



PHOTOS.COM

# Le leggi del pallone (E NON SOLO)

Fisica e sport, un connubio ben noto. Ma insegnare la materia attraverso le discipline sportive non è affatto semplice: ecco qualche suggerimento sugli aspetti più utili da considerare.

📌 Forse non hanno mai aperto un libro di fisica, ma gli atleti conoscono bene le leggi fisiche.

**N**on c'è libro di fisica per la scuola secondaria di secondo grado che non spieghi le leggi della meccanica utilizzando esempi che coinvolgono atleti impegnati in qualche disciplina sportiva, gente che corre, salta, lancia, calcia, si butta lungo una pista da sci o pattina sul ghiaccio. Non viene trascurato nessuno sport, neanche il curling. Quello che nessuno dice, però, è che chiunque competa nel calcio, nel basket, nel tiro con l'arco o dove vi pare, in qualche maniera – anche se forse non ha mai aperto un libro di fisica – conosce quelle leggi. Se deve tirare prova a prevedere una traiettoria, se deve nuotare cerca di sfruttare al meglio il movimento attraverso l'acqua, se deve scivolare riduce o sfrutta l'attrito a suo vantaggio. Ogni sportivo è quindi un po' anche un fisico (il viceversa purtroppo non è vero).

Scarica la scheda didattica  
[link.pearson.it/3CE9D9E](http://link.pearson.it/3CE9D9E)

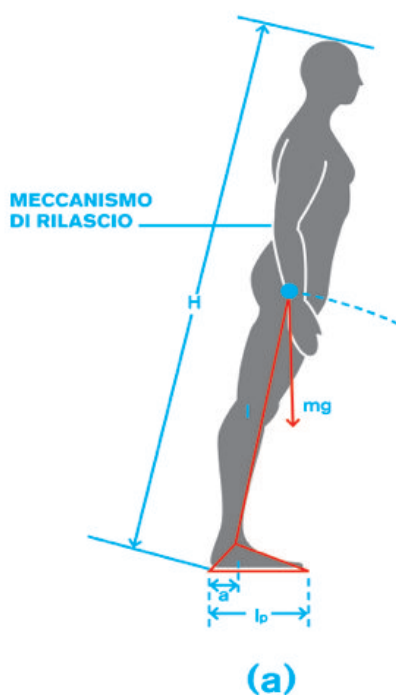


■ ■ ■ ■ ■  
**GIUSEPPE LIBERTI**

Osservare e capire i gesti degli atleti, l'uso e le caratteristiche degli attrezzi sportivi è un modo come un altro per insegnare la fisica, ma bisogna usare qualche cautela, evitando di introdurre complicazioni inutili o semplificazioni eccessive che spesso diventano veri e propri errori. È una fisica calata nel quotidiano, le variabili sono tante e bisogna stare attenti a come si selezionano, a quali sono gli aspetti più rilevanti, quelli che servono per andare oltre il caso specifico e per costruire conoscenza sulle leggi generali che regolano i fenomeni in esame.

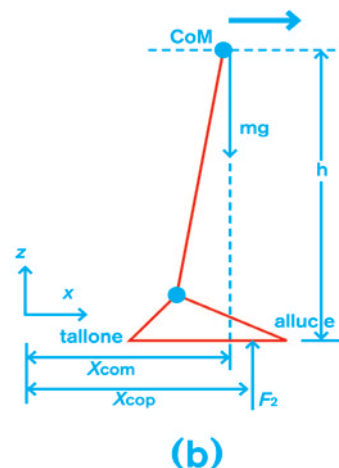
### Semplificazione a corpo rigido

Noi esseri umani, atleti o meno ma comunque bipedi, siamo intrinsecamente instabili (e non intendo da un punto di vista psicologico, ovviamente): basta uno spostamento improvviso e inatteso dalla condizione di equilibrio, una spintarella insomma, e rischiamo di ribaltarci. Se chiedete a un fisico di costruire un modello che descriva questa situazione, abituato com'è a trattare tutto come nella barzelletta della mucca sferica, vi dirà che in fondo, in prima approssimazione, un essere umano in piedi e fermo può essere considerato un corpo rigido con il centro di massa situato più o meno vicino allo stomaco, un oggetto che risponde alle sollecitazioni come fa un pendolo inverso. Se la sollecitazione non è importante, quando il centro di massa si sposta, è lo spostamento del centro di pressione, il punto di applicazione delle forze agenti sulla caviglia, che permette il mantenimento della posizione eretta. Questo meccanismo è particolarmente evidente quando camminiamo, cioè quando spostiamo il centro di pressione da un piede all'altro. Ci sono però occasioni in cui i muscoli delle gambe e attorno alle caviglie non bastano più a superare indenni situazioni che rischiano di diventare irrecuperabili. Non ci spiegheremmo altrimenti perché i ginnasti riescono a stare in equilibrio su travi sottili e le ballerine sulla punta di una singola scarpa, né vedremo i tuffatori che controllano il loro "assetto" durante il volo o i pattinatori che piroettano sul ghiaccio.



### Il meccanismo del pendolo inverso.

Fonte: Z. Aftab, T. Robert, P. Wieber, *Predicting multiple step placements for human balance recovery tasks*, in "Journal of Biomechanics", 2012, vol. 45, pp. 2804-2809.



### Complicazioni della struttura articolata

Il corpo umano non è un sistema rigido, è evidente, bensì una struttura articolata che permette di sfruttare al meglio non solo l'inerzia, ovvero di resistere alle variazioni del moto lineare, ma soprattutto una grandezza fisica nota come momento di inerzia, la proprietà di un oggetto di resistere alle variazioni nel suo moto rotazionale. Mentre l'inerzia dipende da una sola variabile (la massa), l'inerzia angolare dipende da due: la massa e come questa è distribuita. Un oggetto rigido può avere più momenti di inerzia, perché può avere più assi di rotazione ma, come ho già detto, il corpo umano non è un oggetto rigido e questo complica ulteriormente le cose: gli esseri umani possono muovere i loro arti e questi movimenti possono cambiare la distribuzione della massa su un asse di rotazione, variando così il momento di inerzia su quell'asse.

### UNA MUCCA TONDA TONDA

La "mucca sferica" è una delle barzellette che si raccontano tra fisici. Un contadino ha un problema con le sue mucche, che producono poco latte; per risolverlo, non trovando di meglio, consulta un fisico. Costui, dopo avere esaminato le mucche e riflettuto a lungo, inizia la sua analisi così: «Consideriamo una mucca sferica nel vuoto...». Si tratta di un modo per far capire come i problemi che i fisici devono affrontare siano spesso ridotti alla forma più semplice possibile, almeno in una prima fase, quella in cui è sufficiente una stima delle grandezze in gioco. La barzelletta è ovviamente un paradosso ma, malgrado la presa in giro, essa ci insegna che semplificare è utile a patto di non esagerare.





### GIUSEPPE LIBERTI

è fisico. È stato ricercatore a tempo determinato e professore a contratto presso l'Università della Calabria. Da qualche tempo cura il blog *Rangle* (<http://peppe-liberti.blogspot.com>), è editor dell'edizione in lingua italiana di *Research Blogging* e scrive su riviste di divulgazione scientifica.

### La fisica del gesto atletico...

Un atleta è un essere umano che allena una specifica capacità motoria per farla divenire un'abilità, è cioè in grado di modificare i momenti di inerzia del suo corpo per eseguire i suoi esercizi evitando gli errori: il momento di inerzia di un tuffatore che parte da una posizione distesa e poi fa un salto mortale si può ridurre a meno della metà quando si sistema nella posizione raggruppata; una pattinatrice artistica che ruota con le braccia lungo i fianchi può più che raddoppiare il suo momento di inerzia portando le braccia al livello delle spalle. Se il momento totale delle forze esterne agenti sull'atleta è nullo allora il momento angolare si conserva nel tempo. Ciò significa che una variazione del momento di inerzia è accompagnata da una variazione della velocità angolare che la compensa.

Questi problemi e queste opportunità diventano ancor più importanti quando la disciplina sportiva prevede l'uso di un attrezzo, quale una racchetta o una mazza da golf. Chi progetta queste attrezzature è consapevole degli effetti che il loro momento di inerzia può avere sulle abilità degli atleti. Nello sci, per esempio, i discesisti usano sci più lunghi di quelli usati dagli slalomisti perché forniscono più stabilità, cosa auspicabile per un signore che schizza giù per la montagna a velocità elevate. Gli slalomisti hanno invece bisogno di sci più maneggevoli, con un momento di inerzia minore rispetto all'asse di rotazione.



Nel tennis moderno, che è uno sport giocato con un ritmo incredibile, i giocatori colpiscono la palla con colpi potenti da qualsiasi posizione del campo e i movimenti che compie un tennista quando effettua un colpo rappresentano la sintesi perfetta di tutto quello che abbiamo detto finora. In una prima fase il tennista si prepara al colpo: per farlo allarga le gambe e trasferisce il peso su uno dei due piedi (il destro se tiene la racchetta con la mano destra). Nella fase successiva ruota il busto e con esso il braccio all'indietro. Al contatto con la palla, viene trasferita la quantità di moto necessaria per rispedirla nell'altro campo ma a questo risultato contribuiscono sia la spinta della gamba

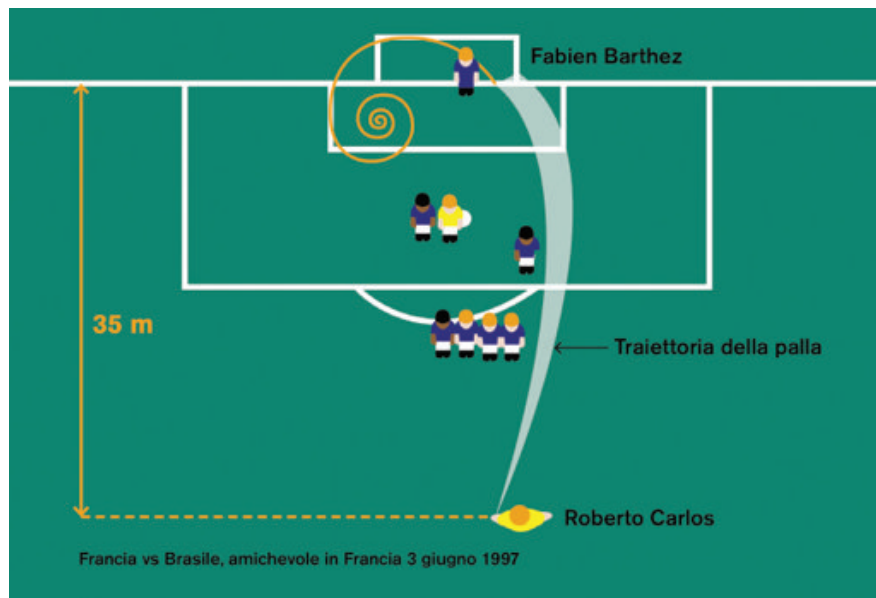
➔ Roger Federer agli Australian Open 2012, Melbourne, Australia.

sul terreno sia la rotazione della racchetta su un piano orizzontale. C'è però un altro tipo di rotazione importantissima, quella dal basso verso l'alto o viceversa, che è in grado di imprimere un effetto alla palla. La fisica di questo fenomeno è la fisica del moto di un oggetto in un fluido e può essere compresa studiando pochi semplici concetti.

## Osservare e capire i gesti degli atleti o l'uso e le caratteristiche degli attrezzi sportivi è un modo per insegnare la fisica, ma bisogna evitare complicazioni inutili o semplificazioni eccessive

### ... e quella del pallone

Calcio, pallavolo, tennis, golf, sono discipline sportive con regole molto diverse ma con un denominatore comune, il lancio di un oggetto più o meno sferico verso un compagno, un avversario o dentro a una buca. Questi oggetti disegnano in aria traiettorie che possono essere anche molto complesse e che dipendono da come sono fatti gli oggetti stessi, dal modo in cui sono stati colpiti e dalle forze a cui sono soggetti mentre sono in volo. Non si tratta solo della gravità, ma di una combinazione tra questa, la resistenza dell'aria e la forza di Magnus, una specie di portanza, la cui origine risiede proprio nel moto rotatorio del pallone. Il testo più citato negli articoli che affrontano il tema è *The Physics of Ball Games* scritto, non a caso, da un esperto di balistica [1]. Lo fa per esempio *The physics of football*, pubblicato su "Physics World", dove si discute in maniera qualitativa il segreto nascosto nelle punizioni di Roberto Carlos [2]: una faccenda che Gren Ireson, nel 2001, ha messo in formule in un lavoro che ha per titolo *Beckham as physicist?* (cambia il calciatore ma non la sostanza) [3]. Ireson utilizza concetti di base ed equazioni semplici che potete trovare ancor più semplificate in un recente articolo [4] pubblicato sulla rivista degli studenti del Dipartimento di fisica e astronomia dell'Università di Leicester (che vi consiglio di visitare perché spesso si divertono a risolvere problemi inusuali, come provare a capire cosa vede Han Solo quando il Millennium Falcon salta nell'iperspazio o se davvero il mantello di Batman è in grado di farlo scivolare nell'aria senza farlo spiacciare al suolo).



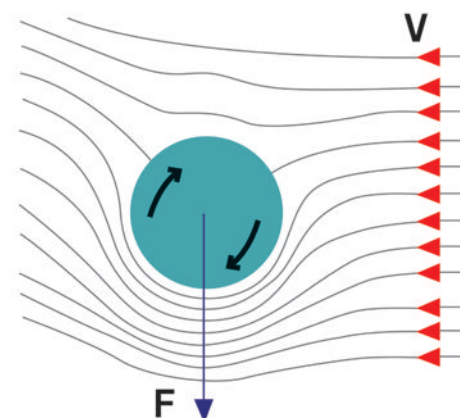
➔ La traiettoria della palla calciata da Roberto Carlos sarebbe continuata se la gravità non avesse preso il sopravvento.

### Pressione e traiettoria

Immaginatelo allora, Beckham che si prepara a calciare il pallone. Deve decidere come colpirlo e, se vuole superare la barriera formata dai giocatori della squadra avversaria, non può che scegliere un "tiro ad effetto": deve cioè imprimere alla sfera un moto rotatorio, uno spin. Non basta, però. Deve pure stabilire le altre condizioni che poi determineranno il risultato, se sarà un buon tiro ovvero se finirà nello specchio della porta o in tribuna: l'angolo di lancio e la velocità iniziale. La sua intenzione è quella di superare la barriera di lato con il pallone che deve seguire una traiettoria curva. Beckham lo colpisce ed ora è in volo e attraversa l'aria ruotando su se stesso. Chi è il diavolello che ha curvato la traiettoria? Ci deve essere una forza, distinta dalla gravità, che mantiene il pallone lungo la traiettoria curva altrimenti Beckham non sarebbe in grado di farlo girare attorno alla barriera ma solo di superarla con una traiettoria che assomiglia a quella caratteristica del moto di un proiettile. La ragione di ciò risiede in quello che si chiama effetto Magnus, il fatto che l'aria vicino alla superficie del pallone viene trascinata in un moto che ne segue la rotazione: viene rallentata da una

parte (quella in cui la superficie della sfera e l'aria corrono in verso opposto) e accelerata dall'altra (quella in cui la superficie della sfera e l'aria corrono nello stesso verso). La differenza di velocità dell'aria crea una differenza di pressione nei pressi di due zone opposte del pallone (per il principio di Bernoulli, che afferma che quando la velocità di un fluido aumenta, la pressione al suo interno diminuisce). Il pallone viene così spinto dalle zone ad alta pressione a quelle a bassa pressione e curva la sua traiettoria.

### ➔ L'effetto Magnus.



## Calcio, pallavolo, tennis, golf hanno tutti qualcosa in comune: il lancio di un oggetto sferico verso un compagno, un avversario o dentro a una buca, con traiettorie che possono essere anche molto complesse

### È la fisica, bellezza

La forza di Magnus dipende linearmente dalla velocità con cui si sposta l'oggetto e questa è, da un punto di vista matematico, una proprietà parecchio comoda, nel senso che permette di sviluppare le equazioni con una difficoltà relativa. L'effetto della resistenza dell'aria, invece, può dipendere dalla velocità in maniera non banale. Insomma, come al solito, quando la fisica non è quella di un punto materiale che si muove nel vuoto, il lavoro per capire che cosa può essere effettivamente trascurato e perché e quali sono le semplificazioni che possono essere adoperate nelle formule non è semplice. Questo è però il lavoro del fisico e affrontare questo tipo di problemi senza la pretesa di risolverli fino in fondo, acquisendo conoscenze certe anche se parziali, serve a insegnare un metodo.

### Discipline aerodinamiche

Un lettore a suo agio con i misteri delle equazioni della fisica potrà trovare in *The spinning ball spiral*, un lavoro di qualche anno fa pubblicato sul "New Journal of Physics", un modello complesso,

non proponibile agli studenti della secondaria, che esamina e cataloga tutti gli sport in cui l'aerodinamica gioca un ruolo importante [5]. In quelli in cui gli effetti aerodinamici sono più rilevanti di quelli della gravità (tennis, tennis da tavolo e golf) si gioca soprattutto d'effetto e si parla in gergo di topspin e backspin per indicare un colpo ottenuto muovendo l'attrezzo dal basso in alto e viceversa, dall'alto in basso, quasi "di taglio". Nel basket e nella pallamano l'effetto della forza di Magnus è piccolo e conta soprattutto la gravità. Nel calcio, nella pallavolo e nel baseball, infine, non si può trascurare nulla, ma in certe condizioni, se per esempio il colpo è abbastanza potente (come nel caso delle punizioni di Roberto Carlos), la traiettoria tra punto di battuta e di arrivo si calcola facilmente perché è quasi un arco di cerchio.

### Esercitarsi nella raccolta dati

Lo sviluppo delle abilità degli atleti e della tecnologia applicata agli attrezzi sportivi ha profondamente trasformato molte discipline. È cambiata pure l'alimentazione, sono cambiate le tecniche di allenamento e le strategie tattiche, soprattutto negli sport di squadra (lasciamo da parte il doping), e tutto questo ha inciso in maniera radicale nel miglioramento delle prestazioni sportive. Quantificare però l'effetto dell'introduzione di una nuova tecnologia separandolo dal resto non è sempre facile. Quando un attrezzo cambia radicalmente, l'influenza sulle prestazioni degli atleti è immediatamente evidente – è successo nel lancio del giavellotto o nel salto con l'asta – ma pensate anche al passaggio dalle racchette di legno a quelle in carbonio o grafite nel tennis e a come la stessa cosa sia avvenuta con lo sci o il ciclismo. Ci sono casi più controversi, come il nuoto e, soprattutto, la corsa. Un esercizio utile da un punto di vista didattico per insegnare la raccolta, la rappresentazione e l'analisi dei dati, è quello di esaminare come sono cambiate nel corso del tempo le performance in un determinato sport. Non basta raccogliere i dati sui record mondiali o collezionare i risultati olimpici dell'ultimo secolo: questa è l'eccellenza, non va bene. L'idea giusta ce la suggerisce Steve Haake, direttore del Centre for Sports Engineering Research dell'Università di Sheffield



PHOTOS.COM

🔗 Il tennis da tavolo si gioca soprattutto d'effetto.



ASPEN PHOTO / SHUTTERSTOCK.COM

Hallam. In un articolo sul volume speciale di "Physics World" dedicato proprio a fisica e sport, Haake analizza e compara tre sport, i 100 metri piani uomini, i 100 metri stile libero donne e il lancio del giavellotto, calcolando dal 1891 a oggi la media per anno delle migliori 25 prestazioni di 25 atleti diversi [6]. Questa operazione non solo permette di raccogliere un numero enorme di dati, ma riduce anche il rischio di dover tener conto di valori anomali. Il risultato è interessante e se ne ricavano informazioni importanti. Si quantifica per esempio il calo delle prestazioni durante le due guerre del secolo passato o gli effetti dell'introduzione del cronometraggio completamente automatico sui 100 metri piani (un improvviso peggioramento dei tempi), del cambio delle regole nel giavellotto, dell'uso dei costumi in poliuretano nei 100 metri stile libero.

### Un portiere distratto

Fisica (matematica) e sport sono dunque "discipline" strettamente intrecciate e quello che vi ho raccontato non è neanche l'introduzione di un ipotetico volume che affronti l'argomento in maniera sistematica. Si potrebbe addirittura spiegare tutta la meccanica solo attraverso lo sport: chissà, magari si guadagnerebbe un po' di attenzione in più. Basta non fare poi come Niels Bohr che quando giocava a pallone, invece di pensare a parare (era portiere) si poggiava sul palo a far di conto. E gli altri segnavano. ➔

**Il corpo umano non è un sistema rigido, bensì una struttura articolata che permette di sfruttare al meglio non solo l'inerzia, ma soprattutto il momento di inerzia**



### IN RETE!

**La fisica dello sport** Sezione dedicata allo sport del sito web *Real World Physics Problems*, creata dall'ingegnere meccanico Franco Normani per raccontare la fisica della vita quotidiana.

[link.pearson.it/E476B099](http://link.pearson.it/E476B099)

**Ingegneria e discipline sportive** Ricca serie di contributi, anche video, da un team di esperti e appassionati di ingegneria legata al mondo dello sport. <http://engineeringssport.co.uk>

**Palle e fisica** Puntata di GeoScienza dedicata alle leggi fisiche che regolano gli sport con palle e palloni. [link.pearson.it/9371800F](http://link.pearson.it/9371800F)



### RIFERIMENTI

- 1 C.B. Daish, *The Physics of Ball Games*, The English University Press, London 1972
- 2 T. Asai, T. Akatsuka and S. Haake, *The physics of football*, in "Physics World", 1998, vol. 11, p. 25. Disponibile online: [link.pearson.it/7A12253A](http://link.pearson.it/7A12253A)
- 3 G. Ireson, *Beckham as physicist?*, in "Physics Education", 2001. Disponibile online come pdf: [link.pearson.it/E31B7480](http://link.pearson.it/E31B7480)
- 4 J. Sandhu, A. Edgington, M. Grant, N. Rowe-Gurney, *How to score a goal*, in "Physics Special Topics", 2011. Disponibile online: [link.pearson.it/941C4416](http://link.pearson.it/941C4416)
- 5 G. Dupeux, A. Le Goff, D. Quééré and C. Clanet, *The spinning ball spiral*, in "New Journal of Physics", 2010. Disponibile online: [link.pearson.it/A78D1B5](http://link.pearson.it/A78D1B5)
- 6 *Physics and sport*, in "Physics World", numero speciale luglio 2012. Disponibile online: [link.pearson.it/7D7FE123](http://link.pearson.it/7D7FE123)