

AA 2011-2012



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA TOR VERGATA
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA
LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE MOTORIE



Insegnamento di
BIOMECCANICA

Prof.ssa Maria Guerrisi
Dott. Pietro Picerno

Programma del corso

MODULO 1: Introduzione alla biomeccanica

MODULO 2: Misura e stima

MODULO 3: Centro di massa

MODULO 4: Analisi del salto verticale

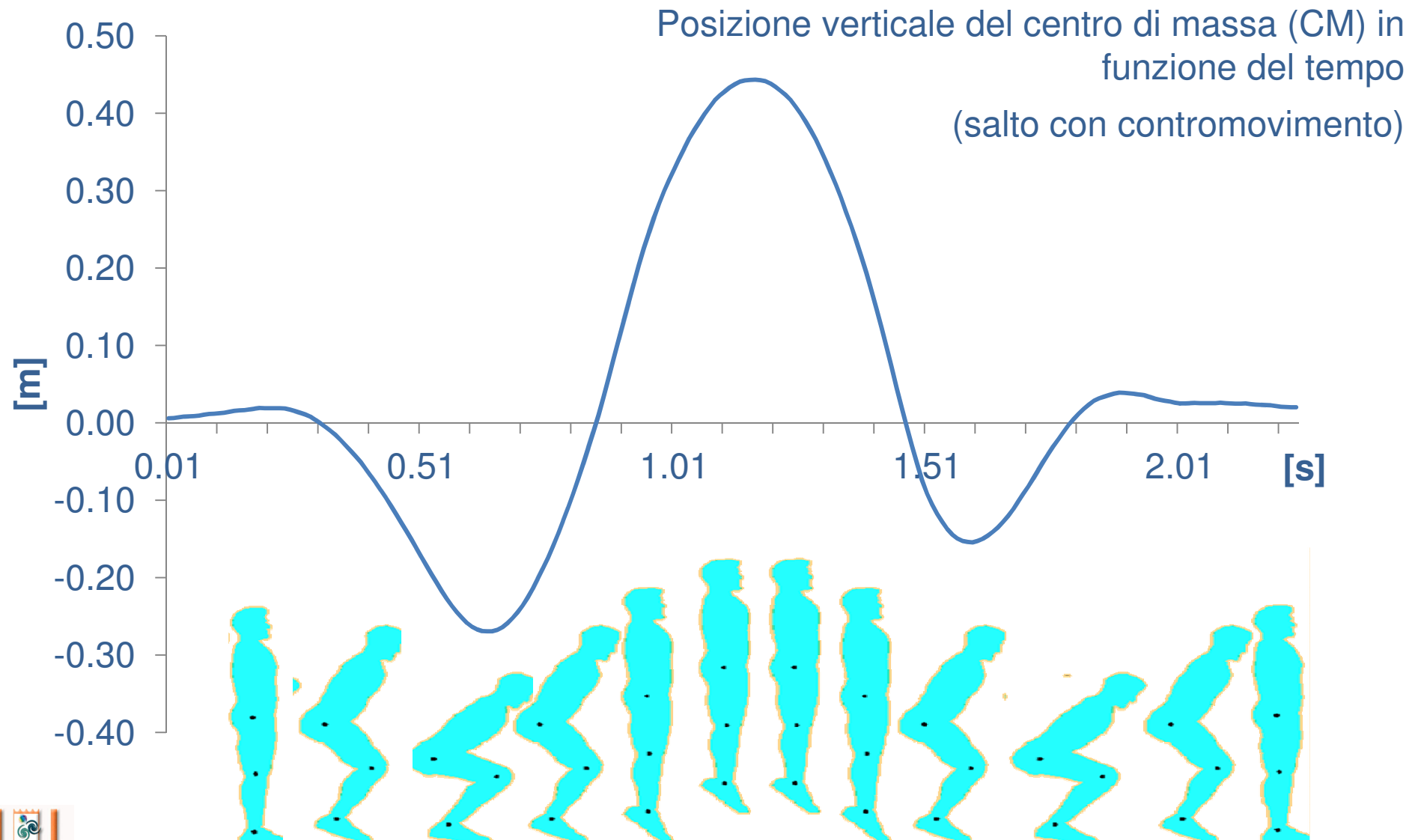
MODULO 5: Analisi del cammino

MODULO 6: Macchine da muscolazione

Modulo 4

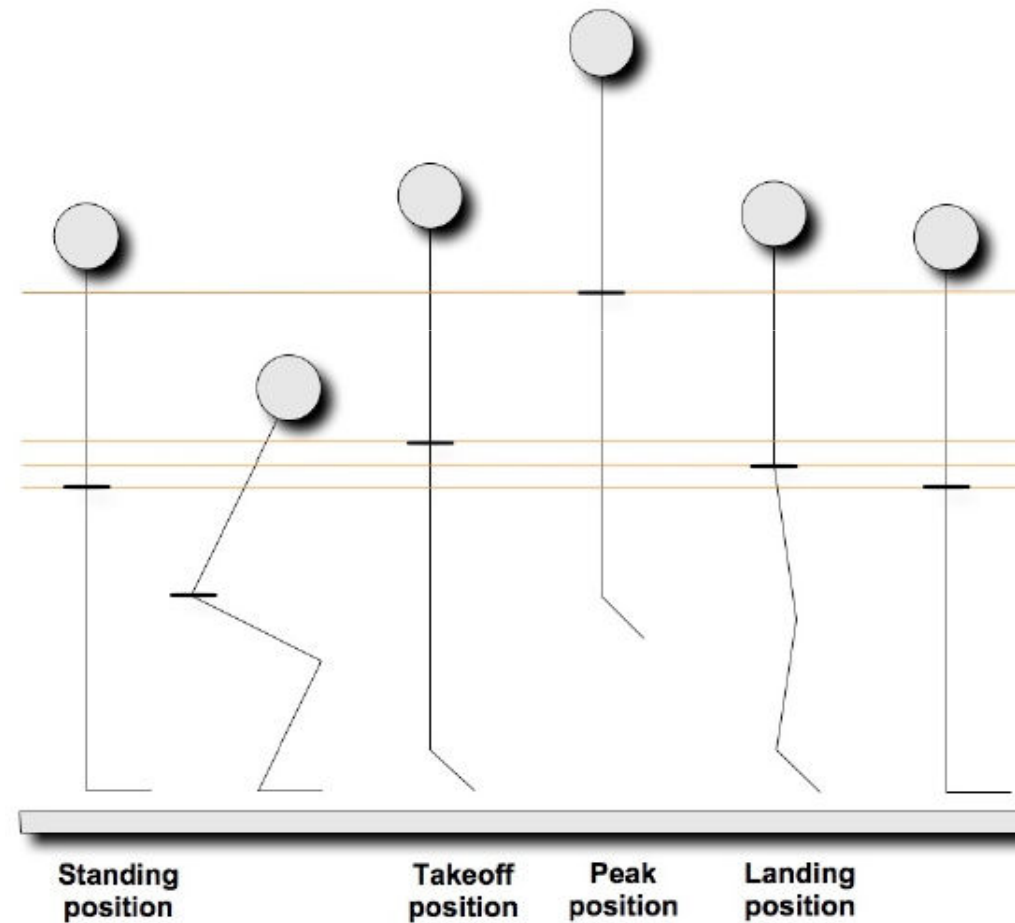
Analisi del salto verticale

Analisi qualitativa del gesto



Caratterizzazione del compito motorio

Suddividere il gesto nelle sotto-fasi che lo compongono



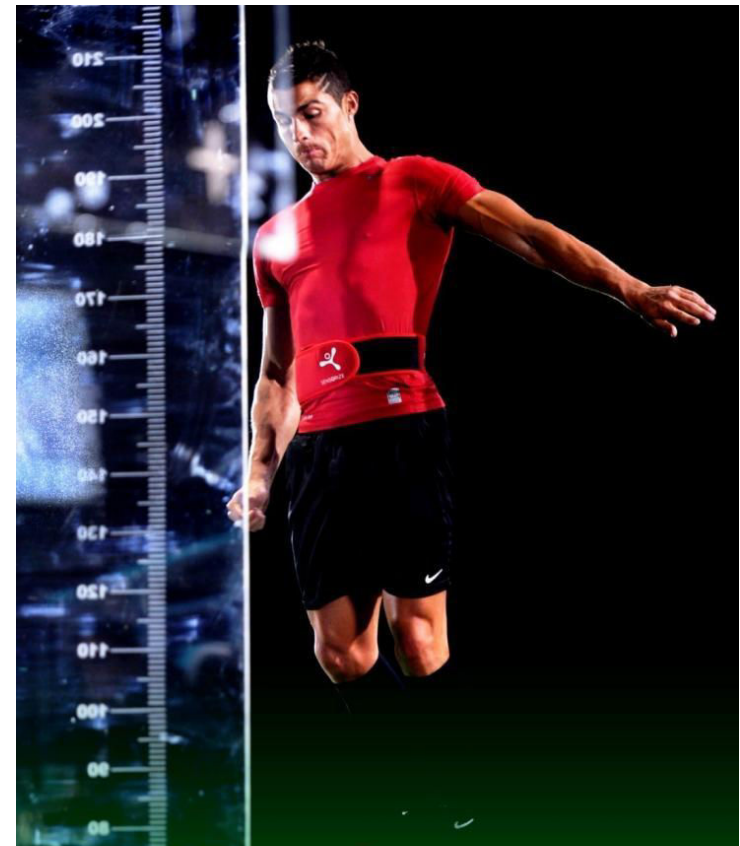
Come analizzare il compito motorio

In cosa consiste il compito motorio?

- muovere il proprio corpo verso l'alto

Qual è l'obiettivo finale dell'analisi?

- misurare/stimare l'elevazione



Come analizzare il compito motorio

In cosa consiste il compito motorio?

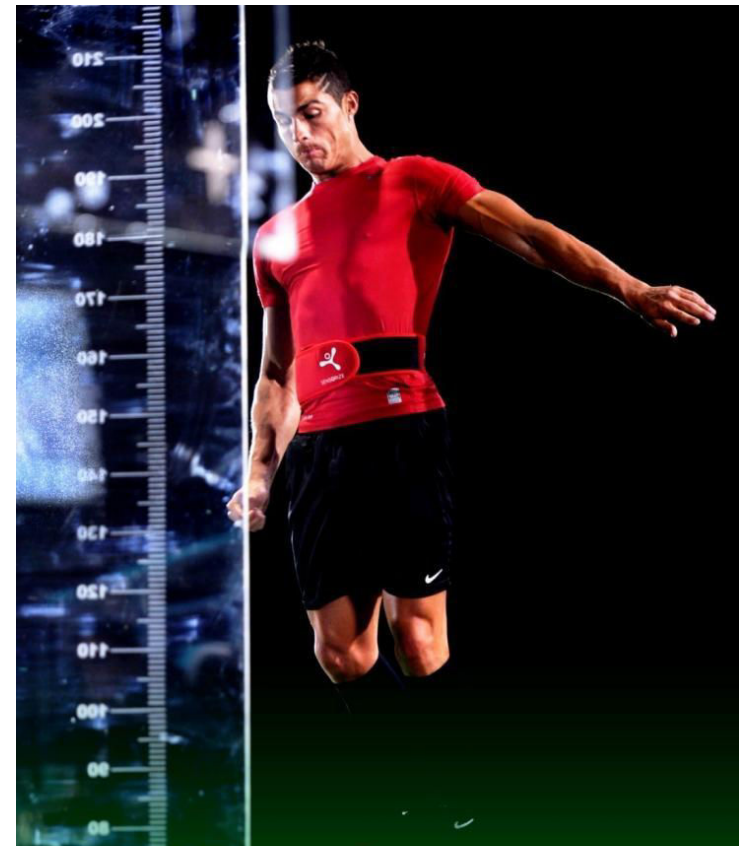
- muovere il proprio corpo verso l'alto

Qual è l'obiettivo finale dell'analisi?

- misurare/stimare l'elevazione



differenza?



Come analizzare il compito motorio

In cosa consiste il compito motorio?

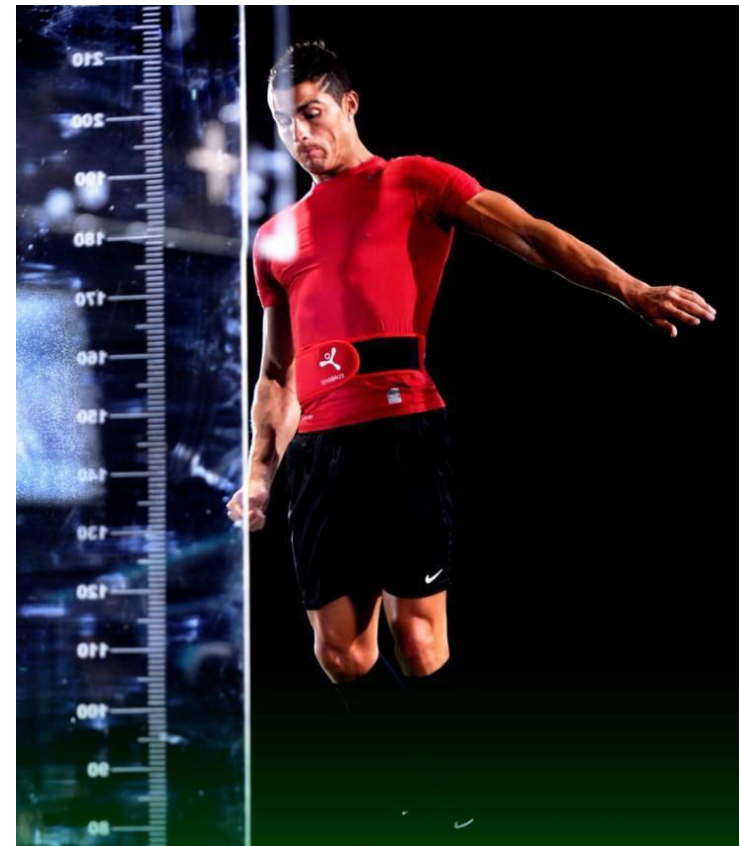
- muovere il proprio corpo verso l'alto

Qual è l'obiettivo finale dell'analisi?

- misurare/stimare l'elevazione



di quale punto del corpo?

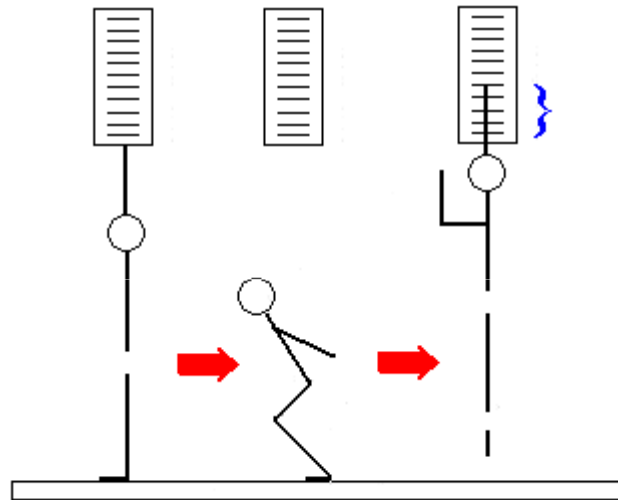


Il centro di massa (CM)

- E' l'unico punto del nostro corpo che, durante il volo, si muove di moto balistico perché soggetto alla sola forza peso.
- La sua traiettoria non può essere modificata.
- Il resto dei segmenti corporei possono ruotare

Misure semplici

Il “Sargent test” (1921)



Misure semplici

Il “Sargent test” (1921)



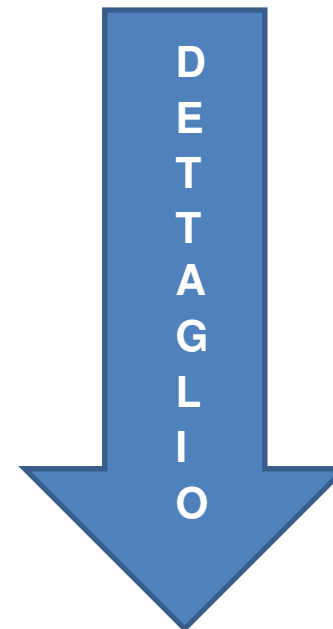
DOMANDE:

- qual'è la risoluzione della misura?
- qual è la sensibilità dello strumento?
- qual è l'affidabilità della misura?

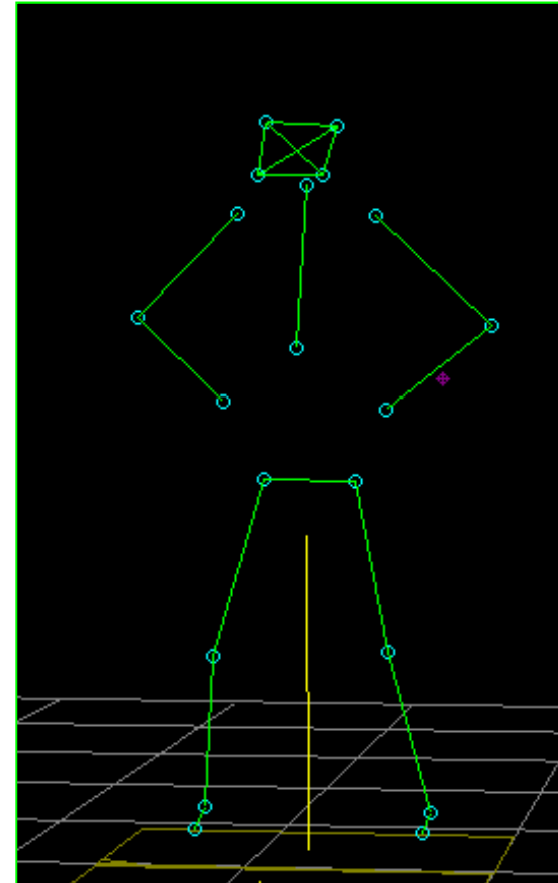
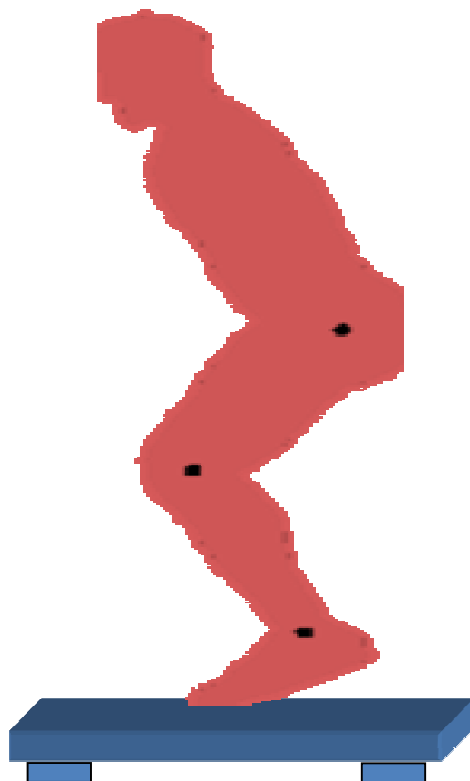
Cinematica del CM

La cinematica del CM del corpo durante salto verticale può essere ottenuta a partire dalla misura di grandezze differenti:

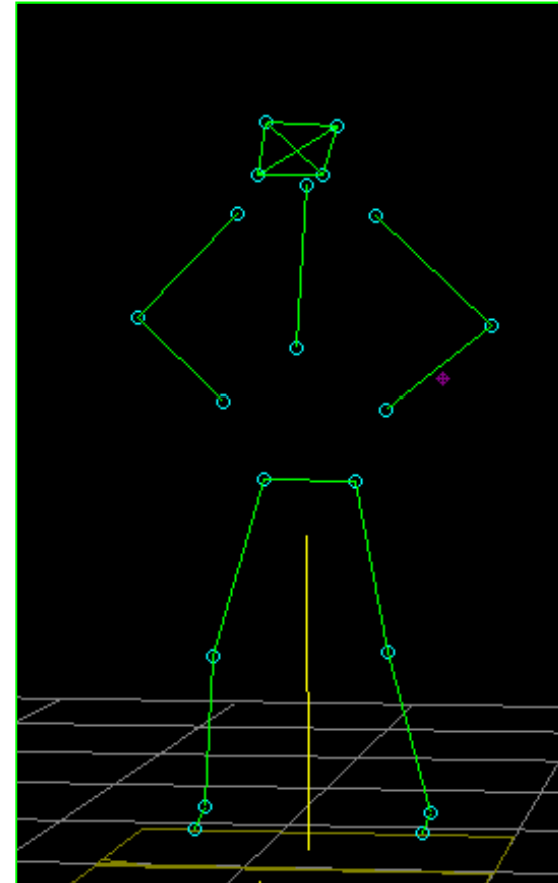
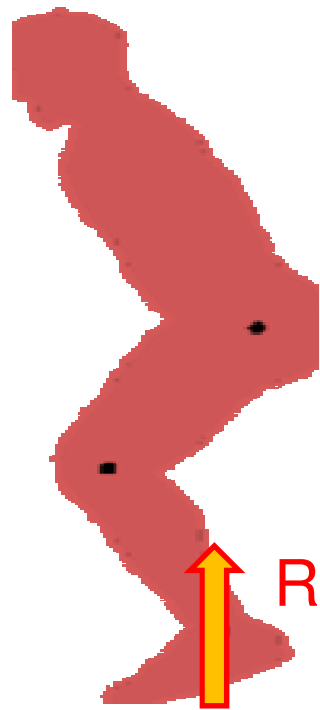
- 1 - Misura delle reazioni vincolari
- 2 - Stima della posizione del CM
- 3 - Misura del tempo di volo



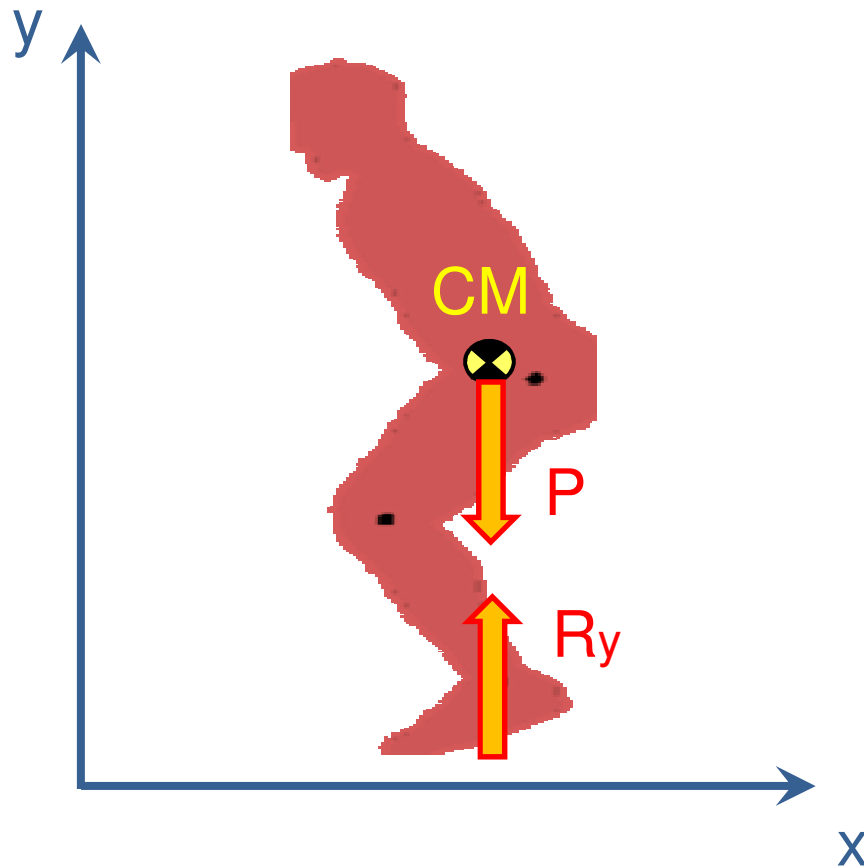
1- Misura delle reazioni vincolari



1- Misura delle reazioni vincolari



1- Diagramma del corpo libero

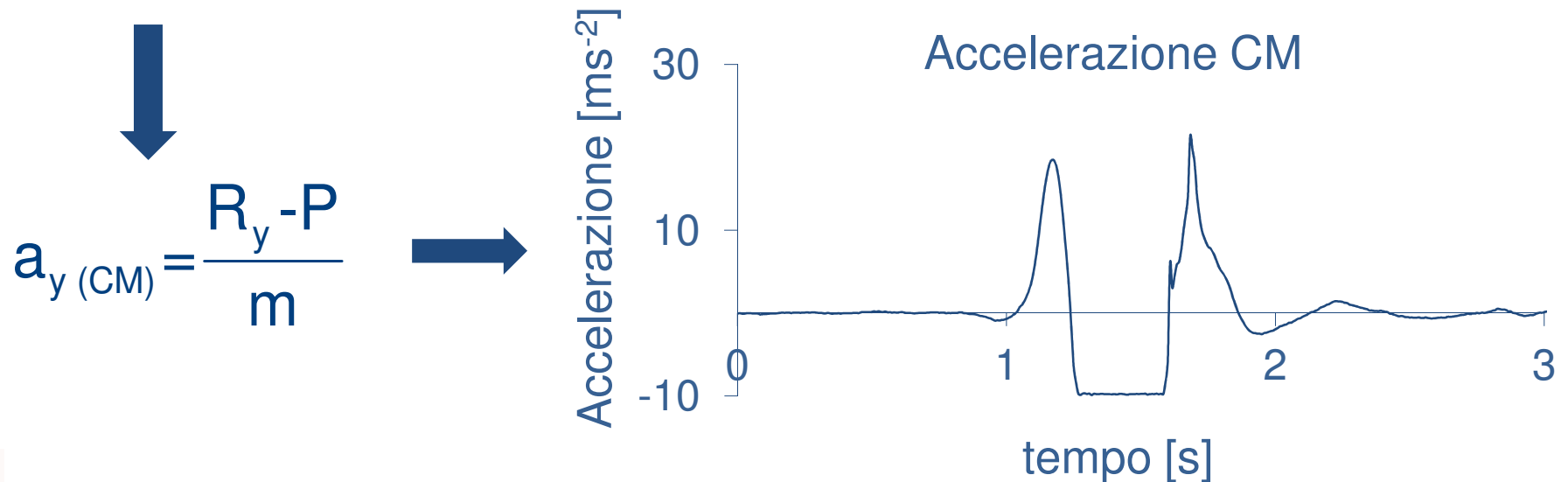
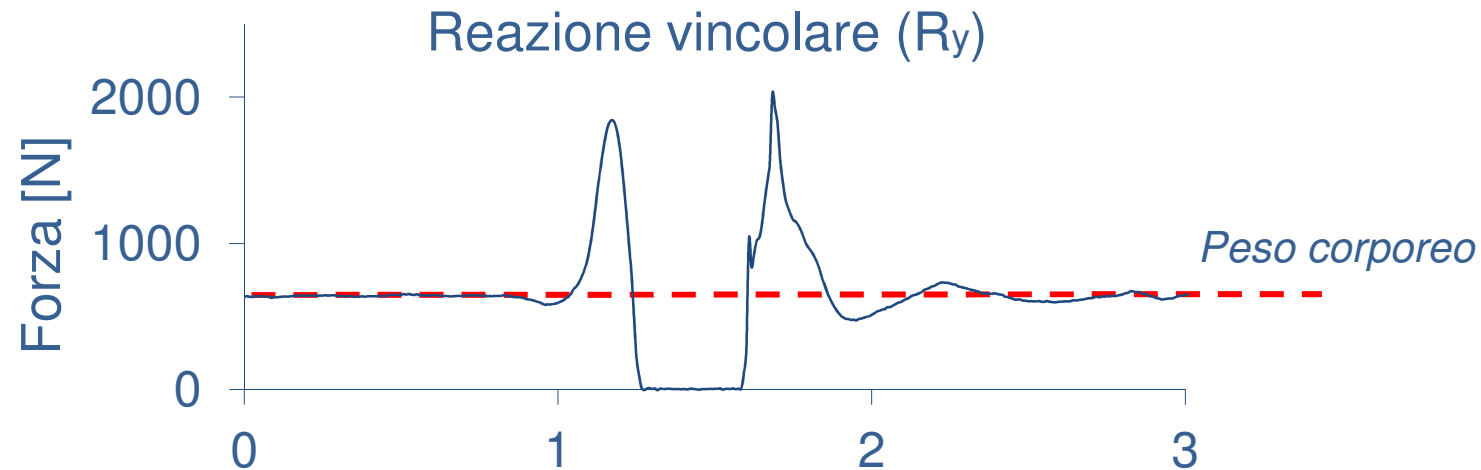


$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

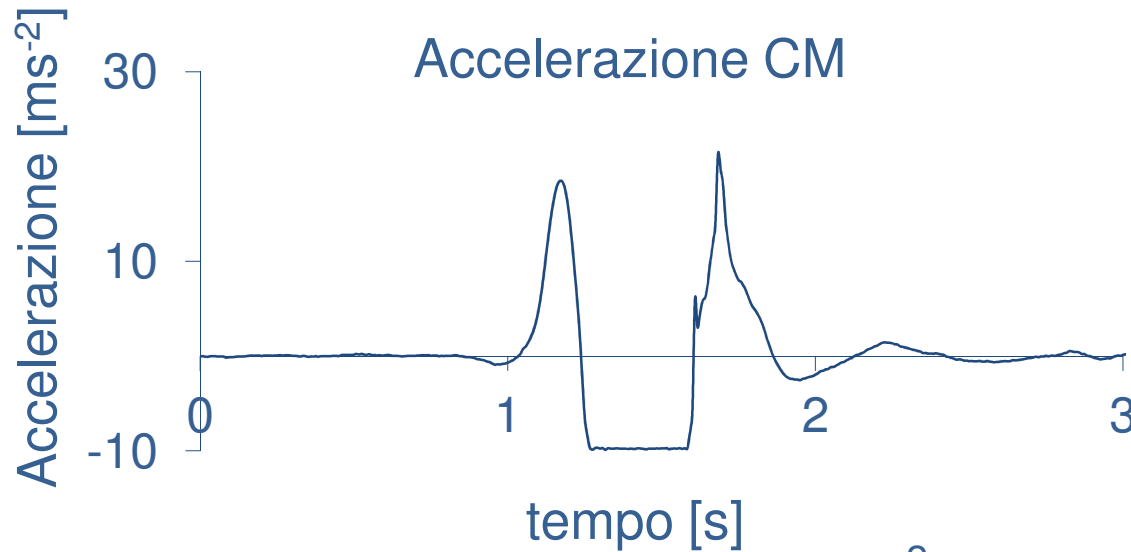


$$R_y - P = m \cdot a_{y \text{ (CM)}}$$

1- Misura delle reazioni vincolari



1- Misura delle reazioni vincolari



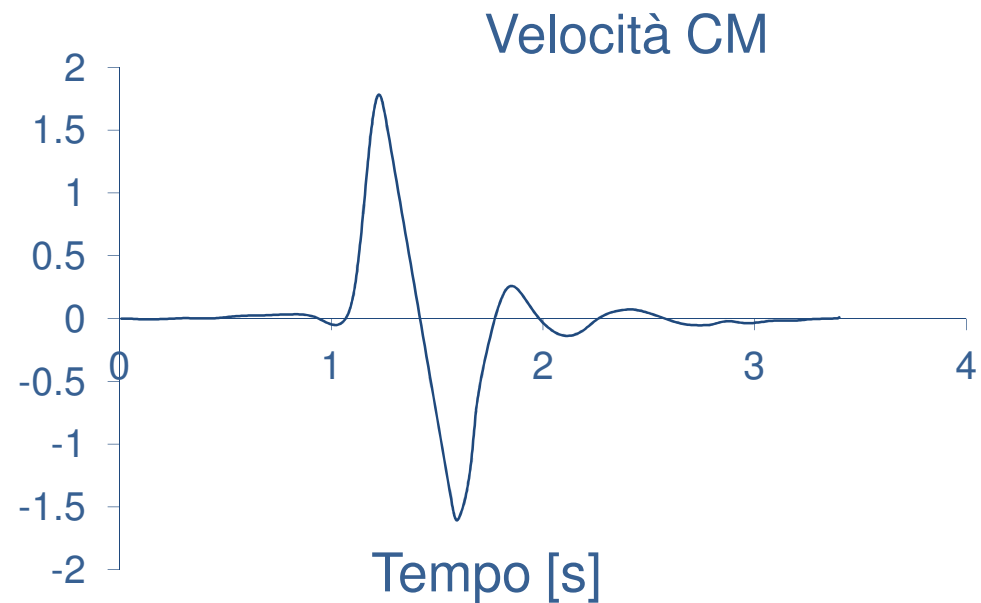
$$\text{se } a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$



$$v = v_0 + a \cdot (t - t_0)$$



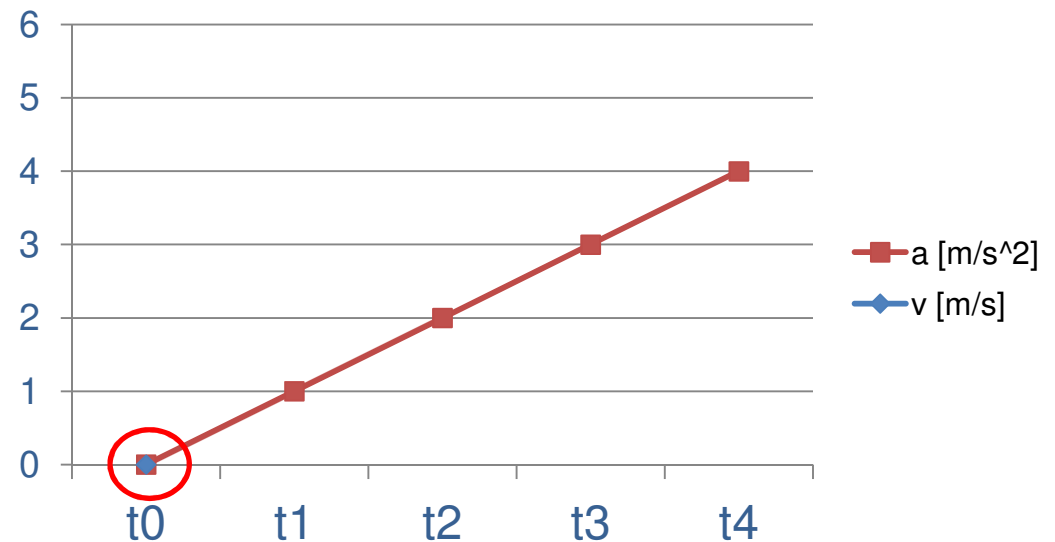
velocità [m/s]



Calcolo integrale

istante	Δt [s]	a [m/s ²]	v [m/s]
t_0	1	0	0
t_1	1	1	
t_2	1	2	
t_3	1	3	
t_4	1	4	

- l'accelerazione è misurata
- gli intervalli di tempo (campionamento del dato) sono pari a 1 s
- dobbiamo calcolare, per ciascun istante di tempo t , la velocità
- supponiamo che il punto parte da fermo e la sua accelerazione, e quindi anche la sua velocità, sono pari a zero in t_0



Calcolo integrale

istante	Δt [s]	a [m/s ²]	v [m/s]
t_0	1	0	0
t_1	1	1	1
t_2	1	2	
t_3	1	3	
t_4	1	4	

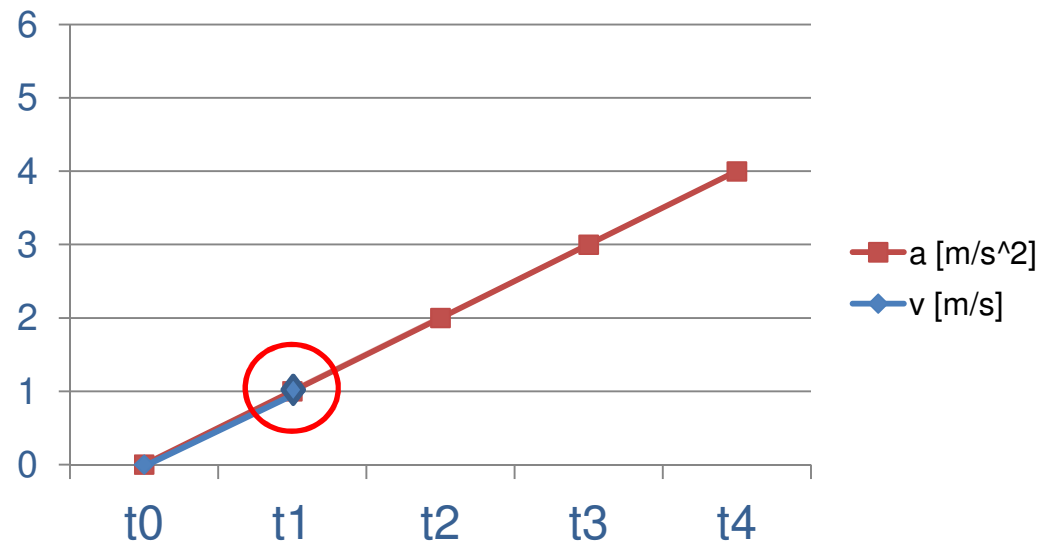
velocità all'istante t_1 :

$$v_1 = v_0 + a_1 \cdot (t_1 - t_0)$$

$$v_1 = 0 + 1 \cdot (1)$$

$$v_1 = 1$$

- l'accelerazione è misurata
- gli intervalli di tempo (campionamento del dato) sono pari a 1 s
- dobbiamo calcolare, per ciascun istante di tempo t , la velocità
- supponiamo che il punto parte da fermo e la sua accelerazione, e quindi anche la sua velocità, sono pari a zero in t_0



Calcolo integrale

istante	Δt [s]	a [m/s ²]	v [m/s]
t_0	1	0	0
t_1	1	1	1
t_2	1	2	3
t_3	1	3	
t_4	1	4	

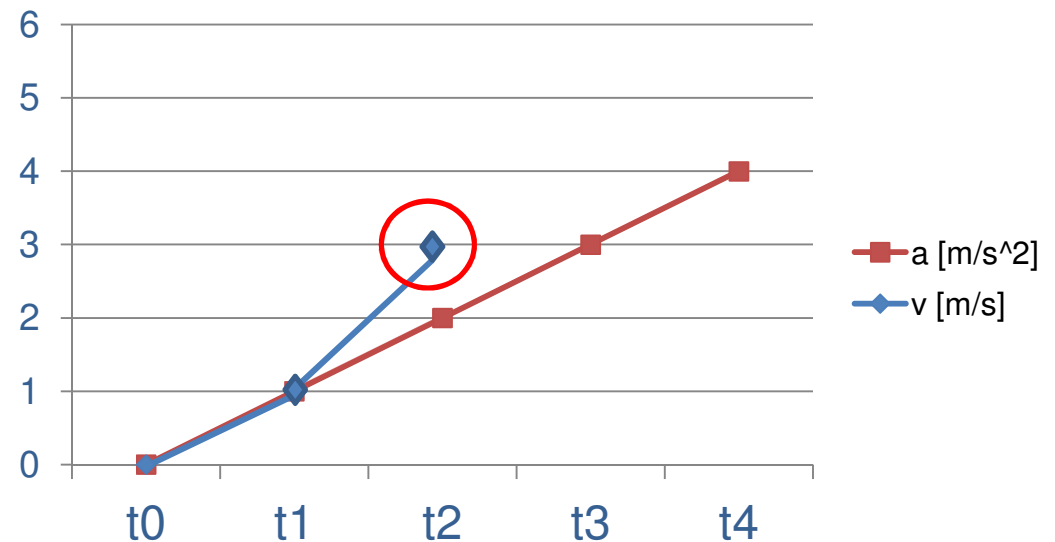
velocità all'istante t_2 :

$$v_2 = v_1 + a_2 \cdot (t_2 - t_1)$$

$$v_2 = 1 + 2 \cdot (1)$$

$$v_2 = 3$$

- l'accelerazione è misurata
- gli intervalli di tempo (campionamento del dato) sono pari a 1 s
- dobbiamo calcolare, per ciascun istante di tempo t , la velocità
- supponiamo che il punto parte da fermo e la sua accelerazione, e quindi anche la sua velocità, sono pari a zero in t_0



Calcolo integrale

istante	Δt [s]	a [m/s ²]	v [m/s]
t_0	1	0	0
t_1	1	1	1
t_2	1	2	3
t_3	1	3	6
t_4	1	4	

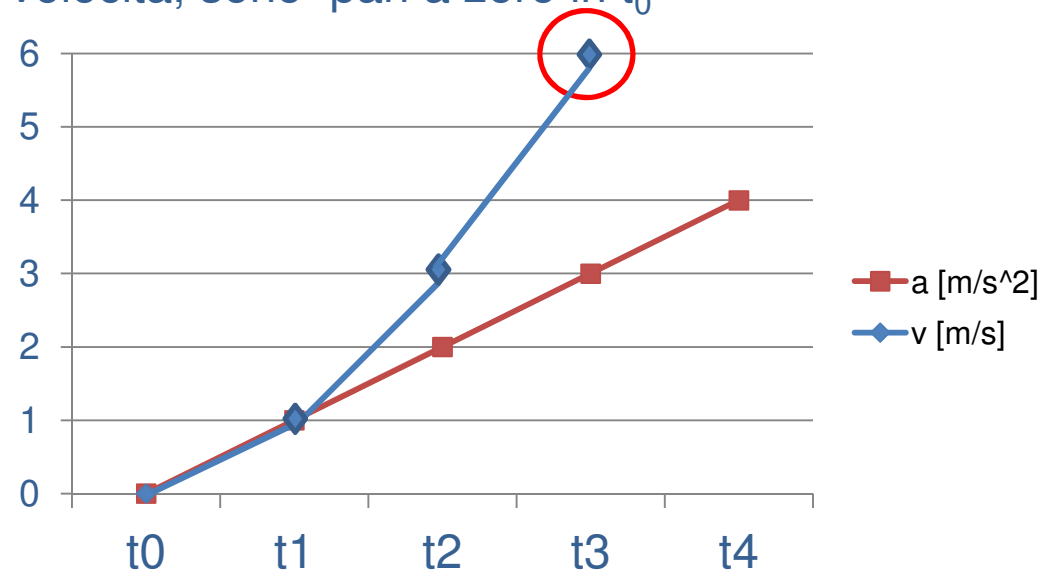
velocità all'istante t_3 :

$$v_3 = v_2 + a_3 \cdot (t_3 - t_2)$$

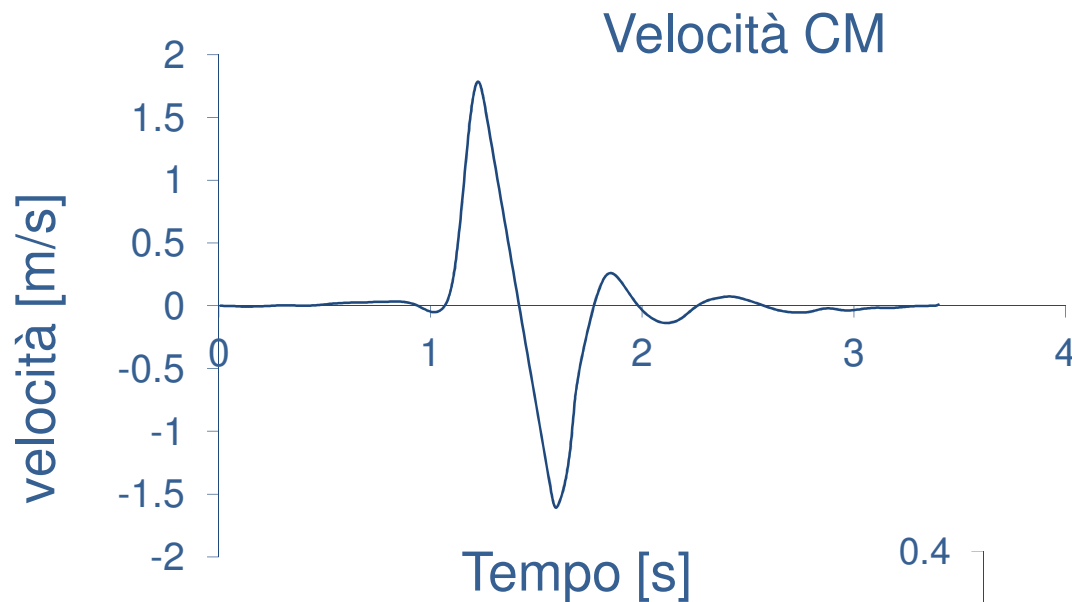
$$v_3 = 3 + 3 \cdot (1)$$

$$v_3 = 6$$

- l'accelerazione è misurata
- gli intervalli di tempo (campionamento del dato) sono pari a 1 s
- dobbiamo calcolare, per ciascun istante di tempo t , la velocità
- supponiamo che il punto parte da fermo e la sua accelerazione, e quindi anche la sua velocità, sono pari a zero in t_0



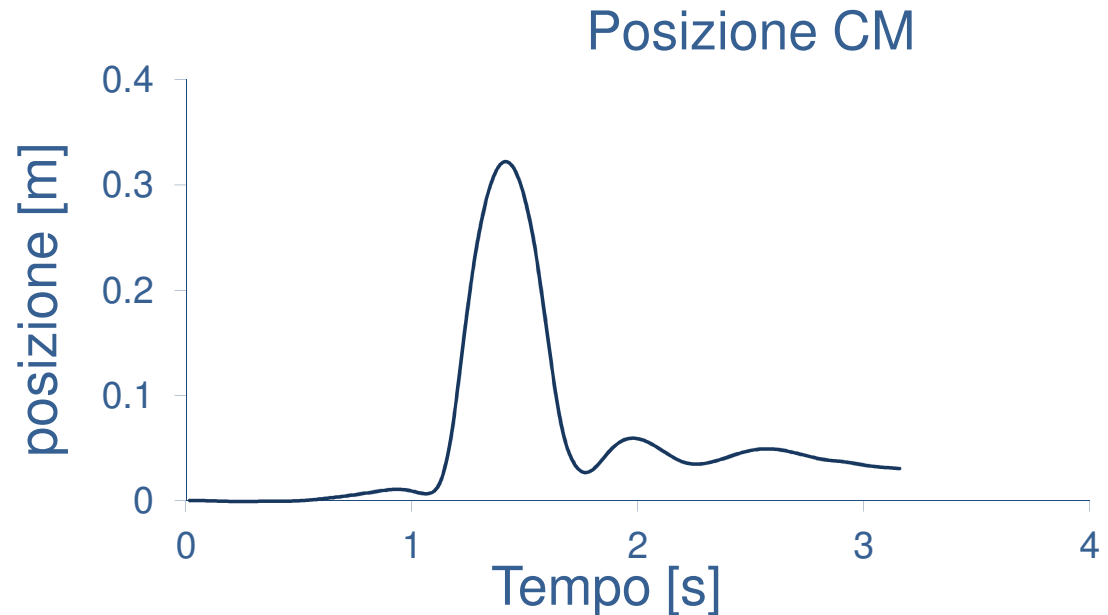
1- Misura delle reazioni vincolari



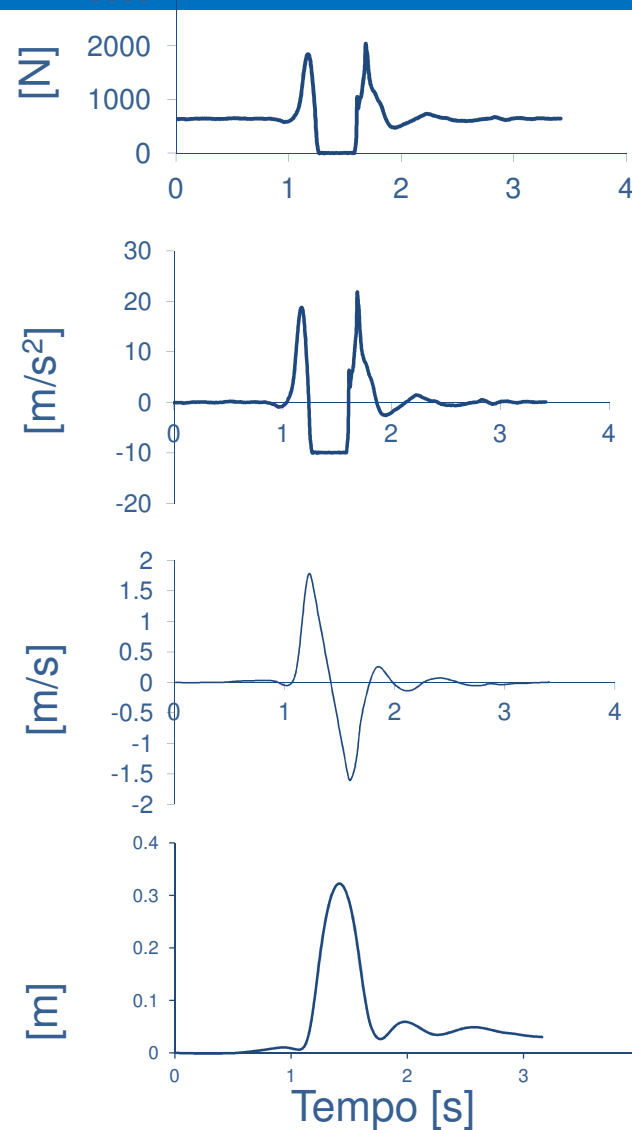
$$\text{se } v = \frac{p - p_0}{t - t_0}$$



$$p = p_0 + v \cdot (t - t_0) \quad \rightarrow$$



Dinamica diretta



D
I
N
A
M
I
C
A

D
I
R
E
T
T
A

CAUSA

EFFETTO

2- Stima della posizione del CM

La posizione del CM totale di un individuo non può essere misurata in alcun modo in quanto il CM è un punto “virtuale”, impalpabile e che varia la sua posizione al variare della posizione dei segmenti corporei

Quello che possiamo misurare mediante fotogrammetria è la posizione di punti di repere (esterni, palpabili e ben identificabili) dalla quale possiamo stimare, cioè dedurre, la posizione dei centri di massa di ciascun segmento a partire dalla lunghezza e dalla massa del segmento (vedi slides successive);

La posizione dei punti di repere che identificano il segmento ci aiutano a tracciare la traiettoria del CM del segmento (essendo un corpo rigido, la loro posizione relativa non varia);

Possiamo perciò dire che la posizione del CM totale è stimato a partire dalla stima della posizione dei CM di ciascun segmento corporeo, a sua volta stimato a partire dalla misura di posizione di punti di repere e una tabella antropometrica.

2- Fotogrammetria optoelettronica

Misura della posizione
di repere anatomici

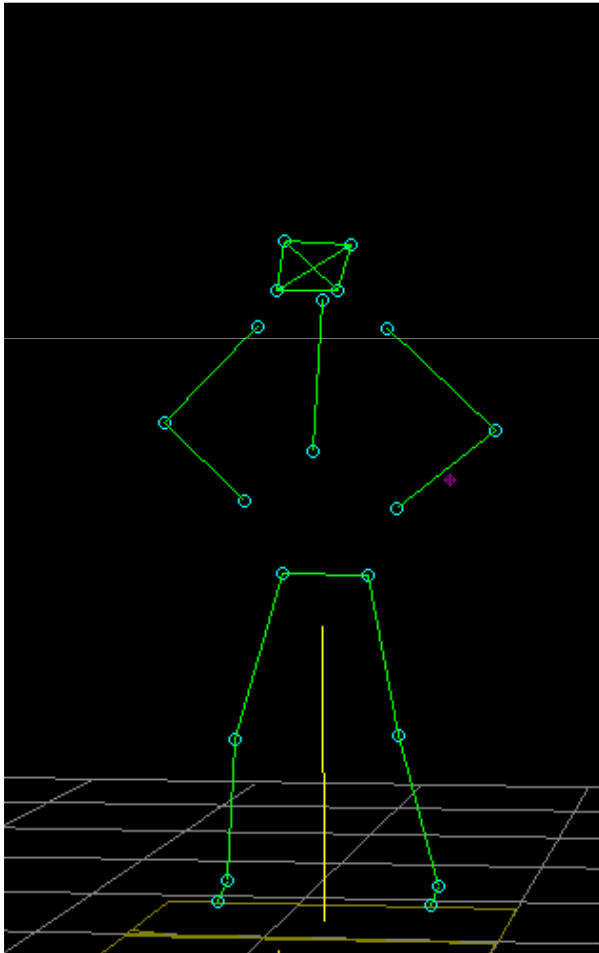
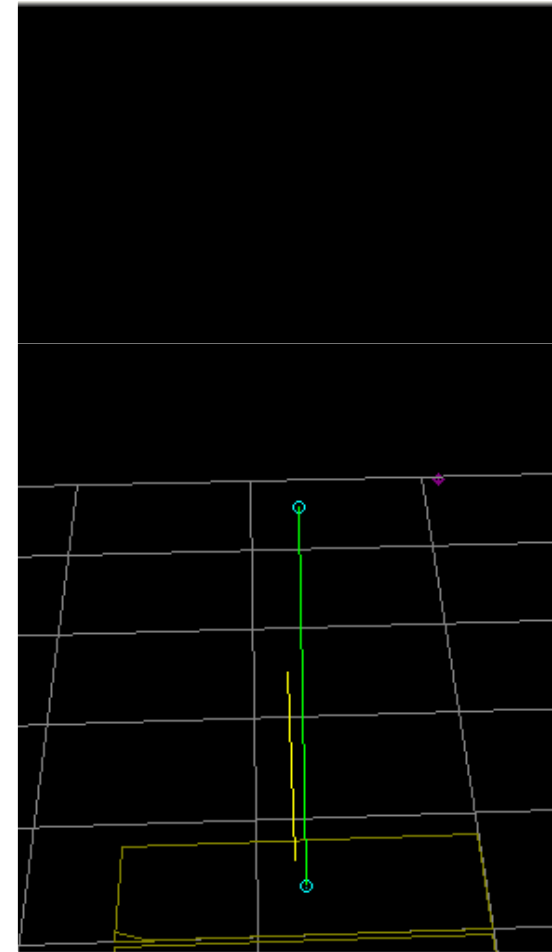


TABELLA
ANTROPOMETRICA

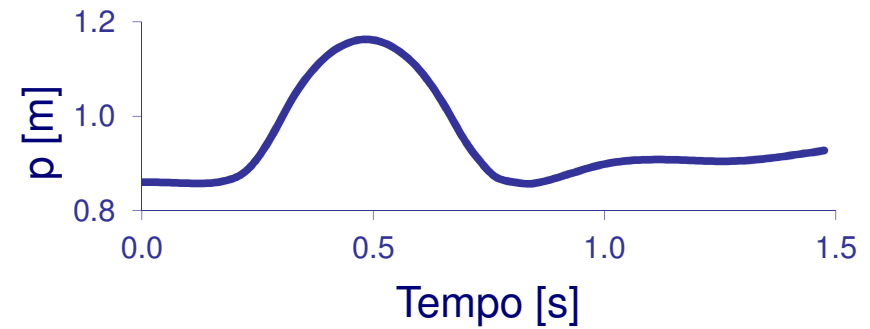


Stima della posizione
del CM totale



2- Stima della posizione del CM

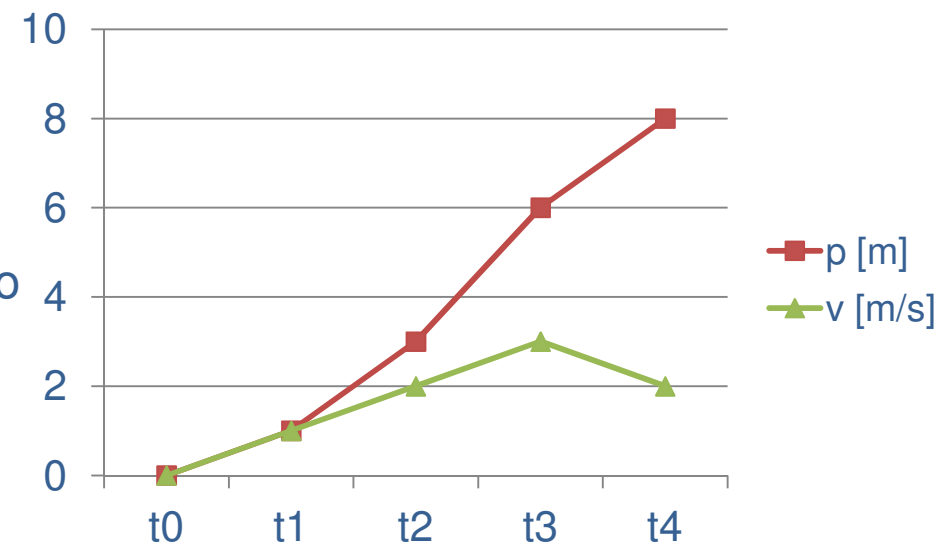
Posizione verticale CM
dedotta dai dati stereofotogrammetrici



Calcolo differenziale

istante	Δt [s]	p [m]	v [m/s]	
t_0	1	0	0	n.a.
t_1	1	1	1	$v_1 = (p_1 - p_0) / \Delta t$
t_2	1	3	2	$v_2 = (p_2 - p_1) / \Delta t$
t_3	1	6	3	$v_3 = (p_3 - p_2) / \Delta t$
t_4	1	8	2	$v_4 = (p_4 - p_3) / \Delta t$

- la posizione è misurata
- intervalli di tempo pari a 1 s
- calcolare, per ciascun istante di tempo t , la velocità
- supponiamo che posizione e velocità sono pari a zero in t_0



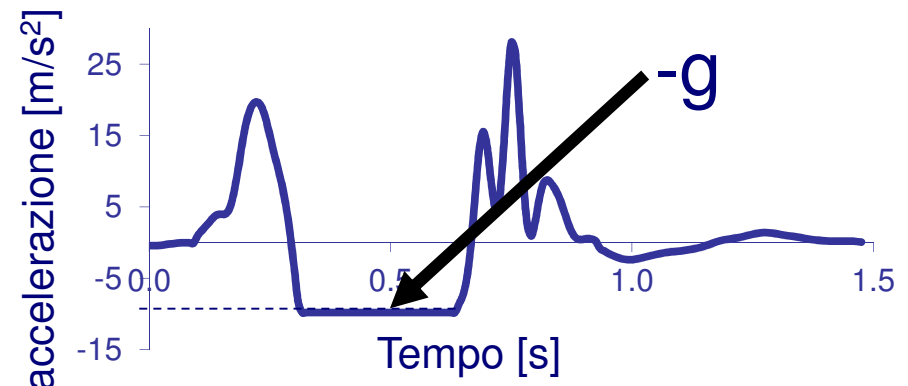
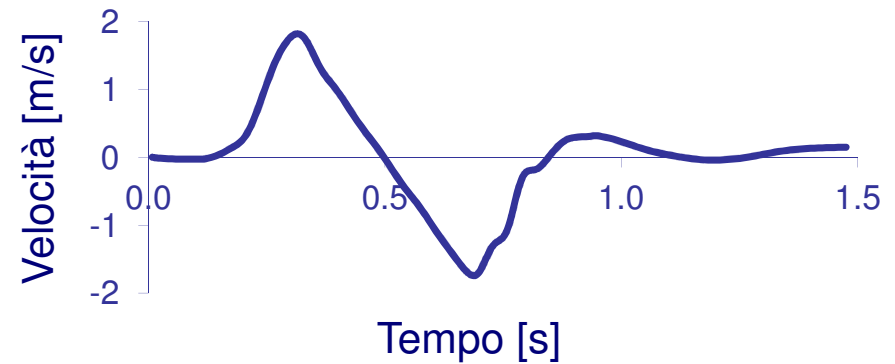
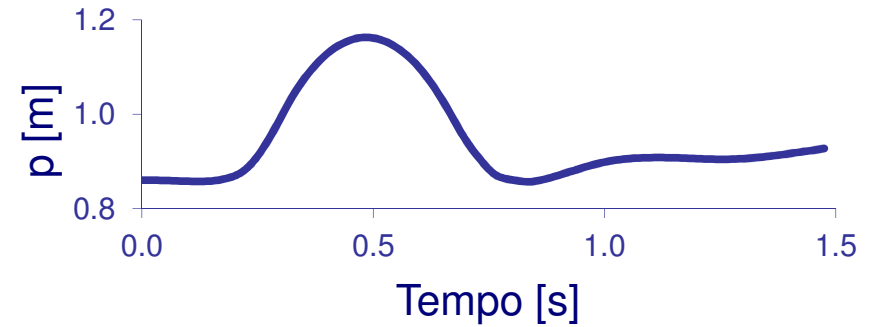
2- Stima della posizione del CM

Velocità verticale CM

$$v = \frac{p - p_0}{t - t_0} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Accelerazione verticale CM

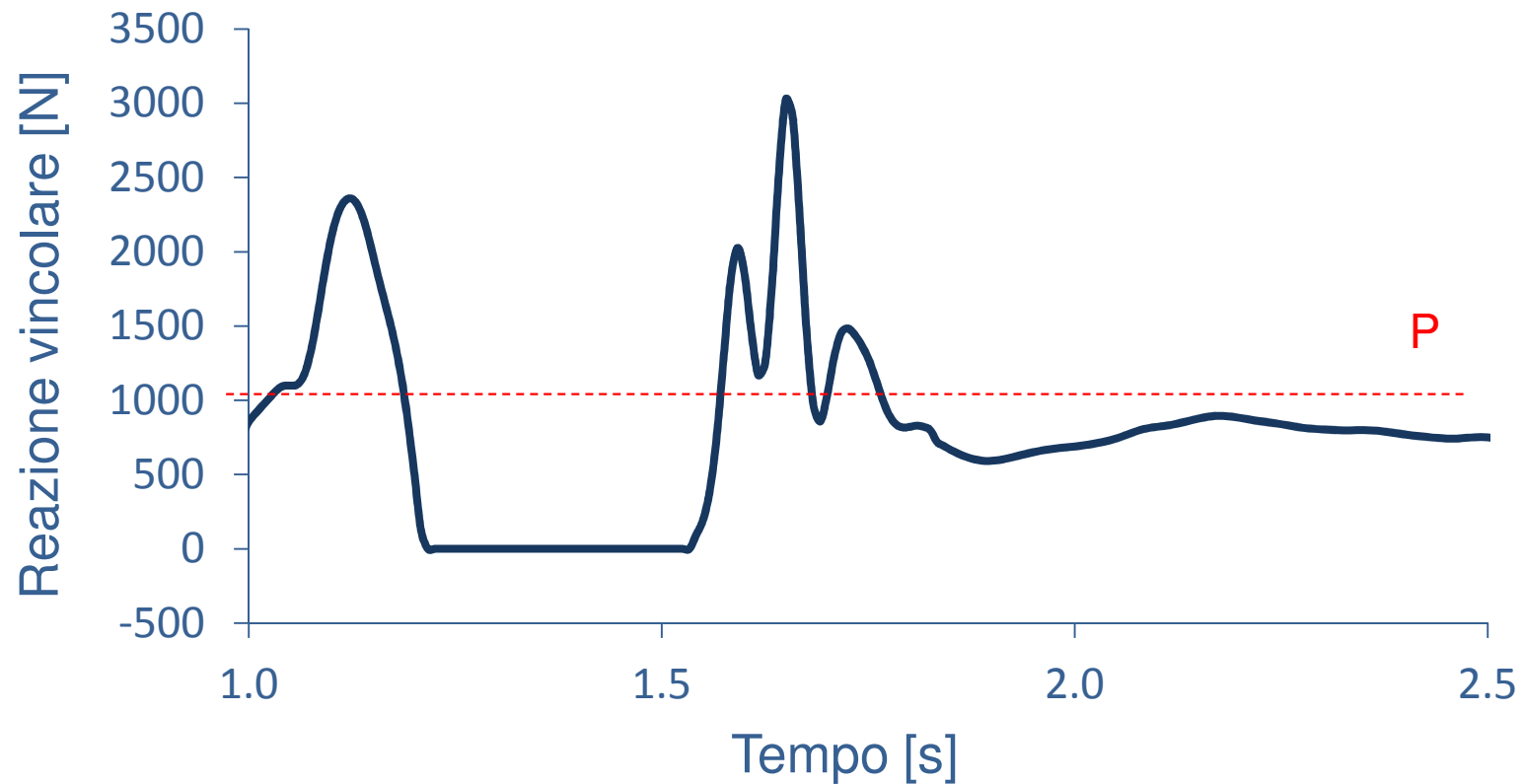
$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



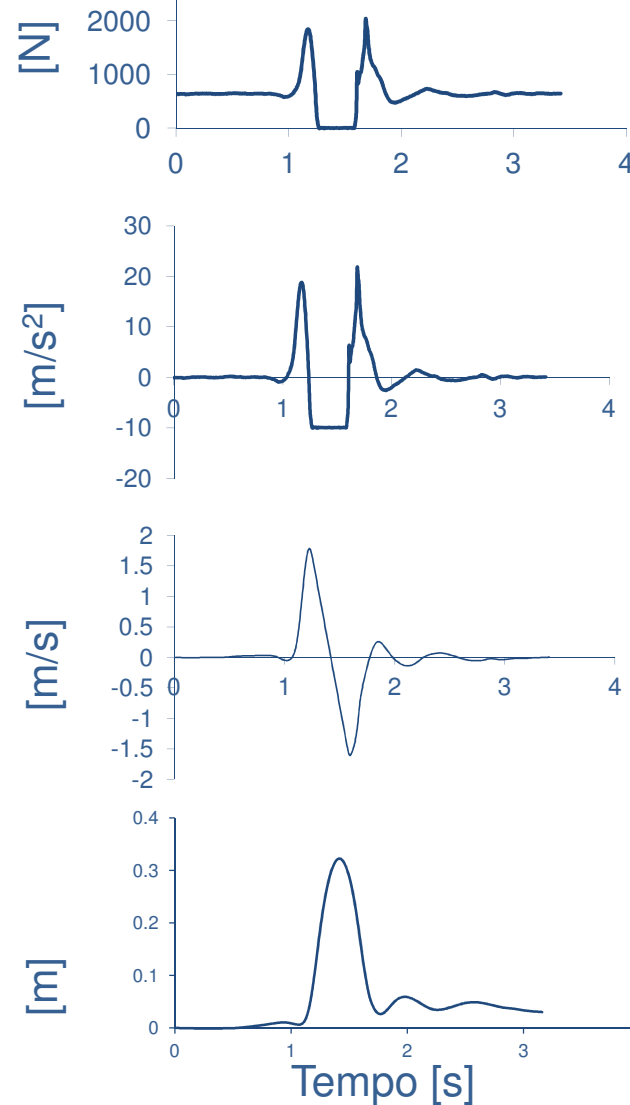
2- Stima della posizione del CM

$$\Sigma F = R - P = ma_{(CM)}$$

$$R = P + ma_{(CM)}$$



Dinamica inversa



CAUSA

D
I
N
A
M
I
C
A

I
N
V
E
R
S
A

EFFETTO

2- Stima del tempo di volo

Interruttori per la misura del tempo di volo



2- Stima del tempo di volo

L'equazione (legge oraria) ci fa calcolare **p** in un punto qualsiasi della parabola, ovverosia in funzione di un tempo **t** a nostra scelta

$$p = p_0 + (v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)$$

2- Stima del tempo di volo

La velocità è verticale, quindi $\sin(90^\circ) = 1$

$$p = p_0 + (v_0 \cdot t) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)$$

2- Stima del tempo di volo

La velocità iniziale è l'unico parametro che non possiamo conoscere

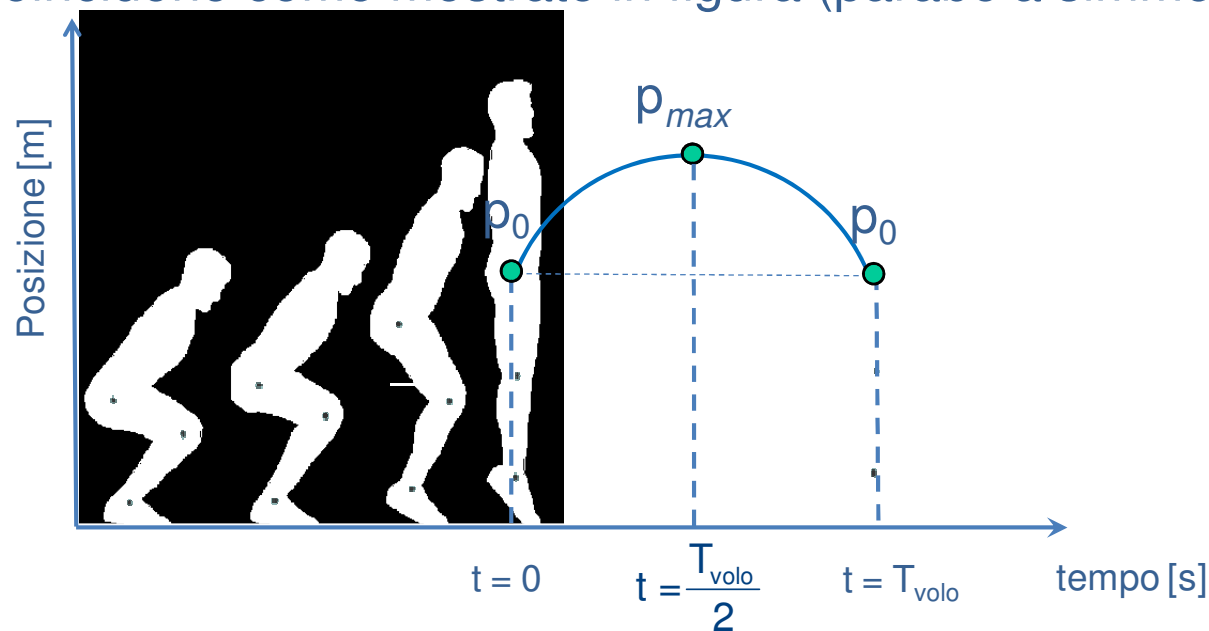
$$p = p_0 + (v_0 \cdot t) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)$$

2- Stima del tempo di volo

La velocità iniziale è l'unico parametro che non possiamo conoscere

$$p = p_0 + (v_0 \cdot t) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)$$

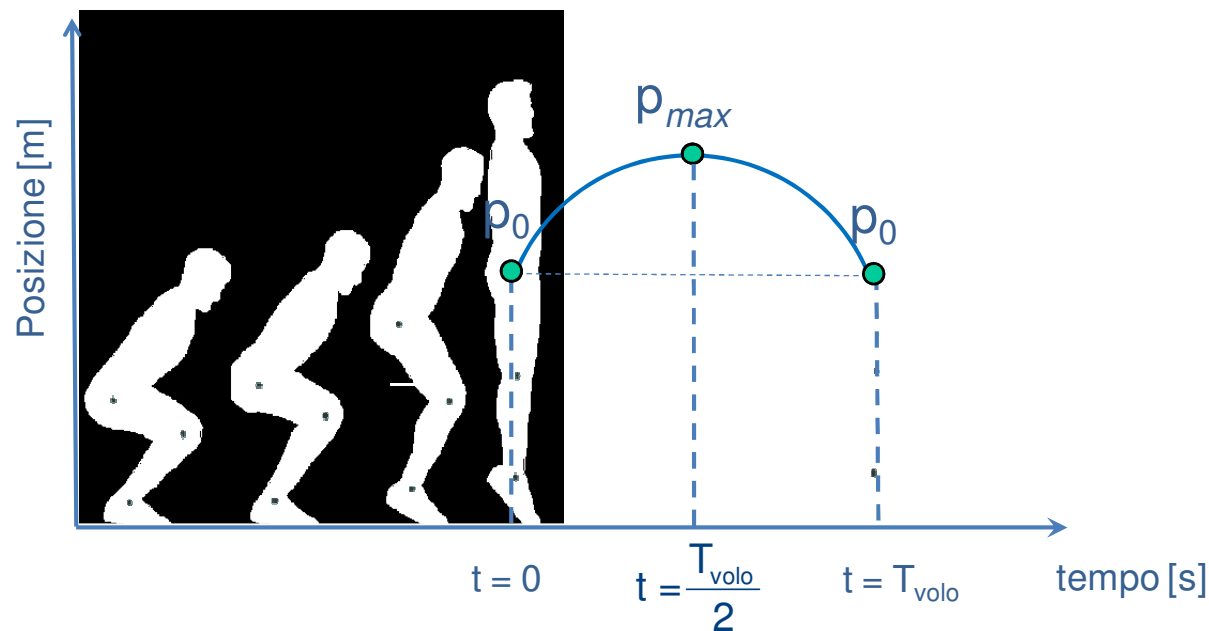
A meno che non assumiamo che la quota del CM all'istante di stacco e di atterraggio coincidono come mostrato in figura (parabola simmetrica):



2- Stima del tempo di volo

Questo vuol dire obbligare la traiettoria a passare per due punti coincidenti di coordinate $[p_0, T_{\text{volo}}]$:

$$p_0 = p_0 + (v_0 \cdot T_{\text{volo}}) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot T_{\text{volo}}^2\right)$$



2- Stima del tempo di volo

Questo vuol dire obbligare la traiettoria a passare per due punti coincidenti di coordinate $[p_0, T_{\text{volo}}]$:

$$\cancel{p_0} = \cancel{p_0} + (v_0 \cdot T_{\text{volo}}) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot T_{\text{volo}}^2\right)$$



$$v_0 \cdot T_{\text{volo}} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot T_{\text{volo}}^2 \quad \Rightarrow \quad v_0 = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot T_{\text{volo}}^2\right)}{\cancel{T_{\text{volo}}}}$$



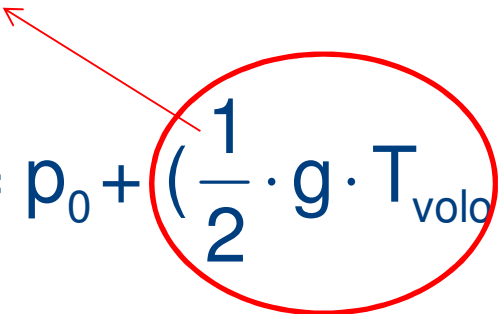
$$v_0 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot T_{\text{volo}}$$

2- Stima del tempo di volo

Avendo la velocità iniziale, ora uso la legge oraria generica:

$$p = p_0 + (v_0 \cdot t) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2\right)$$

per trovarmi il punto **p** a metà tempo di volo ovvero all'apice della parabola: quindi al posto di **t** devo metterci metà tempo di volo ($\frac{T_{\text{volo}}}{2}$) mentre al posto di **v₀** ciò che ho ricavato nella slide precedente:


$$p = p_0 + \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot T_{\text{volo}} \cdot \frac{T_{\text{volo}}}{2}\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot g \cdot \left(\frac{T_{\text{volo}}}{2}\right)^2\right)$$

2- Stima del tempo di volo

La relazione che definisce l'elevazione in funzione del solo tempo di volo è:

$$p = p_0 + \frac{1}{8} \cdot g \cdot (T_{\text{volo}})^2$$

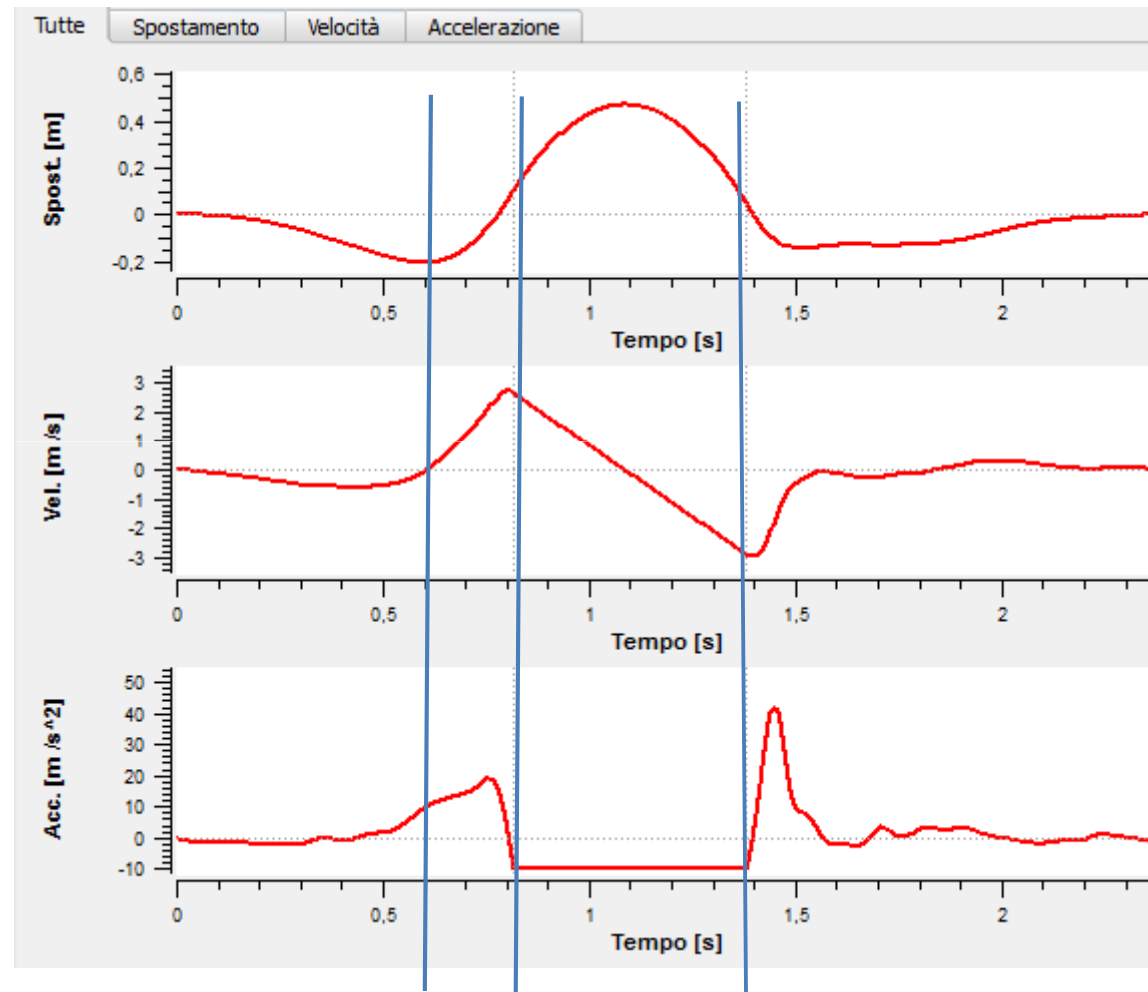
e se consideriamo zero la quota iniziale del CM (all'istante di stacco) allora avremo:

$$p = \frac{1}{8} \cdot g \cdot (T_{\text{volo}})^2 \quad \Rightarrow \quad p = 1.226 \cdot (T_{\text{volo}})^2$$

Occhio all'assunzione

- se atterro a gambe flesse, aumento il tempo di volo
- il modello “crede” che io sia andato più in alto
- ecco perché Bosco, sapientemente, ha progettato il suo protocollo chiedendo all'atleta di atterrare a gambe tese ammortizzando l'impatto con saltelli successivi

Salto verticale: analisi biomeccanica



Modulo 4: apprendimento

Dopo questa lezione dovrete:

- aver compreso la differenza tra dinamica diretta e inversa
- aver compreso in quanti modi è possibile stimare la cinematica del CM durante il salto verticale (dettaglio dell'osservazione)
- aver compreso perchè stimare la cinematica del CM e non di un altro punto del corpo durante un salto verticale
- aver compreso il preesupposto che sta alla base della stima dell'elevazione a partire dalla sola misura del tempo di volo
- saper “leggere” e interpretare le curve di cinematica del CM durante salto verticale