

La Fisica degli sport con la palla

A top-down view of a large collection of various sports balls scattered on a light-colored wooden surface. The balls include basketballs (one orange Spalding), soccer balls (one white and black, one green and white, one pink, one blue and white), volleyballs (one white Mikasa, one blue and yellow, one brown), tennis balls (one yellow-green, one blue), and other balls like a purple spiky ball, a blue spiky ball, a pink ball, a blue ball, and a feathered ball.

Marco Anni

Scopo e regole del gioco

- Analisi della Fisica presente nei vari sport
- Metodo di analisi fisico
- Attenzione sui punti di contatto tra i vari sport
- Spiegazione scientifica delle differenze

Sport con la palla: differenze e somiglianze

- Regolamenti....tutti diversi
- Tutti gli sport hanno dei giocatori
- Tutti gli sport hanno un campo da gioco
- Tutti gli sport usano una palla



Superficie campo da 4 m² a circa 7000 m²

Numero di giocatori da 1 a 11

Sommario

- Inizio del moto
- Dinamica del moto: equazione del moto, legge oraria, traiettoria, gittata....
- Origine fisica della varietà di regole

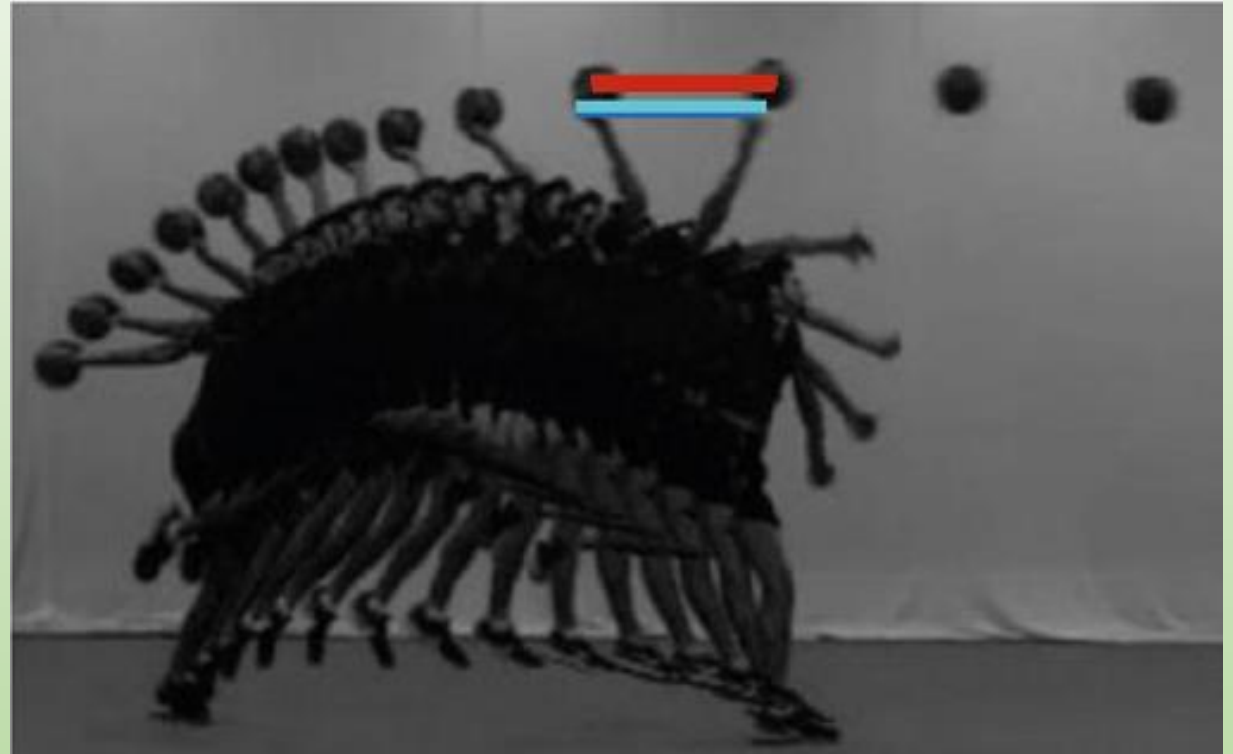
Inizio del moto: lancio



Inizio del moto: battuta

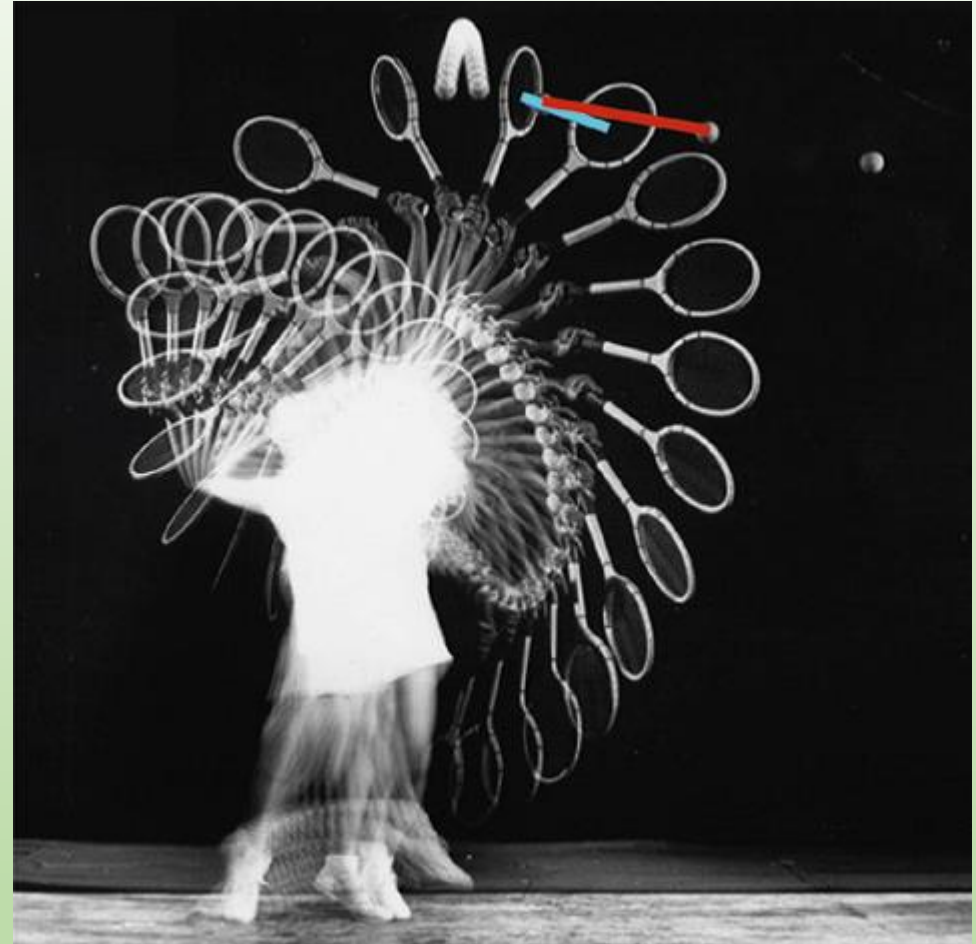
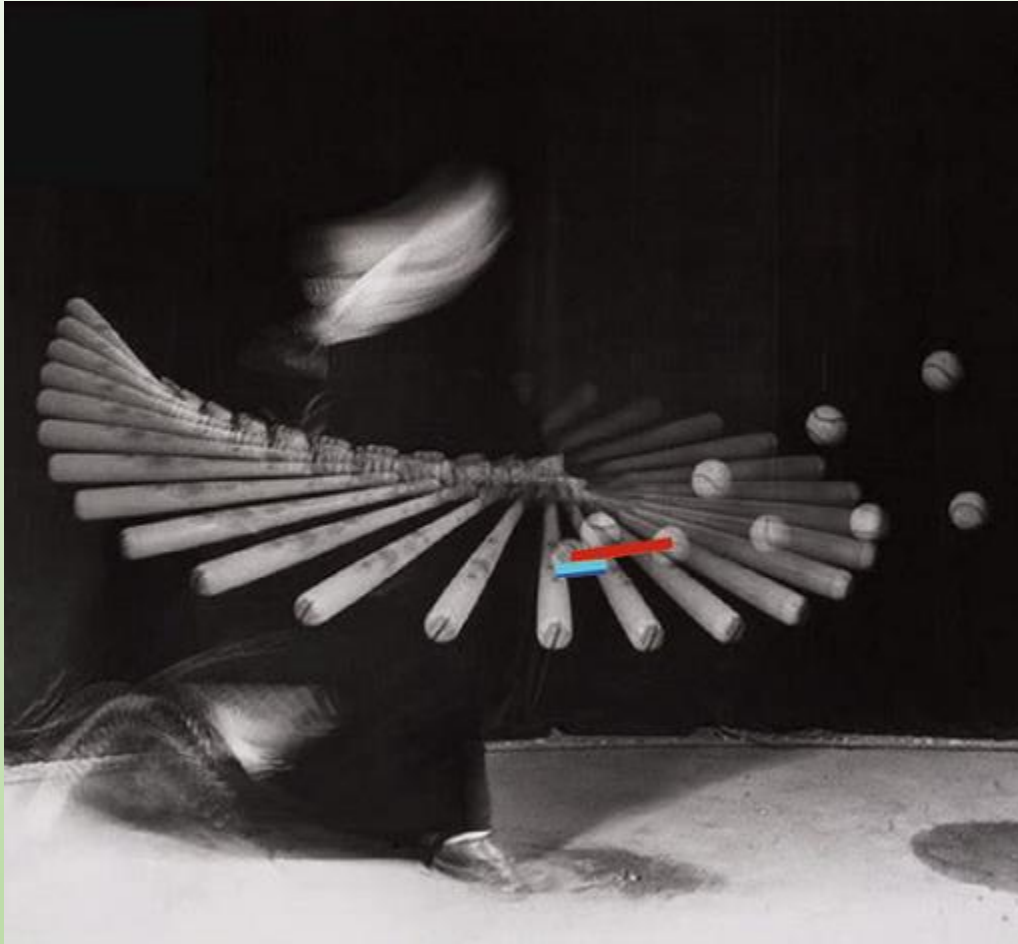


Lanciare o battere?



Quando si lancia la palla inizia a muoversi con la stessa velocità della mano

Lanciare o battere?



Quando si batte la palla inizia a muoversi con velocità maggiore della mano o dell'attrezzo

L'importanza della velocità iniziale

- La velocità iniziale condiziona fortemente il moto della palla
- Spesso è conveniente avere velocità alte
- Negli sport in cui si "batte" la velocità iniziale è maggiore di quella in cui si lancia
- Ma.....perché a volte si preferisce lanciare e non si batte sempre?

La Fisica della battuta



Palla e giocatore sono corpi estesi

La forma del giocatore cambia in
continuazione

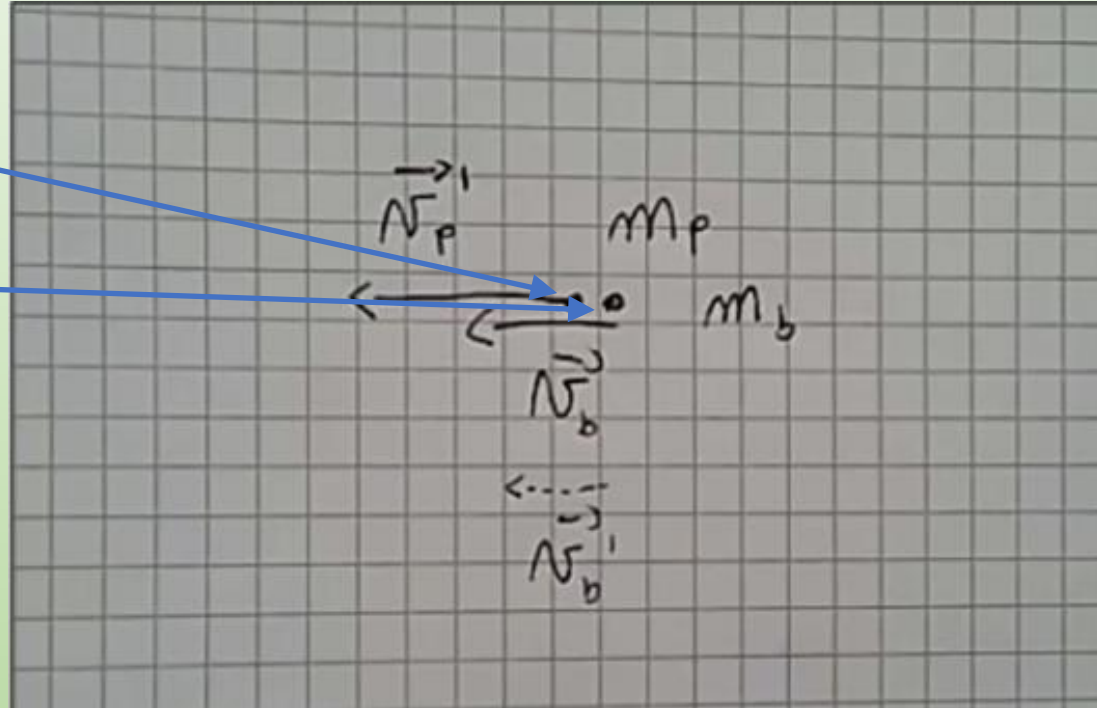
La palla si deforma

Forza tra mano e
palla incognita



La Fisica della battuta

Approssimazione 1: urto tra particelle puntiformi



Approssimazione 1: urto tra particelle puntiformi

- Si conserva la quantità di moto:

$$m_b \vec{v}_b = m_b \vec{v}'_b + m_p \vec{v}'_p$$

- Si conserva l'energia cinetica (se l'urto è perfettamente elastico):

$$\frac{1}{2} m_b v_b^2 = \frac{1}{2} m_b v'^2_b + \frac{1}{2} m_p v'^2_p$$

Approssimazione 1: urto tra particelle puntiformi

Dopo qualche passaggio:

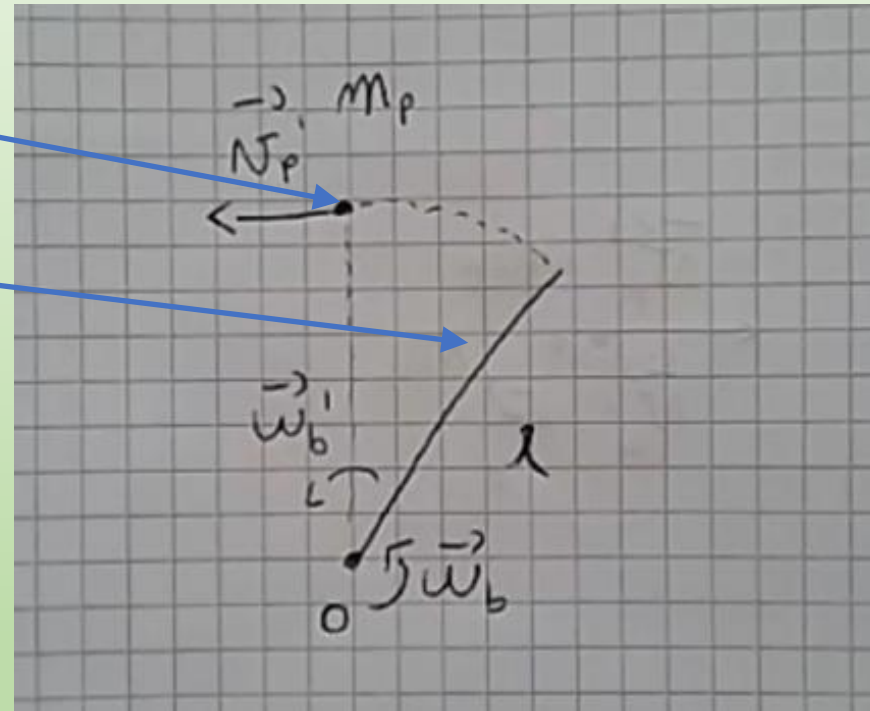
$$\frac{v'_p}{v_b} = \frac{v_c}{v_l} = \frac{2}{1 + \frac{m_p}{m_b}} \qquad v_c > v_l \Leftrightarrow \frac{m_p}{m_b} < 1$$

- Conviene battere se la massa della palla è minore di quella del braccio
- Guadagno di velocità massimo pari a 2 volte

Controlliamo

- Effettivamente gli sport in cui si lancia sono quelli con la palla di massa più alta (basket, pallamano etc.)
- Una palla da basket ha massa 0.65 kg
- Un braccio umano ha massa di circa 5 kg
- $0.65/5=0.13 \ll 1$
- Secondo il nostro modello dovrebbe convenire battere, e non lanciare

Approssimazione 2: urto tra corpo rigido e palla puntiforme



Approssimazione 2:urto tra corpo rigido e palla puntiforme

$$\frac{v_c}{v_l} = \frac{2}{1 + \frac{m_p l^2}{I_b}}$$

- Conviene l'urto se il momento di inerzia della palla è minore di quello del braccio
- Guadagno di velocità massimo pari a 2 volte

Ricontrolliamo

- Approssimando il braccio ad una sbarretta rettilinea omogenea:

$$I_b = \frac{m_b l^2}{3} \Rightarrow \frac{m_p l^2}{I_b} = \frac{m_p l^2}{\frac{m_b l^2}{3}} = 3 \frac{m_p}{m_b}$$

$$\frac{m_p l^2}{I_b} < 1 \Leftrightarrow 3 \frac{m_p}{m_b} < 1 \Leftrightarrow m_p < \frac{m_b}{3}$$

- $\frac{m_b}{3} \approx 1.6 \text{ kg}$ci stiamo avvicinando

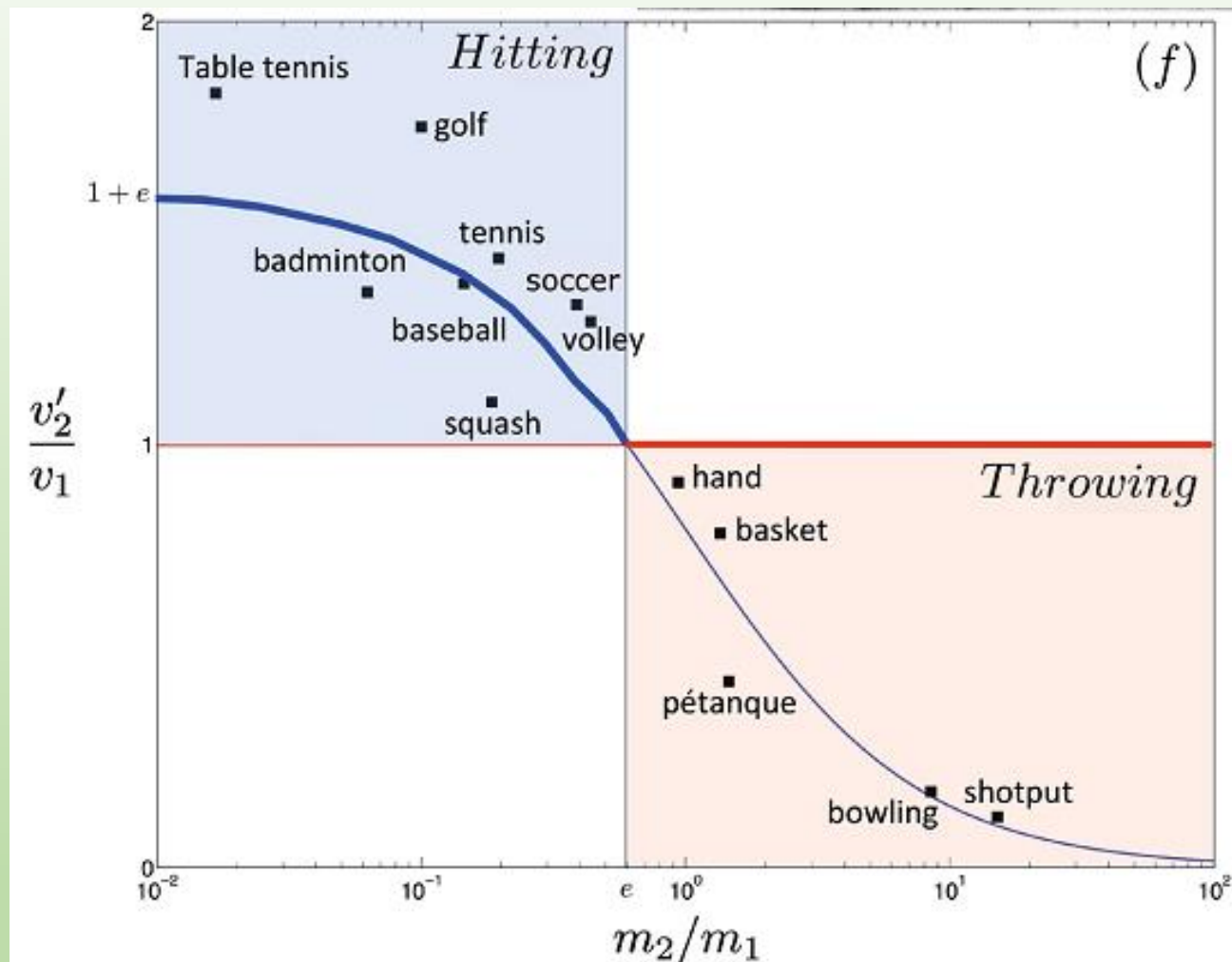
Cosa manca

- L'urto non è perfettamente elastico
- Nel criterio di convenienza compare il coefficiente di restituzione e invece di 1 ($e < 1$)
- Supponendo $e=0.4$ la massa "critica" scende a 0.64 kg
- Nella pallamano la palla ha massa 0.45 kg
- La nostra previsione è ancora sbagliata di circa il 40%
- All'inizio sbagliavamo di quasi 10 volte

Cosa manca....ancora

- Il braccio ruota intorno alla spalla
- Il massimo valore delle forze vincolari non è infinito, come implicitamente assunto dal modello, ma limitato dai muscoli della spalla
- Il momento angolare del braccio è trasferito alla palla dalla mano, che non è rigida e indeformabile
- La convenienza della battuta è per masse più piccole di quelle teoriche per evitare infortuni al battitore

Verifichiamo



Effettivamente si batte solo negli sport in cui la palla ha massa sufficientemente piccola, ottenendo un vantaggio in termini di velocità iniziale

Come aumentare la velocità

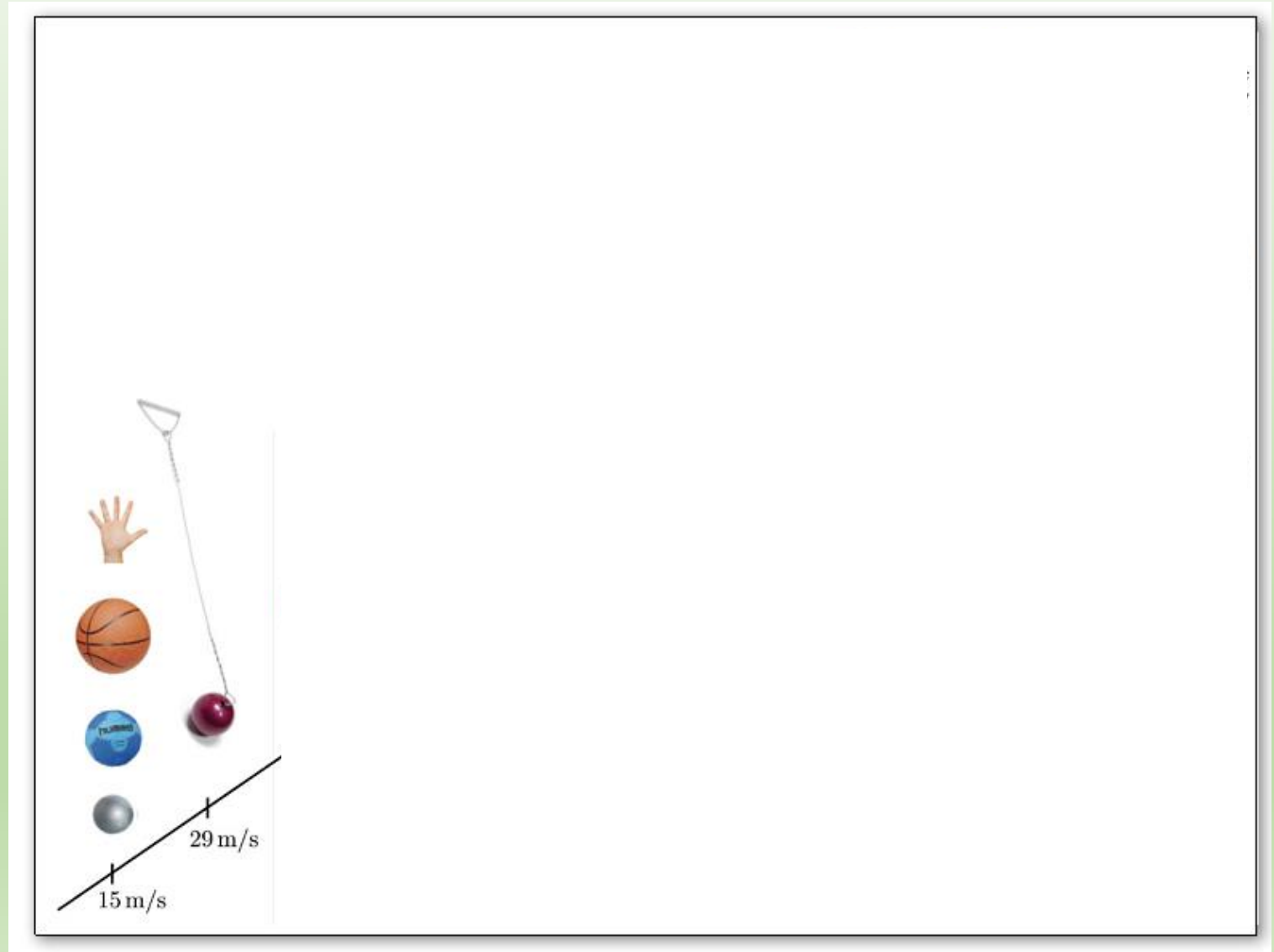
Lancio diretto

$$v = \omega l$$



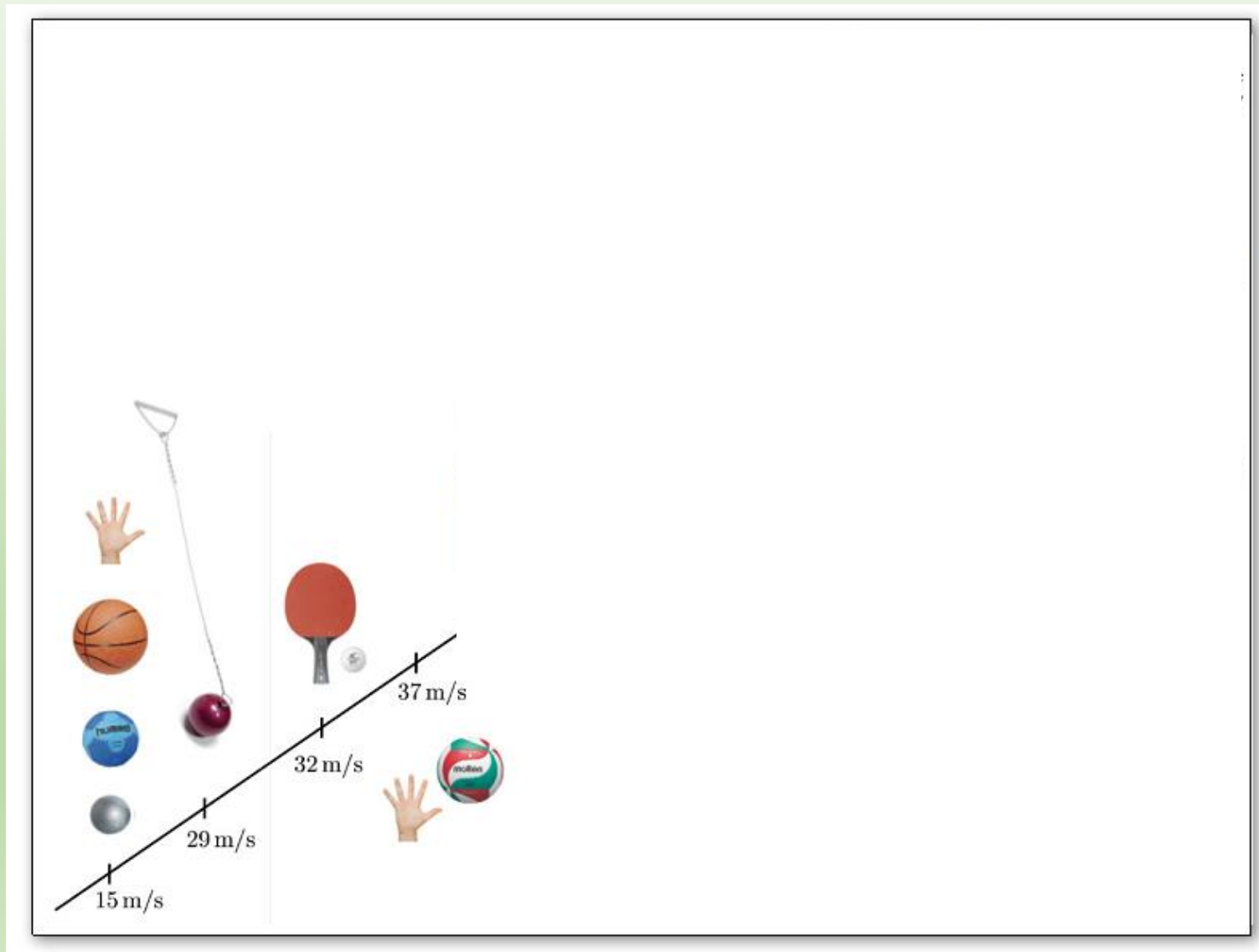
Come aumentare la velocità

“Allungare” il braccio
(2 volte)



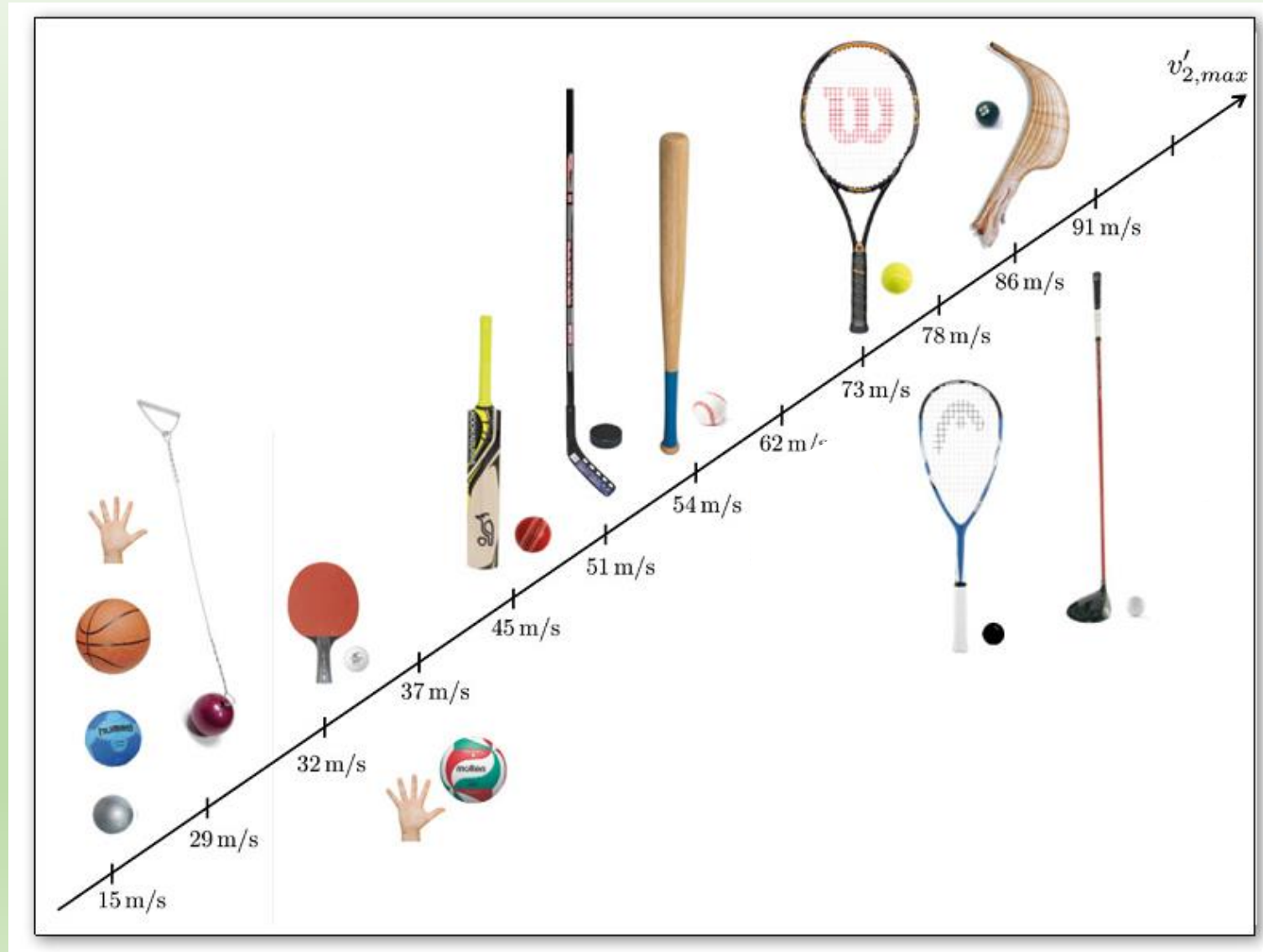
Come aumentare la velocità

Battere invece che lanciare (2 volte)

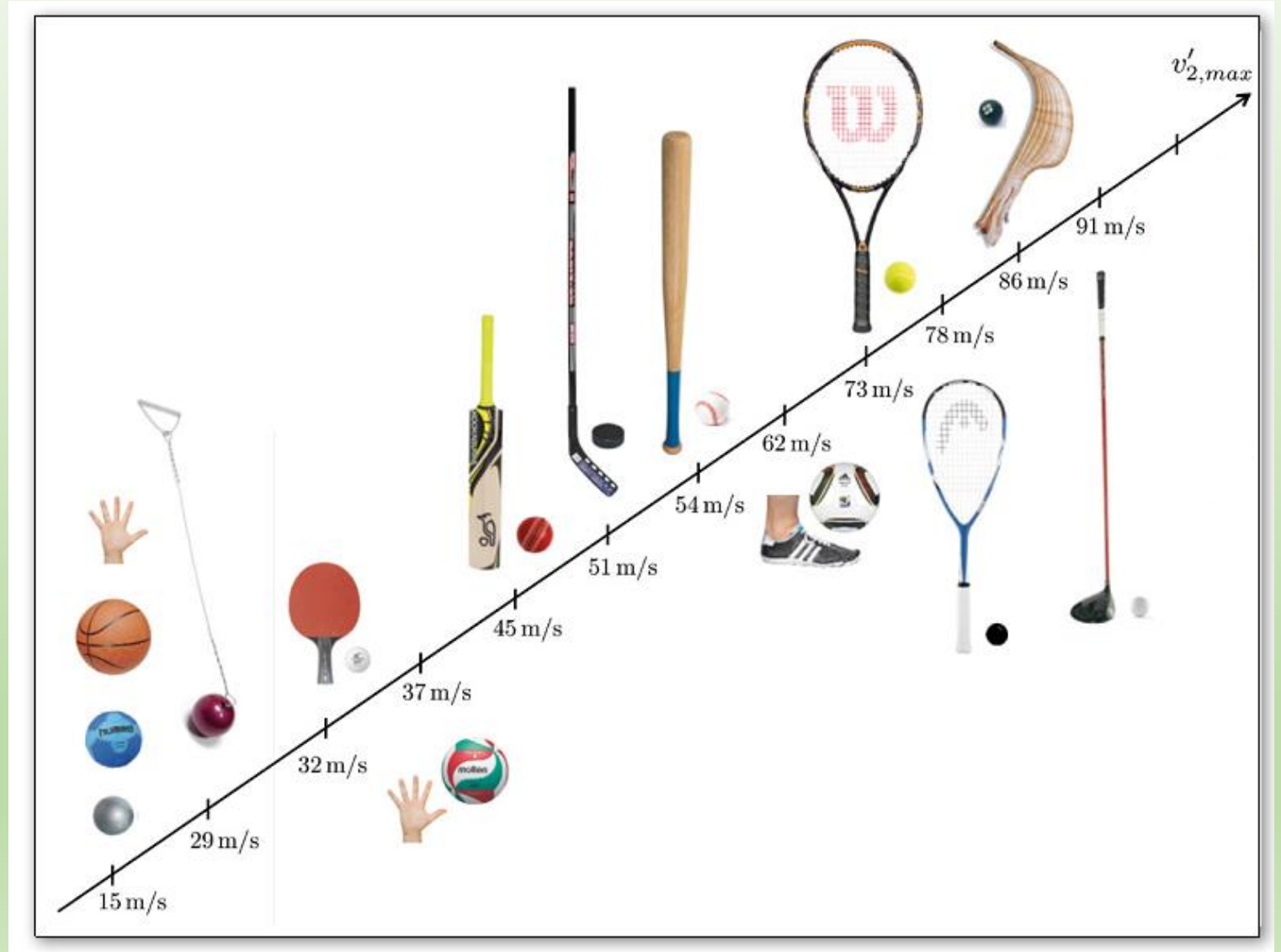


Come aumentare la velocità

Battere invece che lanciare e allungare il braccio
(4 volte)

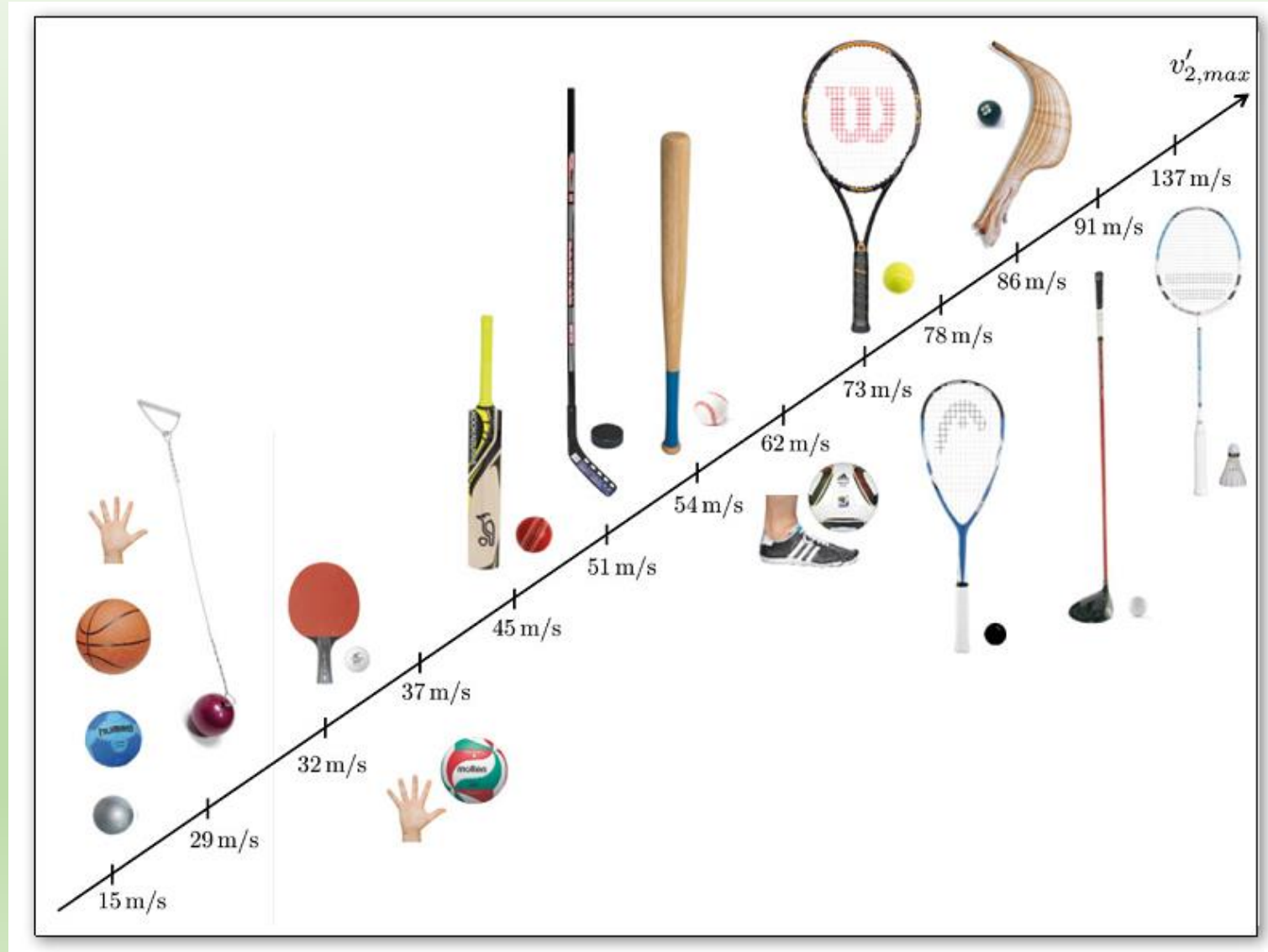
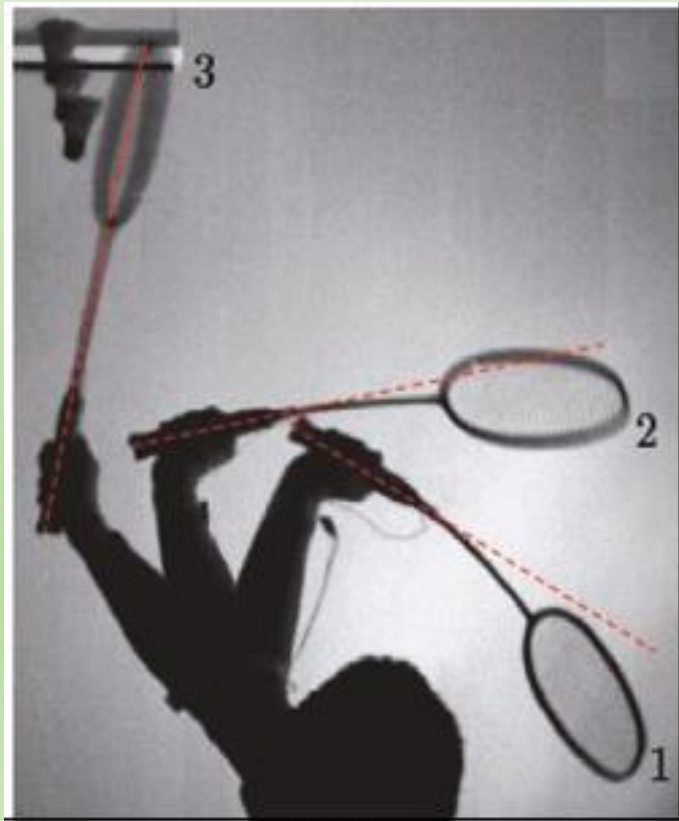


Aumentare ω
diminuendo il
momento di inerzia
prima dell'urto



Come aumentare la velocità

Aggiungere un aiuto dalla racchetta
(altre 2 volte)



Dinamica del moto della palla

- $\vec{a} = \vec{F}_{tot}/m$
- La palla si muove sotto l'azione della forza peso
- Moto orizzontale uniforme
- Moto verticale uniformemente accelerato
- Traiettoria parabolica

$$y = h + x \tan \vartheta - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \vartheta} x^2$$

video.corriere.it > messi-punizione-capolavoro-parabola-d...

Punizione Messi: la parabola ha incantato il mondo - video

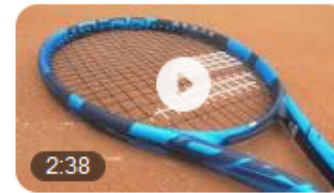


Messi superstar nella serata di Champions grazie alla **punizione** capolavoro: una **parabola** che ha incantato

Corriere Tv · Valentina Baldisserri · 2 mag 2019

www.tennisitaliano.it > il-diritto-di-nadal-visto-dagli-occhi...

Il diritto di Nadal: l'ho osservato, e ve lo racconto

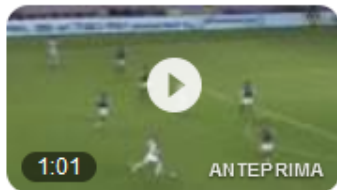


La sua **parabola** esce dall'armonia, prendendo aria, non penetrandola. ... avversari - così che tutto il **tennis** del...

Il Tennis italiano · 24 apr 2017

video.repubblica.it > sport > la-parabola-telecomandata-il-...

La parabola telecomandata, il tiro magico di Beckham



Quel tiro a effetto, quella **parabola** telecomandata che r
eguali ... Di solito il calciatore inglese la sfoggia su calcio

Repubblica TV · la Repubblica · 17 apr 2012

video.corriere.it > ping-pong-magia-tiro-fantasma-palla-sc...

Ping pong, la magia del tiro fantasma: la palla scompare e ...



... l'avversario la perde di vista e può solo guardarla cadere sul
suo lato del **tavolo** al termine di una **parabola** impossibile da...

Corriere Tv · 20 mar 2015

Un esempio



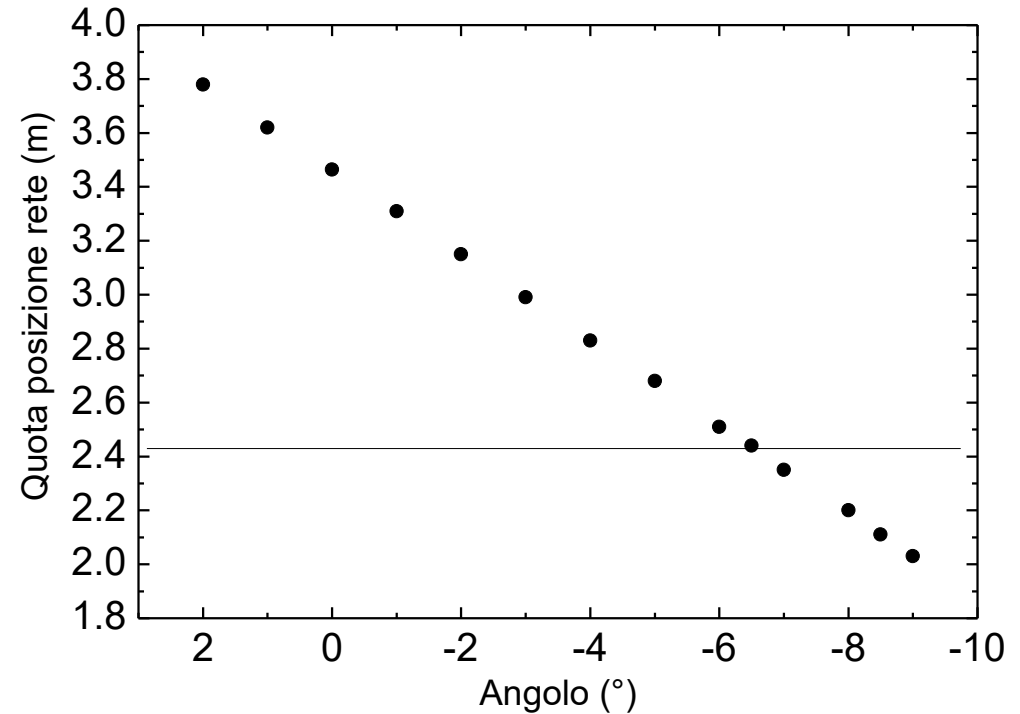
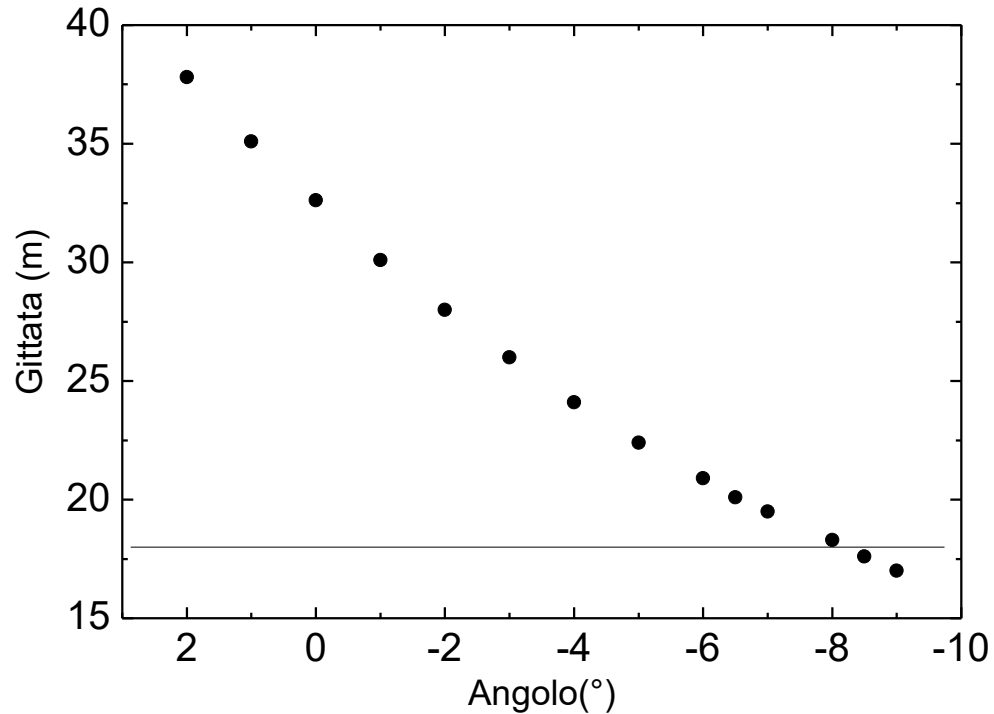
Verifichiamo

$$\text{Gittata} = \frac{v_0^2 \cos^2 \vartheta}{g} \left(\tan \vartheta + \sqrt{\tan^2 \vartheta + \frac{2gh}{v_0^2 \cos^2 \vartheta}} \right)$$

- $v_0 = 37.5 \text{ m/s}$
- $h = 370 \text{ cm (!!!)}$
- $\vartheta = 0^\circ$
- Gittata = 32.5 m

Lunghezza campo pallavolo 18 m!

Dipende dall'angolo di lancio?



Per nessuna condizione di lancio la palla supera la rete restando in campo

La previsione di moto parabolico è sbagliata!

Per approfondire

- Youtube → Dipartimento di Matematica e Fisica unisalento
- La Fisica degli sport con la palla: 3 “la dinamica del moto della palla”
- <https://www.youtube.com/watch?v=HHcSBwZ0cms&t=1s>



Dinamica della palla e regole del gioco

Origine fisica delle dimensioni del campo

Per evitare di avere parti del campo non raggiungibili dalla palla e per non rendere troppo difficile tenere la palla in campo è ragionevole che la dimensione del campo sia dell'ordine della gittata della palla nella fase di volo

Gittata e dimensioni del campo

Sport sopra la linea:

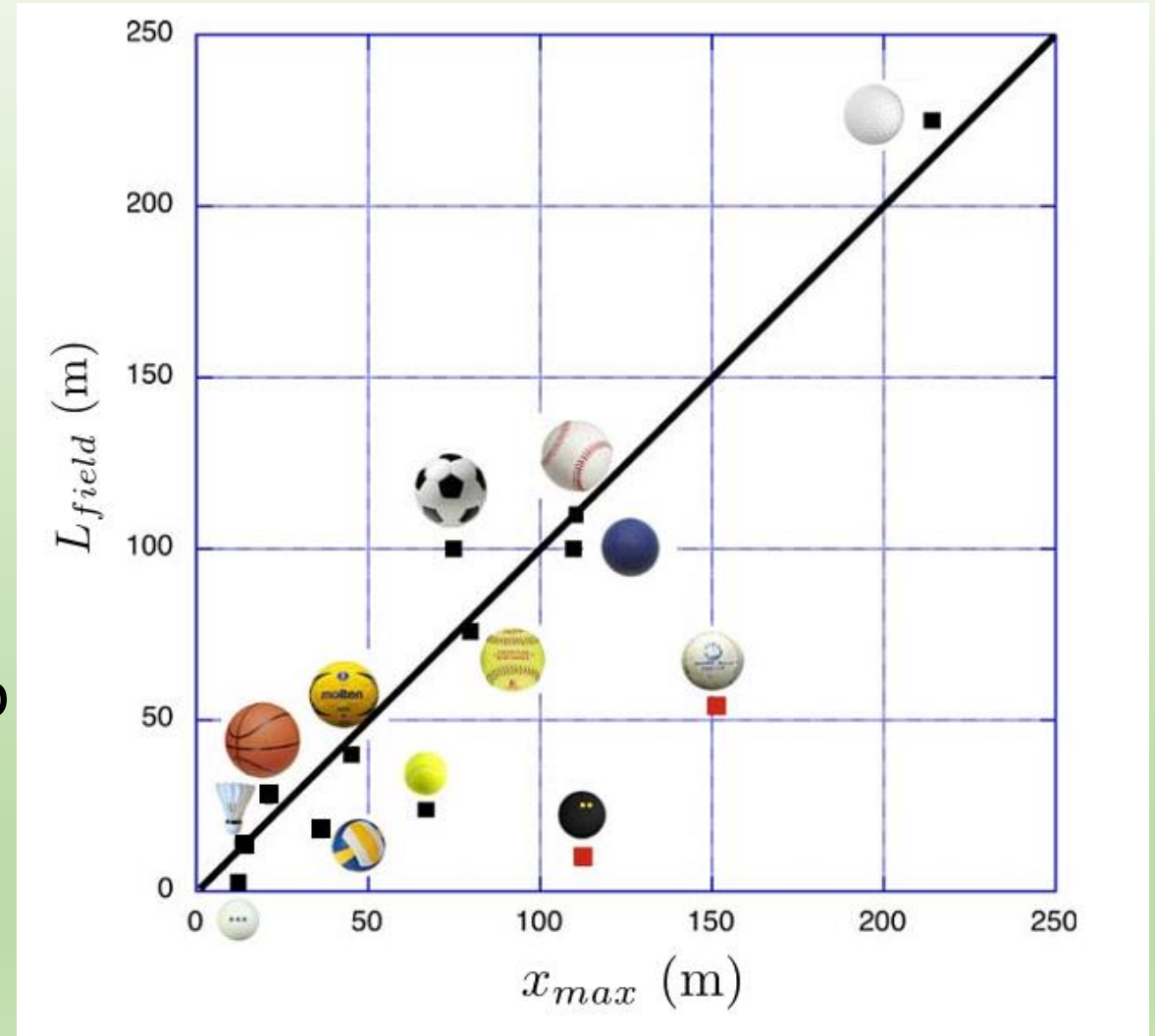
-servono più colpi per coprire il campo

Sport di squadra

-tenere la palla in campo è facile

niente punti associati

Punto se la palla colpisce un bersaglio più o meno piccolo



Gittata e dimensioni del campo

Sport sotto la linea:

- un colpo basta per far uscire la palla

Sport individuali

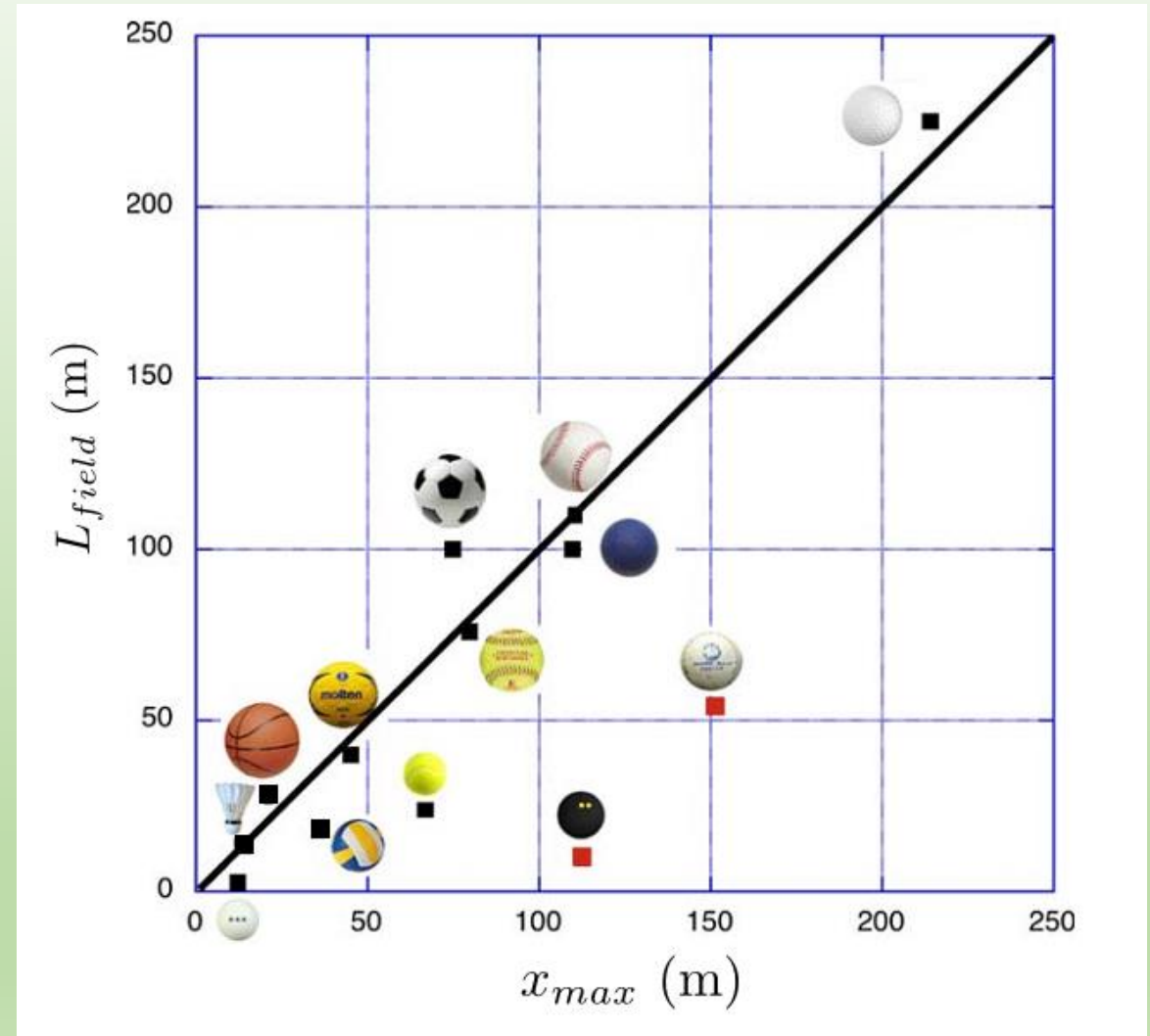
- tenere la palla in campo è difficile

punto perso se la palla esce

- palla nell'altro campo con un colpo

rete per aumentare la difficoltà

possibile punto diretto



Gittata e dimensioni del campo

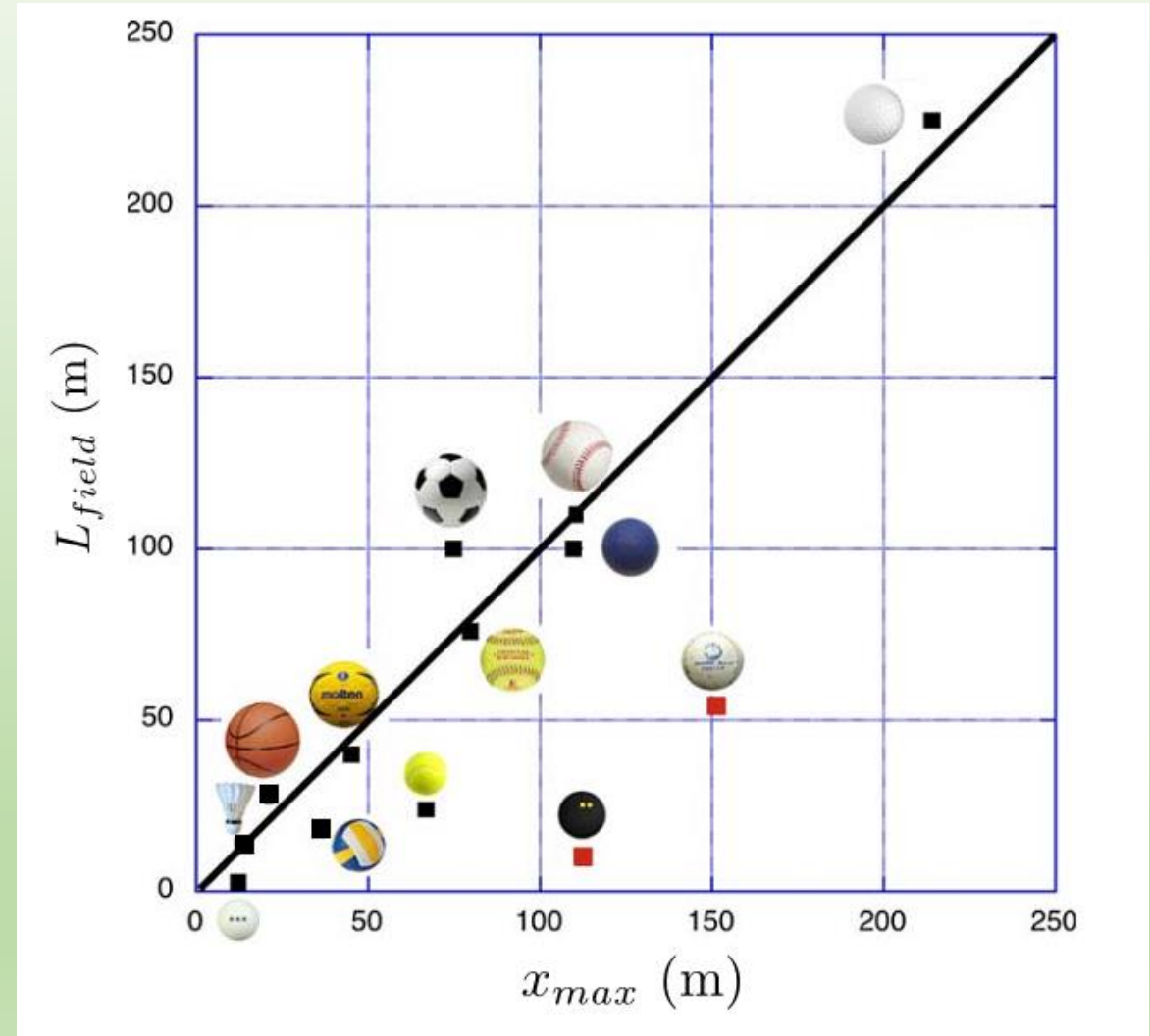
Sport molto sotto la linea (squash, jaialai):

-Il campo è molto più piccolo della gittata massima

-difficilissimo tenere la palla in campo.....

-infatti il campo non è aperto

-la palla è giocabile anche se rimbalza sulle pareti laterali



Aggiungiamo una variabile: il tempo

- Il tempo di arrivo al suolo della palla misura quanto tempo ha l'avversario per prenderla
- Quanto tempo impiega una palla a tornare al suolo?

$$\tau = \frac{L_{campo}}{v_0} \quad \text{Calcio} \quad \tau = \frac{100}{50} \approx 2 \text{ s} \quad \text{Tennis} \quad \tau = \frac{24}{70} \approx 0.34 \text{ s}$$

- Rilevante il legame tra tempo di volo e tempo di reazione
- Tempo di reazione?

Tempo di reazione

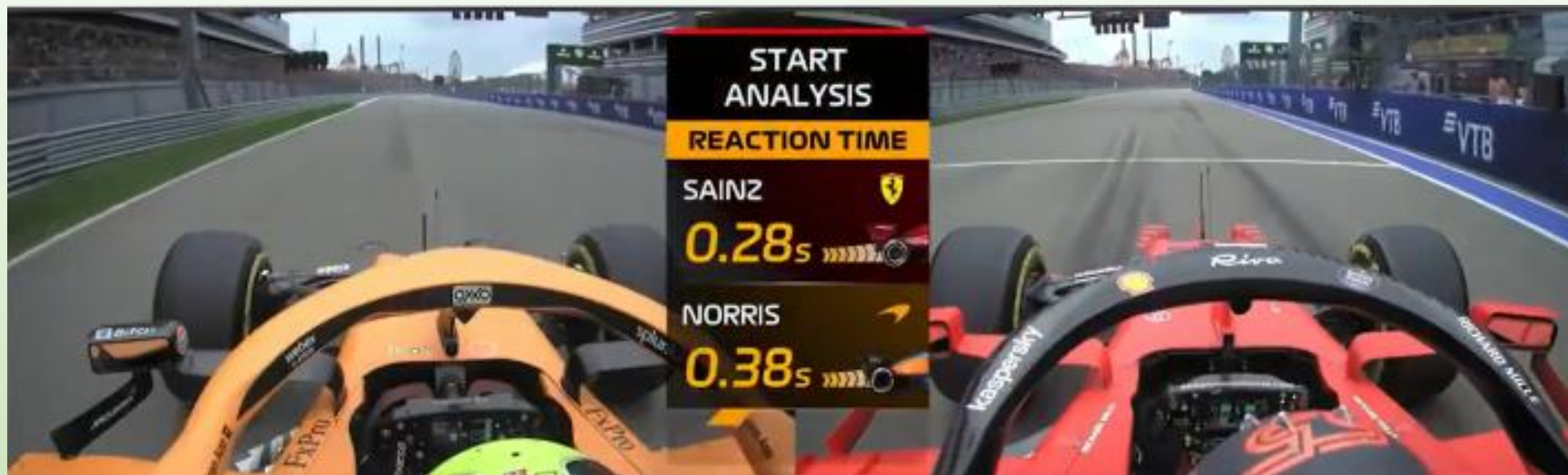


| Race Results | | | | | | |
|--------------|------|------------|---------------------------|---------------|-------------|------------|
| Rank | Lane | Bib Number | Name | Reaction Time | Result | |
| 1 | 3 | 2428 | ITA JACOBS Lamont Marcell | 0.161 | 9.80 | <u>AR</u> |
| 2 | 5 | 3940 | USA KERLEY Fred | 0.128 | 9.84 | <u>PB</u> |
| 3 | 9 | 1425 | CAN de GRASSE Andre | 0.155 | 9.89 | <u>PB</u> |
| 4 | 2 | 3435 | RSA SIMBINE Akani | 0.141 | 9.93 | |
| 5 | 7 | 3903 | USA BAKER Ronnie | 0.148 | 9.95 | |
| 6 | 6 | 1499 | CHN SU Bingtian | 0.167 | 9.98 | |
| | 8 | 3056 | NGR ADEGOKE Enoch | 0.157 | <u>DNF</u> | |
| | 4 | 2051 | GBR HUGHES Zharnel | | | TR 16.8 |

Stimolo noto e azione semplice

Tempo di reazione dell'ordine di 100-200 ms

Tempo di reazione



Stimolo noto e azione complessa

Tempo di reazione dell'ordine di 300-400 ms

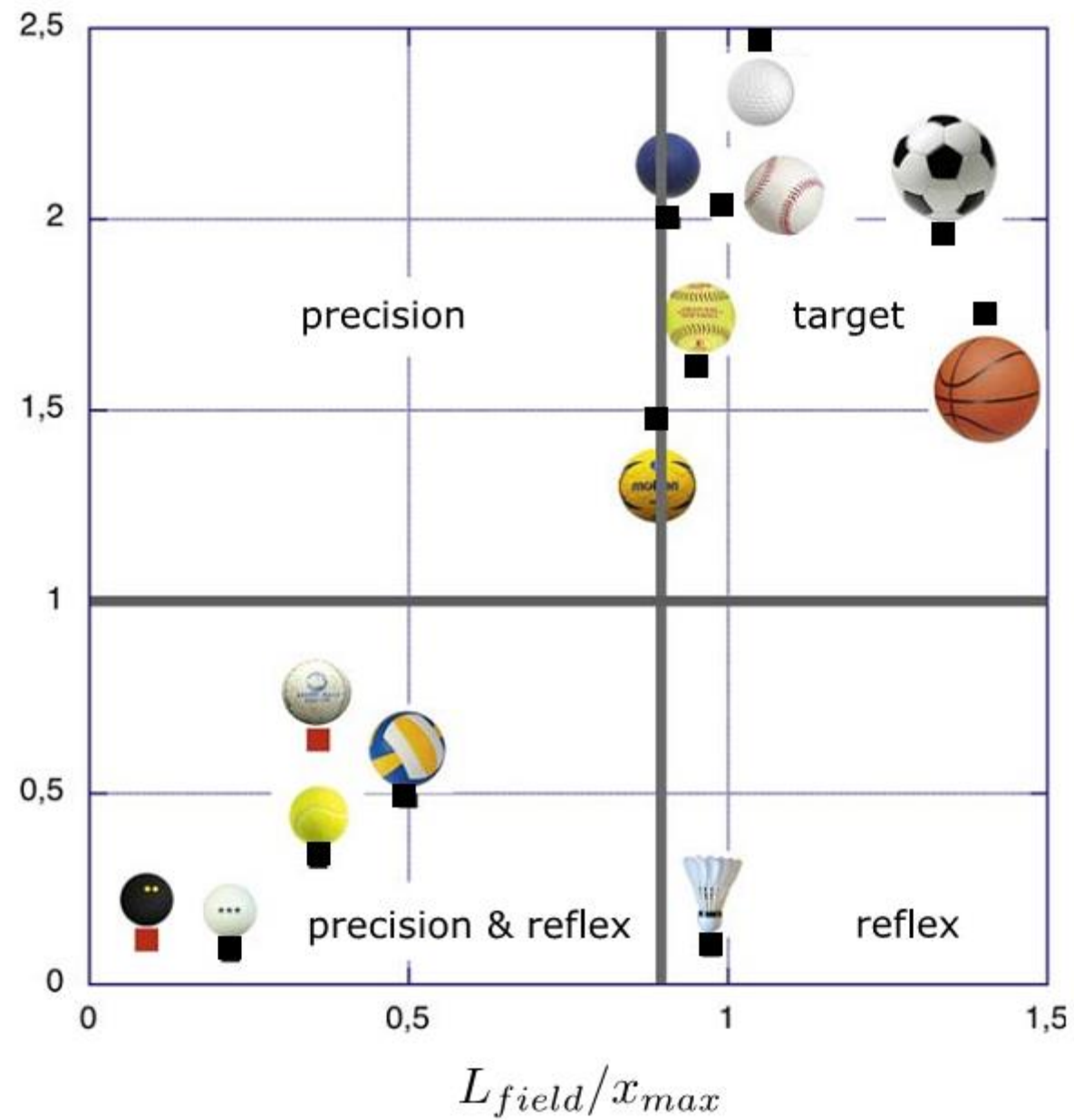
Tempo di reazione

| Tests | Sprinters | Volleyball players |
|--|----------------|--------------------|
| Auditory choice RT | 474.68 ±61.74 | 704.86 ±83.60 |
| Auditory complex choice RT | 469.68 ±57.16 | 771.72 ±171.25 |
| Visual choice RT | 385.45 ±37.87 | 385.27 ±30.99 |
| Visual complex choice RT | 494.22 ±50.56 | 486.18 ±54.10 |
| Anticipatory skill of high speed of ball | 465.03 ±318.78 | 138.24 ±47.16 |
| Anticipatory skill of low speed of ball | 694.87 ±774.67 | 141.48 ±73.21 |

Stimolo e azione complessi

Tempo di reazione fino a 800 ms

L. Nuri et al «Reaction time and anticipatory skill of athletes in open and closed skill-dominated sport», European Journal of Sport Science, 2012, 1-6



Conclusioni

- I giochi con la palla sono condizionati da vari fenomeni fisici
- Il moto di una palla negli sport non è parabolico e non è banale da descrivere
- Le regole dei vari giochi, seppur empiriche, sono strettamente correlate alla fisica del moto della palla
- Il metodo fisico di analisi consente di comprendere in dettaglio anche i fenomeni apparentemente poco....scientifici