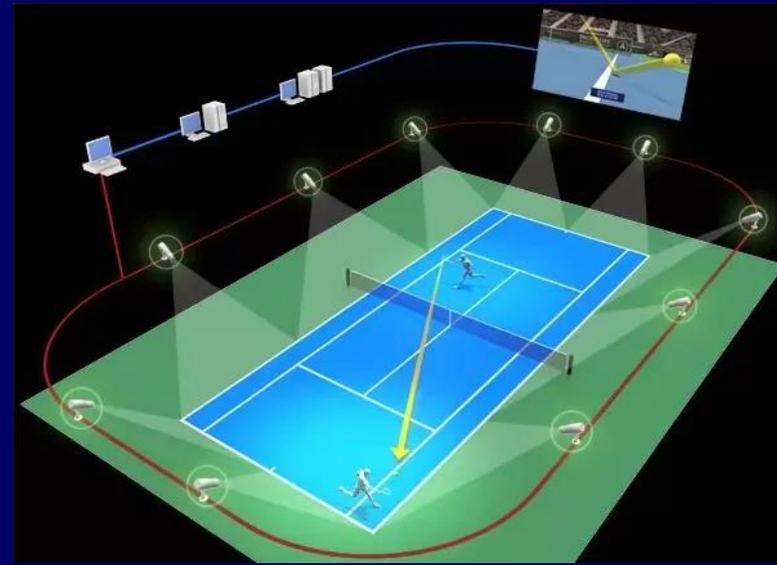
Ci sono sostanzialmente due tipi di tecniche per catturare i movimenti più veloci: inerziale e ottica

- **Inerziale**: piccoli sensori che contengono giroscopi, sono posti sulle aree più rilevanti del movimento e trasmettono i loro dati relativi alla posizione e velocità in 3D. Poiché devono essere posti vicino alla pelle spesso si usano degli indumenti speciali. Ha diverse applicazioni:
 - Ottimizzazione dei movimenti per migliorare la performance sportiva
 - Riabilitazione
 - Generazione di movimenti simulati degli atleti [anche per i videogames]
- Nel caso **ottico**, vengono utilizzate delle **telecamere**, spesso con dei **marker** riflettenti per registrare con più precisioni i movimenti di punti specifici e spesso in grado di acquisire un elevato numero di «frame» al secondo. Più di recente, laser...



Entrambe possono essere utilizzate anche per verifica delle azioni di gioco e per l'assistenza all'**arbitraggio** in tempo reale. Utilizzando più telecamere è possibile ricostruire in 3D con grande precisione i movimenti degli atleti o, per esempio, di una palla nel **tennis** e nella **pallavolo**, sensori nelle protezioni consentono il calcolo del punteggio nel **taekwondo**.

Relativamente facile nel volley con una palla grande su una superficie dura, ma nel **tennis**? Sulla **terra rossa**?



«Occhio di falco»

Primo sistema introdotto a inizio anni 2000 per fini televisivi, sempre più utilizzato nel tennis professionistico [dal 2006], alla finale Next Gen 2024 e agli Australian Open 2025 **sostituisce i giudici di linea.**

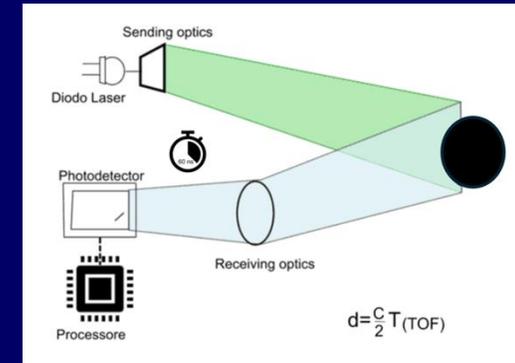
Caratteristiche (Hawk-Eye):

- Almeno 4 telecamere per **triangolare in 3D**, 150 fps [frame al secondo], tipicamente 10 o 12 (1500 immagini/secondo)
- Capacità di **acquisire** centinaia di immagini al secondo e **analizzare la traiettoria** praticamente in tempo reale
- Precisione raggiunta scesa da 4 a **2 mm**
- Problematiche:
 - Dipendenza dalla **superficie** e necessità di **ricalibrazione**, crescente andando da cemento a erba a **terra rossa** [dove rimane il segno della pallina, ma...*]
 - Costo: sceso dalle centinaia alle decine di migliaia di euro

Evoluzione (FoxTenn): riduzione dell'errore **sotto il mm** grazie a:

- Combinazione di **laser scan** da 22 a 40 telecamere ad alta velocità (**2500 fps**) vicine al livello del terreno
- Analisi del rimbalzo reale e non solo della traiettoria
- Capacità di elaborazione: 100k immagini/secondo
- Certificato su terra rossa e adottato da World Padel Tour

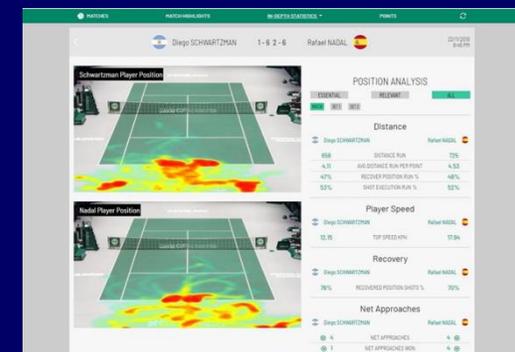
Principio del laser scan



2500 fps



Analisi e statistiche avanzate



*il segno sulla terra rossa rimane nel punto di massima compressione della pallina, non in quello di primo impatto; ci può essere scivolamento sulla linea; mark di dimensioni variabili per es. con umidità



Approccio classico richiede il confronto con molte configurazioni di riferimento:

- Pesante dal punto di vista computazionale
- può condurre a errori di riconoscimento a causa di scarsa risoluzione, ombre, ambiguità tra configurazioni simili

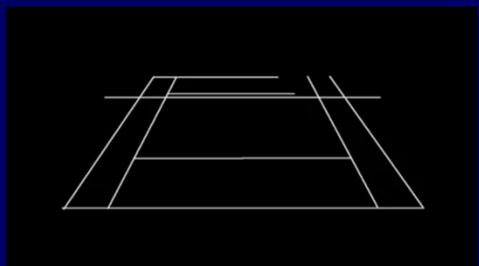


Che ce ne facciamo delle immagini?

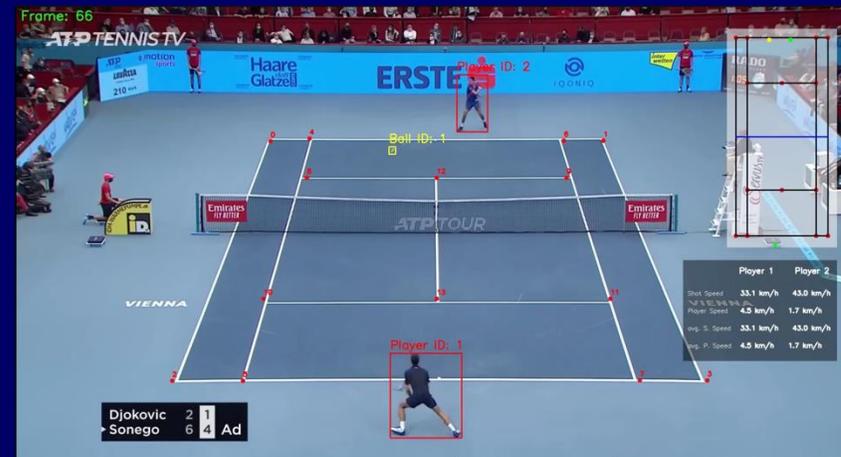
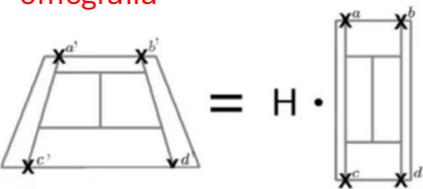
Esempio con intelligenza artificiale

Approccio con **deep learning**:

- Training su una serie di video, isolando e rivelando gli incroci di 2 linee con classici algoritmi di riconoscimento d'immagine [computer vision]
- Identificare i 14 punti chiave del campo
- Confronto tra punti previsti e punti rivelati da algoritmo classico
- Sistema che può funzionare con solo una telecamera anche a bassi fps
- Tracciamento dei movimenti di **pallina e giocatori**
- Possibile analisi dell'intera **sequenza di gioco**, non solo l'impatto della pallina



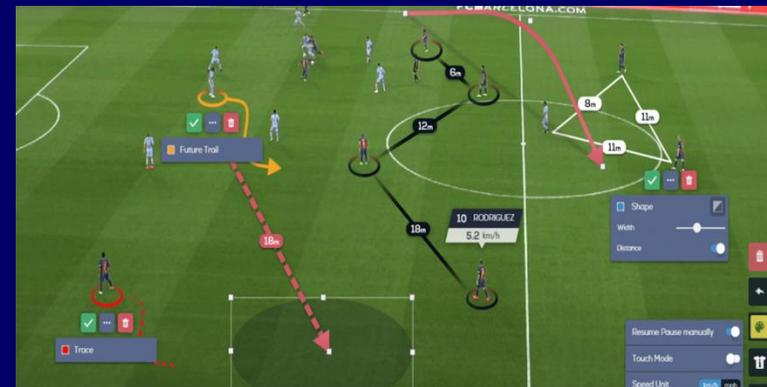
omografia



Applicazioni dell'AI all'analisi di sport

Solo alcune considerazioni

- Tecniche di intelligenza artificiale molto **varie** e in rapida **evoluzione**
- Applicazione a un **numero** e a una **varietà di sport** e giochi crescente
- Problematiche molto varie, solo alcuni esempi:
 - Difficoltà nel riconoscimento delle immagini: qualità delle riprese, velocità dell'azione, complessità [come il numero di giocatori], dimensioni della palla o altro elemento in aggiunta agli atleti, occlusioni e altri problemi visibilità, caratteristiche del campo di gioco [terreno, pista, acqua, ecc.]
 - Dinamica complessa dello sport, interazioni tra giocatori, interazioni con altri elementi [palla, racchetta da tennis, mazza da golf, asta per il salto, ecc.]
 - Necessità di analisi in tempo reale o quasi
 - Potenza di calcolo necessaria, algoritmi di analisi dei dati acquisiti
- **MA** molti di questi aspetti in **veloce miglioramento** grazie all'evoluzione tecnologica: possibilità di accedere a queste tecniche anche con sistemi **semplici e poco costosi** [riprese da singola camera, app degli smartphone/tablet, sensori indossabili...] e quindi disponibili anche a livello amatoriale
- Applicata in **tutte le fasi: scouting**, allenamento, gara e analisi post-gara, integrando riprese video, dati dei sensori real-time e in allenamento, ecc.
- Parte integrante, a livello professionistico, dell'intrattenimento
- Interessante anche per la ricerca: per esempio emergono comportamenti collettivi come nel caso degli stormi di uccelli
- Uso crescente nei videogames



Virtual reality

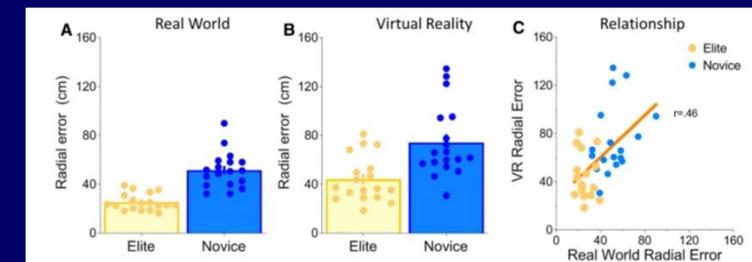
Per una simulazione VR che miri a favorire un trasferimento efficace di un'esperienza sportiva, deve essere rappresentativa dell'abilità realmente richiesta. Per sviluppare simulazioni più efficaci, è fondamentale ottenere simulazioni realistiche dell'esperienza completa, non solo del gesto atletico, ma anche dell'ambiente circostante.

I simulatori di golf utilizzano una combinazione di **hardware** e **software** per creare un'esperienza di gioco realistica. L'hardware include un proiettore, uno schermo e sensori che tracciano il movimento dello swing del giocatore e la traiettoria della palla. Il software utilizza questi dati per creare una rappresentazione virtuale del campo da golf.

Il giocatore si posiziona su un tappetino e colpisce la palla verso lo schermo, che mostra il campo da golf virtuale. I sensori tracciano il volo della palla e forniscono dati sulla velocità, rotazione e traiettoria. Il software calcola quindi la posizione della palla sul campo virtuale, tenendo conto del terreno e degli ostacoli.

L'impatto va ben oltre la semplice comodità, stanno infatti anche cambiando il modo in cui il gioco viene praticato e apprezzato. Grazie ai simulatori, i giocatori possono vivere l'esperienza di campi da golf di tutto il mondo, indipendentemente dalla loro posizione geografica. Inoltre, è possibile giocare in qualsiasi condizione meteorologica, consentendo pratica e partite durante tutto l'anno. I simulatori offrono anche un modo più accessibile ed economico per imparare e giocare, rendendo più semplice per i nuovi giocatori avvicinarsi a questo sport.

Sono utili anche a giocatori avanzati e professionisti, in quanto forniscono analisi immediata del colpo e possono simulare condizioni differenti del percorso. L'impatto dell'AI non è mancato, rispetto alla possibilità di simulare mazze e il volo della pallina sempre più realistici, oltre che a fornire la possibilità di analizzare e migliorare la tecnica dello swing



Radial error scores for novice and expert golfers in a real-world and b VR conditions.

Conclusioni [non conclusive]

- Il mondo dello sport è **vastissimo**, e anche volendo descriverlo in modo poco approfondito, come ho fatto, servirebbe moltissimo tempo
- La scelta degli esempi e degli argomenti è stata quindi rigorosamente legata ai miei **gusti** ed esperienza
- Ci sono anche sicuramente aspetti e notizie interessanti che non conosco, non essendo un professionista del settore, ma solo un **curioso**
- È chiaro che lo sport, a tutti i livelli, è una componente importante della vita contemporanea, molto più che nei secoli passati, e come tutti gli altri aspetti è fortemente impattato dallo sviluppo scientifico e tecnologico
- Ma ricordiamoci sempre che uno degli scopi fondamentali dello sport, soprattutto a livello amatoriale, è il miglioramento dello stato di **salute** e del **benessere psico-fisico** ...
- ... non meno importante, anche il piacere di **stare insieme** [anche virtualmente] ad altre persone e soprattutto **divertirsi**



Conclusioni [non conclusive]

- Lo sport, come tutti gli aspetti della nostra società, è stato influenzato moltissimo, in questi ultimi 40 anni, dalla rivoluzione della **microelettronica** e del **digitale**: una serie di tecnologie, inizialmente applicate solo al mondo professionistico, ora disponibili alla pratica sportiva amatoriale
- La prossima rivoluzione è già in atto ed è ovviamente quella dell'**intelligenza artificiale**: la possibilità di applicare algoritmi «allenati» su enormi quantità di dati, in grado di «imparare» per estrarre informazione o addirittura per generare qualcosa di simile ai dati di partenza, è sotto i nostri occhi
- Con tutte le sfide che comporta, dal punto di vista di sostenibilità ambientale, culturale, economico, sociale [per es. parità di accesso], dell'etica [non ultima l'integrità sportiva], della privacy, ecc.
- Un approccio scientifico allo sport aiuta da diversi punti di vista:
 - A mantenere la consapevolezza della meravigliosa macchina che è l'**essere umano** (cervello oltre ai muscoli) e quindi tenerlo sempre al centro
 - A comprendere le miriadi di aspetti tecnologici e scientifici che si nascondono in tutti gli aspetti della nostra vita quotidiana



Grazie per l'attenzione!