

U.T.E.

# BICICLETTA: CHE PASSIONE!



Gianantonio Magnani  
Stefano Mantica  
Franco Cecchetti



Lezione 2/4

## Fisica del movimento della bicicletta

13 febbraio 2025

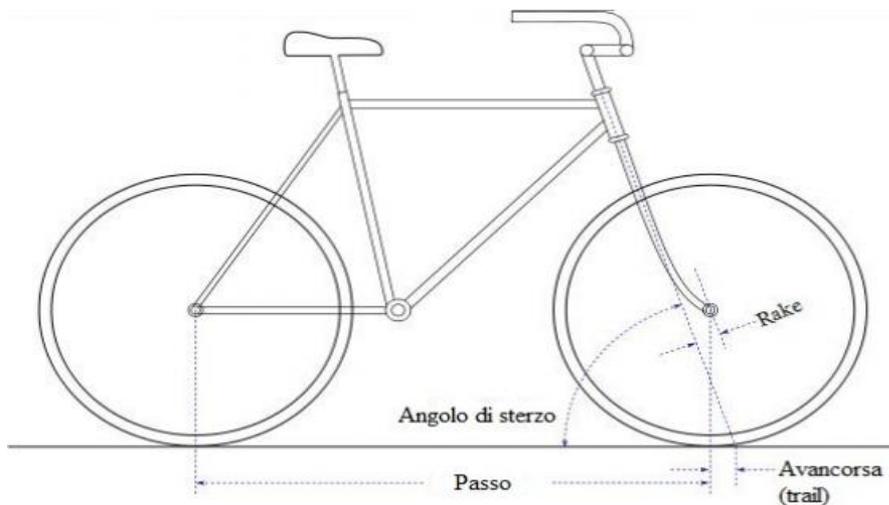
# Argomenti

- **Come guidiamo la bicicletta ovvero come restare in equilibrio**
- **Forza e potenza (e energia)**
- **Il movimento longitudinale della bicicletta (*dalla forza impressa ai pedali*): forza (potenza) motrice e forze (potenze) resistenti**
- **Forza motrice (*muscolare o assistita*)**
- **La forza di gravità (*definizione di pendenza della strada*)**
- **Forze resistenti**
  - **Attrito con l'aria (il vento)**
  - **Attrito pneumatico-strada**
  - **Attrito nella catena e nelle parti rotanti**

# Come si guida la bicicletta

Mantenere l'equilibrio attorno alla posizione verticale che è una posizione di equilibrio instabile

Da spiegare a voce



Life is like riding a bicycle.  
To keep your balance you must keep moving  
Albert Einstein

Avancorsa (o trail o rake)  
fondamentale per stabilità e  
maneggevolezza

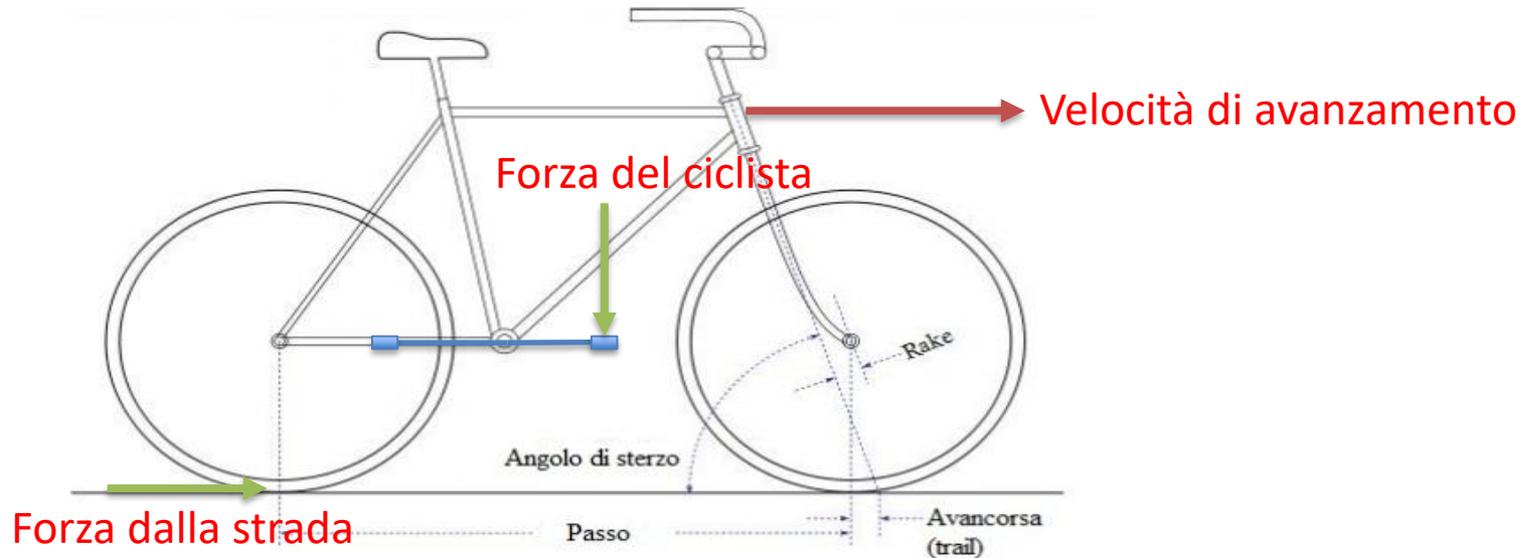
Se si va troppo piano non si riesce a tenere l'equilibrio

[https://www.bklk.it/it/?s=magnani&category\\_name=&submit=Search](https://www.bklk.it/it/?s=magnani&category_name=&submit=Search)

# Studio del moto: da dove si parte

Studiamo il movimento **longitudinale** della bicicletta a partire dalla forza / potenza impressa dal ciclista sui pedali

Nella prossima lezione vedremo come il ciclista produce tale forza / potenza e come fare per produrla nel modo più efficiente



# Forze agenti su bici e ciclista

**forza** è una grandezza fisica in grado di **mantenere** o di **variare** lo stato di **quiete** o di **moto** di un corpo

Si misura in Newton – in passato in kilogrammi(peso) (Kg) ( $1 \text{ Kg} \cong \text{circa } 10 \text{ N}$ )

## Forze che agiscono su bicicletta e ciclista



# Il movimento longitudinale

**Il movimento longitudinale nasce dal confronto della spinta del ciclista con le forze resistenti di attrito e gravità**

Si hanno tre casi:

- Se prevale la spinta la bicicletta **accelera** (aumenta la velocità)
- Se prevalgono le resistenze e la gravità (in salita) la bici **decelera**
- Se spinta e resistenze si equivalgono la bici procede a **velocità costante**

Ad ogni forza si può associare una **potenza**, e i tre casi si possono **descrivere anche utilizzando le potenze**

- Se la potenza impressa ai pedali dal ciclista supera le potenze resistenti e della gravità la bicicletta **accelera**
- Se le potenze resistenti e di gravità (in salita) prevalgono sulla potenza sviluppata dal ciclista la bici **decelera**
- Se le potenze del ciclista (motrice) e resistenti si equivalgono la bici procede a **velocità costante**

# Forza e potenza (e energia) (definizioni intuitive e semplificate)

**Potenza = prodotto della forza per la velocità** (esempio illustrativo)

**Energia = prodotto della potenza per il tempo** e anche

**Potenza = energia diviso tempo**

La potenza si misura in **Watt** (o anche in **Kilowatt**)

L'energia si misura in **Joule**. O anche in **calorie** (caloria = 4.184 Joule) o kilocalorie. O anche in **Kilowattora** se le energie sono molto elevate

Un esempio

Un amatore «non più giovane» ma allenato bene può sviluppare 400 watt per 10 s e 200 watt per un'ora

Nel primo caso: energia prodotta =  $400 \times 10 = 4000$  Joule = 956 calorie

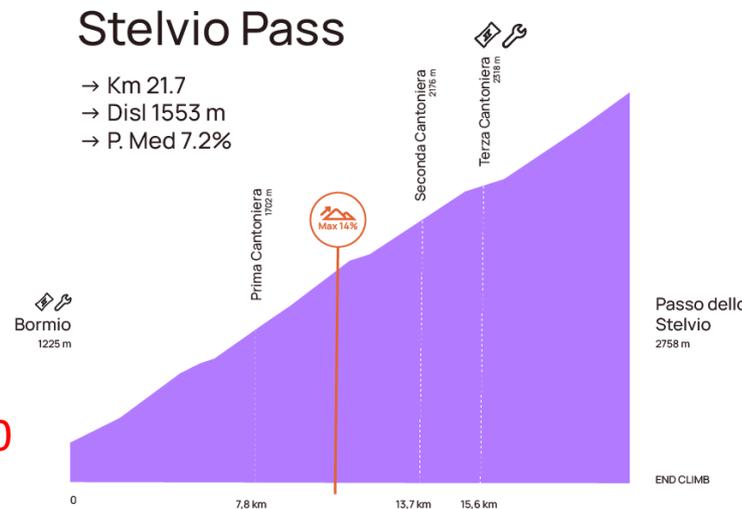
Nel secondo caso: energia prodotta =  $200 \times 3600 = 720000$  Joule = 172 Kilocalorie

(NB Le Kilocalorie di un etto di un dolce sono circa 400-500. attenzione però: il rendimento nella trasformazione da energia metabolica a energia meccanica è 20-25% per cui 400-500 Kcal di torta diventano 80-125 Kcal (=335-523 KJoule)

# Potenza e energia (definizioni intuitive e semplificate)

**Potenza (media) = energia diviso tempo**

Esempio Salita Bormio – passo dello Stelvio – Peso Ciclista + Bici = 80 Kg



Passo Stelvio: 2758 mslm

Dislivello: 1553 m

Km: 21.7

Energia (potenziale): 2206

KJoule

Variazione energia: 1226 KJ

Bormio: 1225 mslm

Energia (potenziale): 980

KJoule

Per salire in 2 ore (7200 s) necessaria potenza di 170 watt ( $1226000/7200$ ) oltre a quelle, molto più piccole, per vincere le altre resistenze

La velocità sarebbe 10,5 Km/ora e il dislivello/ora (velocità ascensionale media VAM) 776,5 metri/ora

# Potenza e energia (definizioni intuitive e semplificate)

## Energia come potenza disponibile

### Analogia

**Bacino:** contiene **acqua** (mcubi) e entrano e escono **portate d'acqua** (mcubi al secondo)

**Corpo umano:** contiene **energia** (Joule) che entra con il cibo ed esce in forma di **potenza meccanica** (Joule al secondo = watt) con il movimento

**Batteria:** contiene **energia** (wattora = volt per ampereora  $\rightarrow$  Joule) ed entra (in carica) ed esce in forma di **potenza elettrica** (volt per ampere  $\rightarrow$  watt)



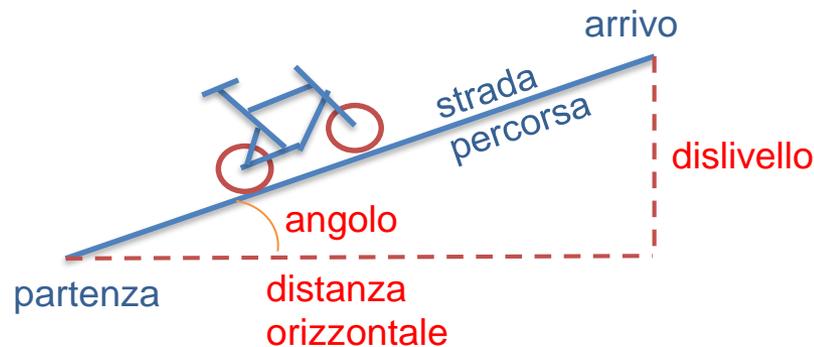
# La forza e potenza di gravità

La forza / potenza più importante per un ciclista è quella associata di gravità, che dipende dalla pendenza della strada

Definizione di pendenza della strada

La pendenza media di una strada è il **dislivello** tra punto di partenza e il punto di arrivo **diviso per la distanza in orizzontale**

Per le pendenze pedalabili (< 20%) è all'incirca **il dislivello diviso la strada percorsa**

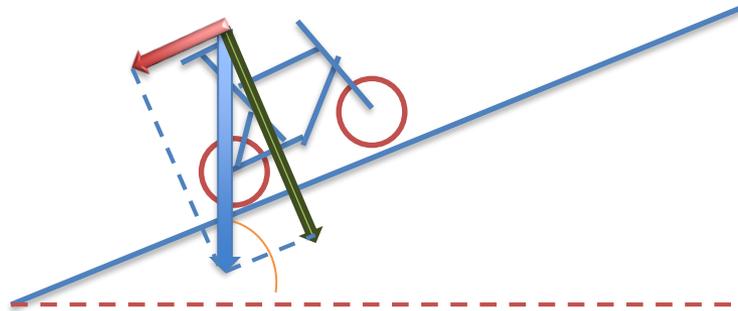


angolo gradi	pendenza esatta	Pendenza approx
0	0,00%	0,00%
1	1,75%	1,75%
2	3,49%	3,49%
3	5,24%	5,23%
4	6,99%	6,98%
5	8,75%	8,72%
6	10,51%	10,45%
7	12,28%	12,19%
8	14,05%	13,92%
9	15,84%	15,64%
10	17,63%	17,36%
45	100,00%	70,71%

Il dislivello fatto in un'ora è la **Velocità Ascensionale Media (VAM)** in **metri all'ora**

# La forza e potenza di gravità

La forza di gravità è data dal peso di bicicletta e ciclista. Ad esempio 10 + 70 Kg, cioè circa 800 Newton. Ha una componente parallela alla strada che si oppone all'avanzamento in salita, che aumenta con la pendenza



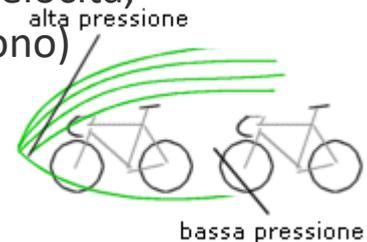
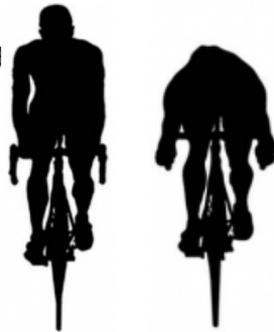
Per la forza di gravità, la VAM che un ciclista può sviluppare è fortemente legata alla **potenza** e al **peso** del ciclista. Il parametro che meglio caratterizza la capacità di un ciclista di affrontare le salite è la sua potenza specifica **watt per chilo!**

Attenzione la VAM dipende anche dalla **pendenza** della strada! I confronti vanno fatti a parità di pendenza.

# Forze di attrito con l'aria

## La resistenza aerodinamica dipende da:

- **Velocità**. La resistenza aerodinamica cresce proporzionalmente con il **quadrato della velocità**. Ad esempio se servono 100 watt per andare a 20 Km/ora ne servono 400 per andare a 40 Km/ora. Attenzione: se c'è vento si deve sommare la velocità del vento contrario e sottrarre quella del vento a favore
- **area frontale** (A) : è l'area del ciclista calcolata frontalmente nel senso di marcia. Dipende dalla **posizione del ciclista** sulla sella.
- **coefficiente di resistenza aerodinamica** (Cd) : è un numero adimensionale che descrive la capacità di penetrazione dell'aria del ciclista + bici
- Cd x A è il più noto **Cx** di cui si parla per le automobili
- **densità dell'aria**, che dipende dalla quota rispetto al livello del mare
- **«scia»** di altri ciclisti, molto importante per velocità elevate (dipende da velocità, distanza da chi ci precede e sua «stazza», numero di ciclisti che ci precedono)



Cit. pianetaciclismo e rivaluta.it

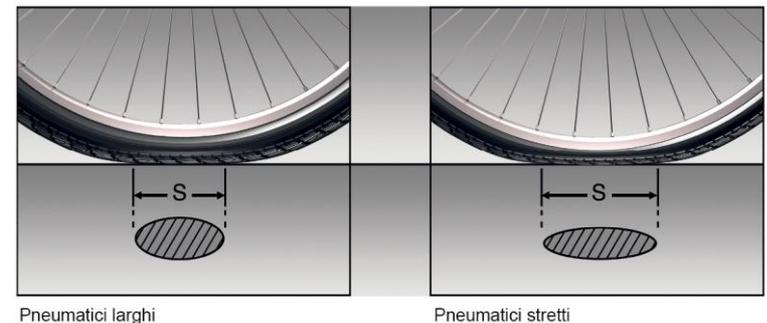
# Forze di attrito: pneumatico strada

La resistenza al rotolamento:

- è proporzionale al **peso** del ciclista e dipende da
- **pressione**, diametro, **larghezza**, costruzione e battistrada dello pneumatico Dati e confronti si possono trovare qui <https://www.bicyclerollingresistance.com/road-bike-reviews>
- **condizioni stradali**

(Schwalbe) Su una superficie omogenea: + pressione – deformazione – resistenza  
Nel fuoristrada è il contrario! – pressione si adatta meglio alle asperità  
Pneumatici + larghi scorrono meglio di quelli stretti – vedere in figura la differente deformazione

Sulla pressione (Canyon), se pesi 70 kg. gonfiare  
a 7,6 bar uno pneumatico largo 23 mm  
a 6,7 bar uno da 25 mm  
a 5,7 bar uno da 28 mm



Un sito molto informative in generale <http://www.pianetaciclismo.com/about.html>

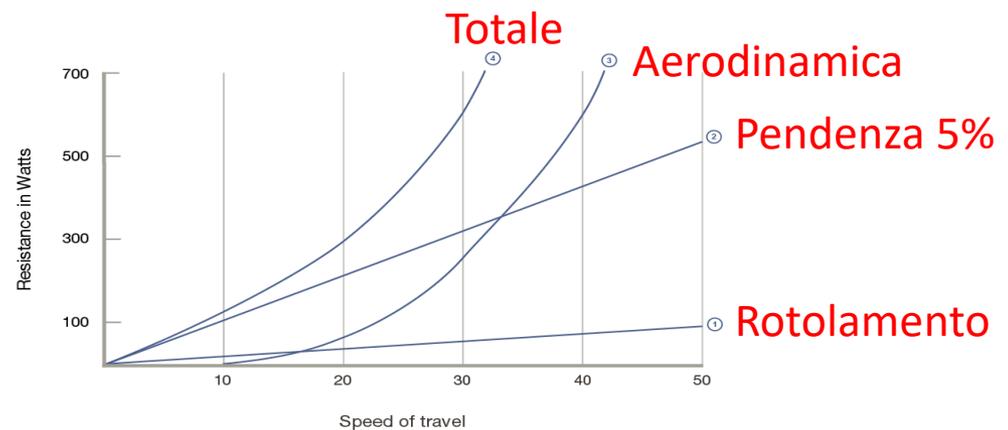
# Forze di attrito: trasmissione e parti rotanti

La resistenza di attrito di trasmissione e parti rotanti dipende da:

- Attrito nei cuscinetti delle ruote
- Attrito tra catena e corona e pignoni
- Attrito nel movimento centrale

Sono in generale valori piccoli, trascurabili rispetto a gravità e aerodinamica e velocità non troppo piccole.

Sono influenzati dalla **dimensione dei rapporti** sui cui scorre la catena (+ piccoli + perdite – da 5 o 8 watt), e dalla **linea catena non ottimale** (con incroci eccessivi si possono dissipare fino a 10 watt)



# Il movimento longitudinale in salita

## Pedalare in salita: la cosa più difficile

Una semplice relazione valida per pendenze inferiori al 10%

$$potenza [W] \cong mgvp$$

essendo

- $m$  massa (peso) di ciclista + bici [Kg]
- $v$  velocità di avanzamento [m/s]
- $p$  pendenza della strada [p.u. per unità]
- $g$  Accelerazione di gravità 9.8 [m/s<sup>2</sup>]

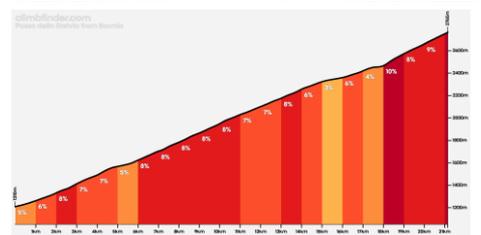
Permette di calcolare un limite superiore della velocità che un ciclista può tenere per una data pendenza nel caso ideale di attriti nulli in funzione della sua potenza

$$v_{lim} = \frac{potenza}{m g p}$$

Esempio

Massa ciclista+bicicletta 80 Kg, pendenza=10% (=0.1 p.u.), potenza = 200 W

$$v_{lim} = 2.5 \text{ m/s} = 9 \text{ Km/h}$$



# Il movimento longitudinale in salita

## Pedalare in salita: la cosa più difficile

La stessa relazione

$$\text{potenza [W]} \cong mgvp$$

sempre per pendenze inferiori al 10% permette anche di calcolare la  $VAM_{lim}$  in funzione della potenza del ciclista.

$$VAM_{lim} = \frac{\text{potenza} \times p}{mgp} = \frac{\text{potenza}}{mg}$$

Stesso esempio

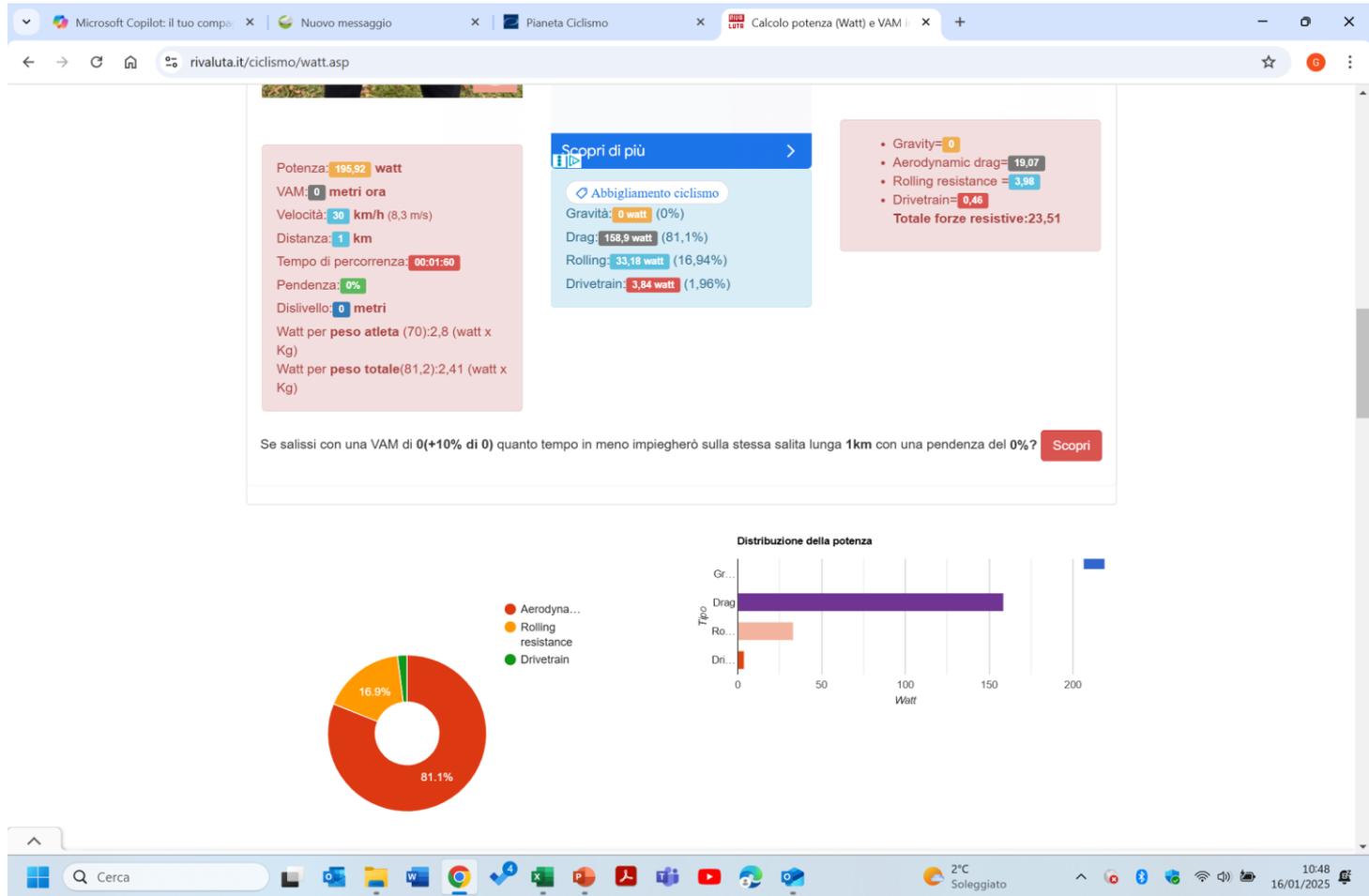
Massa ciclista+bicicletta 80 Kg, pendenza=10% (=0.1 p.u.), potenza = 200 W

$$VAM_{lim} = 0,25 \text{ m/s} = 900 \text{ m/ora}$$

Se cambio bicicletta posso andare più forte?

# Il movimento longitudinale in piano

## Pedalare in piano (a velocità costante)



<https://www.rivaluta.it/ciclismo/watt.asp>

# Quando si vuole cambiare velocità?

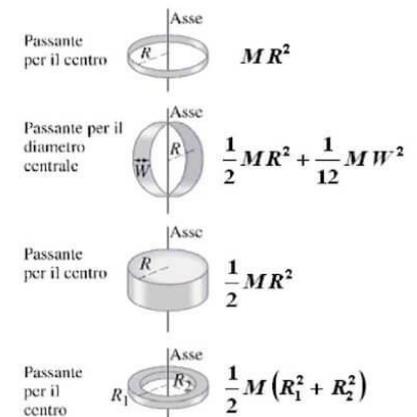
## Contano anche le inerzie

La variazione di velocità (accelerazione) è contrastata da

- peso (meglio massa) di bici e ciclista
- Inerzia delle parti rotanti

La «resistenza» alla variazione di velocità di rotazione (numero di giri nell'unità di tempo) è proporzionale al peso (massa) di cerchio+copertoncino+camera d'aria e al quadrato della distanza di questi dal centro della ruota

Copertoni più larghi e pesanti «rallentano» di più



# Fine



## Grazie!

