



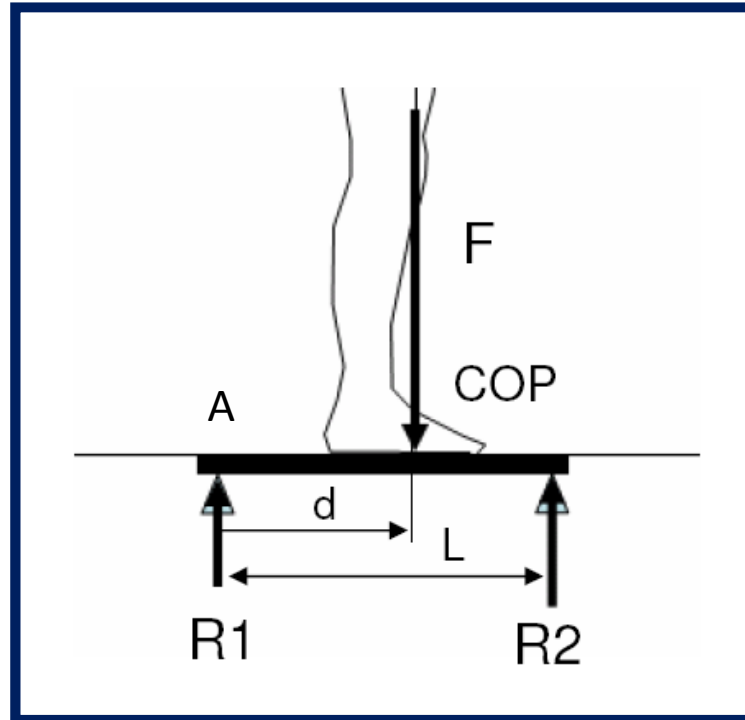
POLITECNICO
MILANO 1863

BIOINGEGNERIA DEL SISTEMA MOTORIO

Sezione: M-Z

La Postura

L'analisi posturale: stabilometria



Situazione caratterizzata da basse componenti inerziali, le componenti di forza trasversali (sul piano orizzontale) siano trascurabili, e che la **componente verticale** si mantenga di ampiezza relativamente costante ed uguale al **peso** del soggetto.

Calcolo del CoP

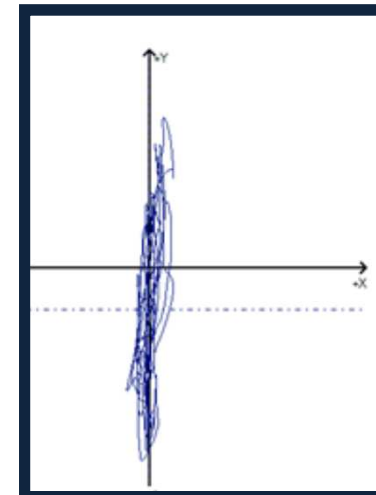
$$F d = R_2 L \quad F = R_1 + R_2$$

$$d = R_2 L / (R_1 + R_2)$$

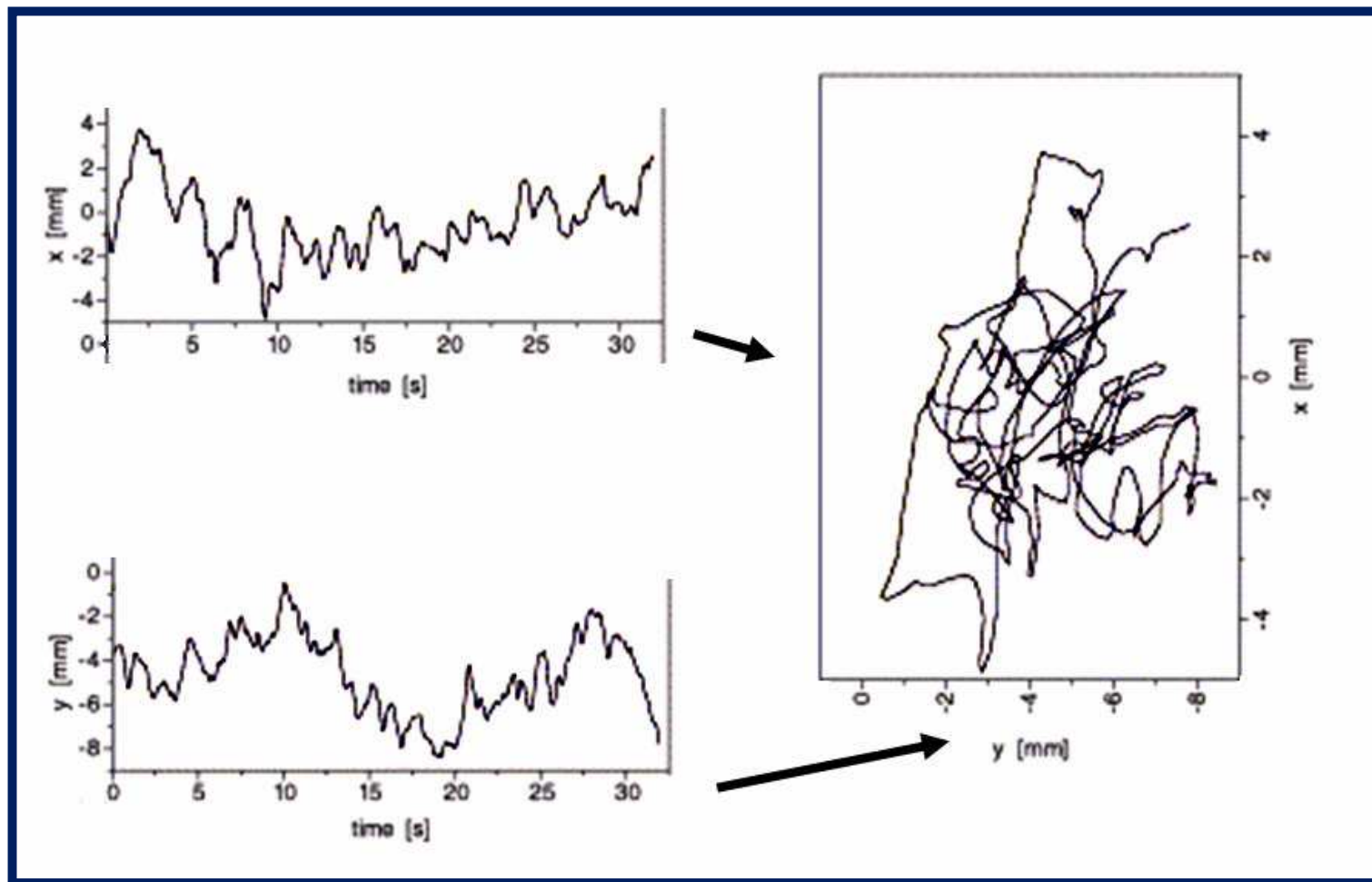
x_{COP} y_{COP}

Se volontariamente il soggetto è in grado di evitare il movimento degli arti, la respirazione ed il battito cardiaco comportano spostamenti di masse che modificano l'equilibrio delle forze e richiedono continue compensazioni da parte dei muscoli cosiddetti 'posturali'

Continui cambiamenti delle coordinate del COP



Spostamenti del centro di pressione (COP)



Principali parametri stabilometrici

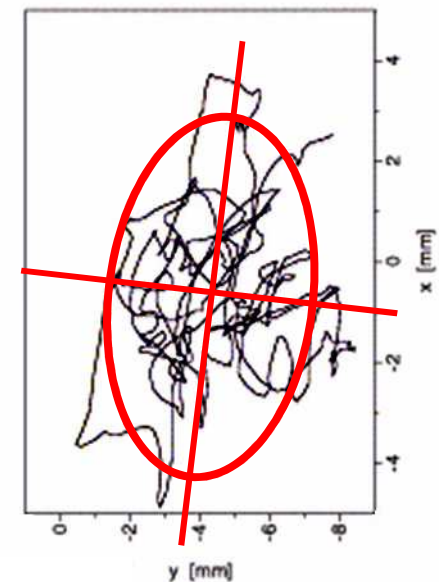
- ampiezza picco-picco delle oscillazioni.
- scarto quadratico medio

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

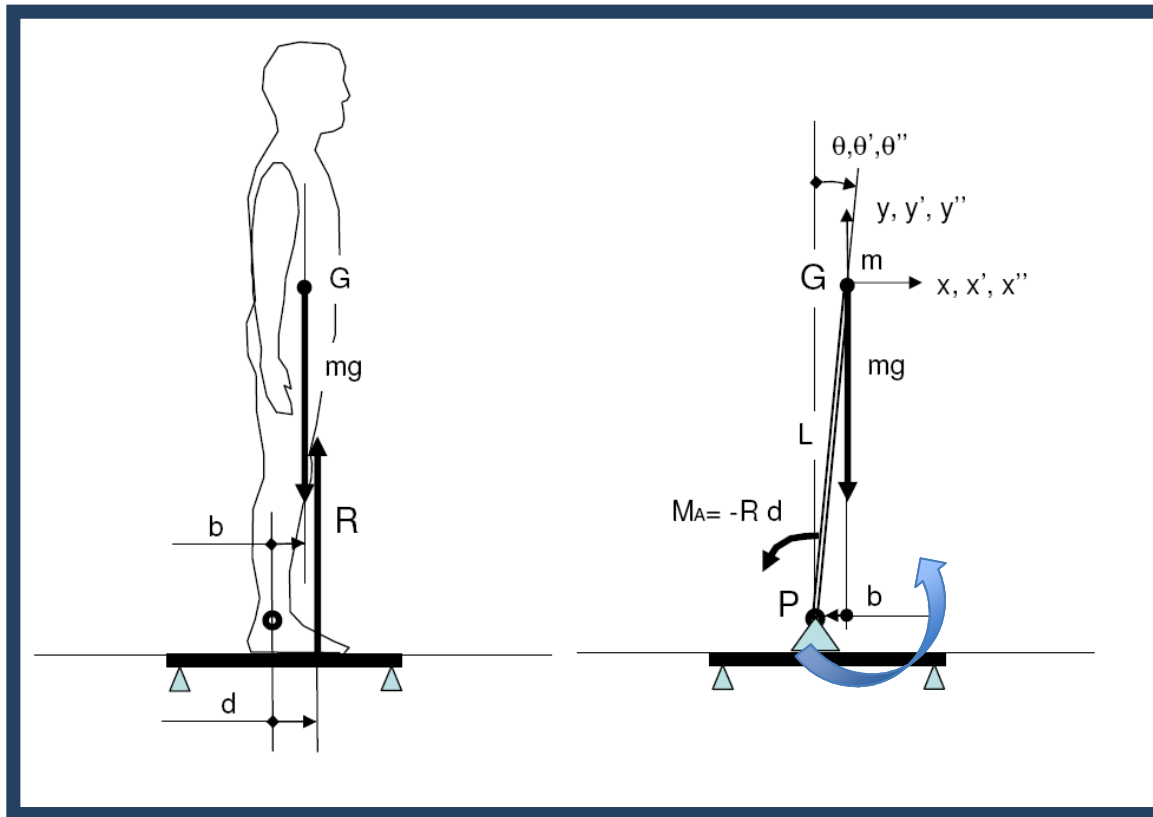
- Frequenza media
- Frequenza mediana (al di sotto della quale c'è il 50% della potenza)
- Frequenza al 95% della potenza

- lunghezza della traiettoria stessa* (durante 60 sec)
- posizione del baricentro del 'gomitolo' e degli assi d'inerzia dello stesso in relazione alla posizione dei piedi;
- area polare rispetto al baricentro del gomitolo;
- area del cerchio di confidenza al 95%
- area dell'ellisse di confidenza al 95%

$$*L = \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - x_{(i-1)})^2 + (y_i - y_{(i-1)})^2}$$



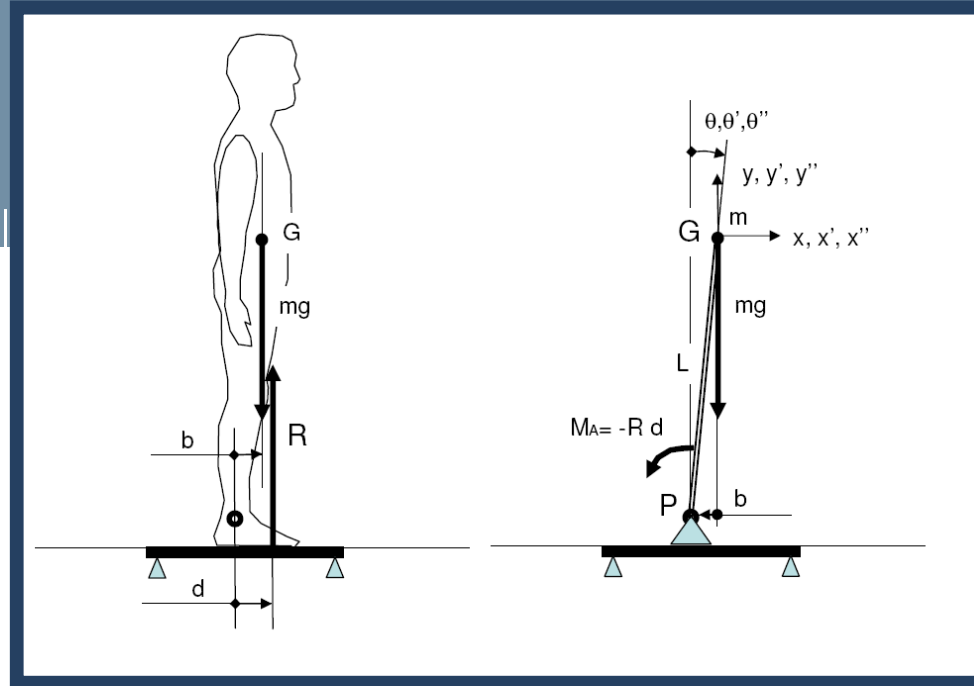
Analisi posturale dinamica: il Modello a Pendolo Inverso



Assunzioni

- 1) Massa concentrata nel baricentro (coincide con il baricentro della massa del pendolo m)
- 2) Asta vincolata ad una cerniera ideale.
- 3) Attuatore coassiale con la cerniera è l'azione dei muscoli flessori plantari.

WINTER, D. A., PATLA, A. E., PRINCE, F., AND ISHAC, M. Stiffness control of balance in quiet standing. *J. Neurophysiol.* 80: 1211–1221, 1998.



$$- R d + m (g + y'') L \sin \theta - m x'' L \cos \theta = 0$$

$$y = L \cos \theta ; y' = -L \theta' \sin \theta ; y'' = -L \theta'' \sin \theta - L \theta'^2 \cos \theta$$

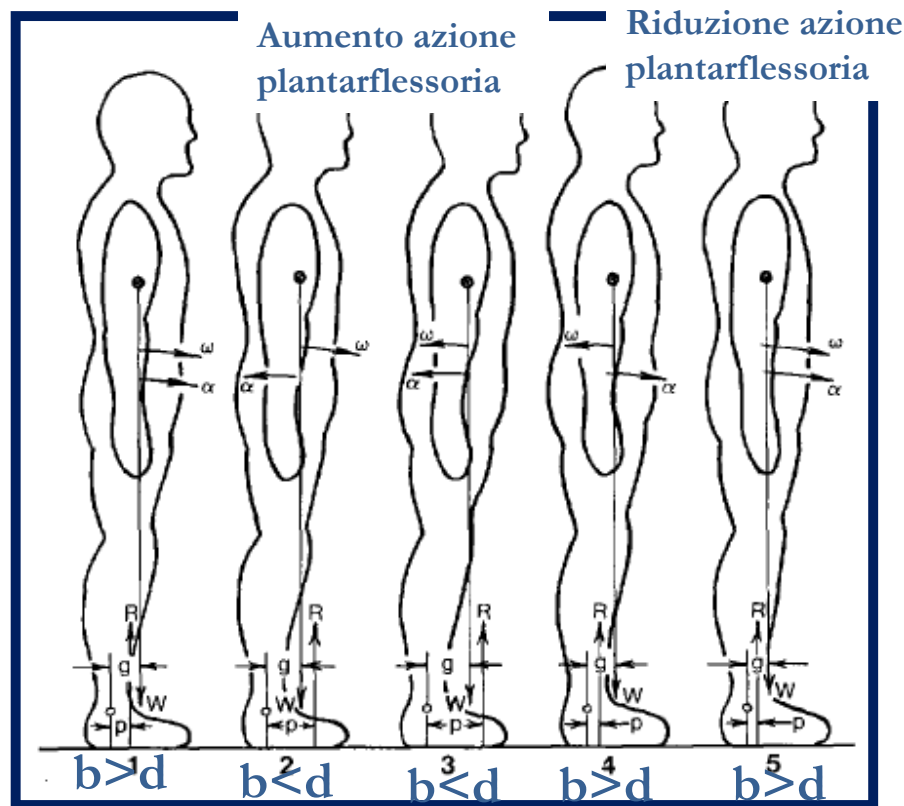
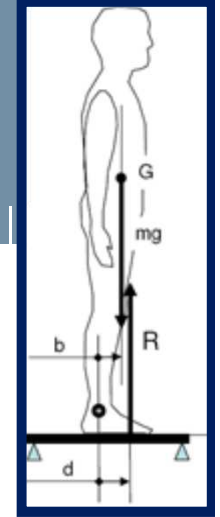
$$x = L \sin \theta ; x' = L \theta' \cos \theta ; x'' = L \theta'' \cos \theta - L \theta'^2 \sin \theta$$

$$b = L \sin \theta$$

$$J_m = mL^2$$

svolgendo i prodotti risulta:

$$mg b - R d = mL^2 \theta'' \quad \text{ovvero} \quad mg b - R d = J_m \theta''$$



$$J^P = J_m + J_G$$

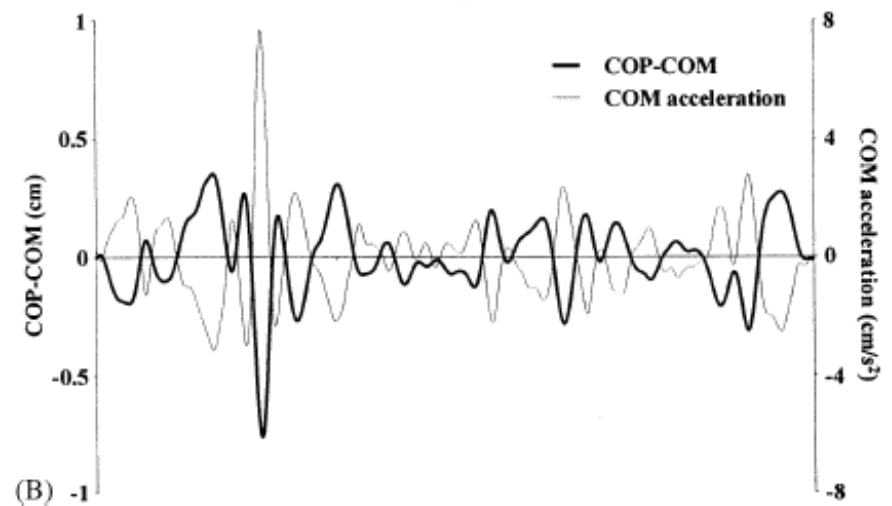
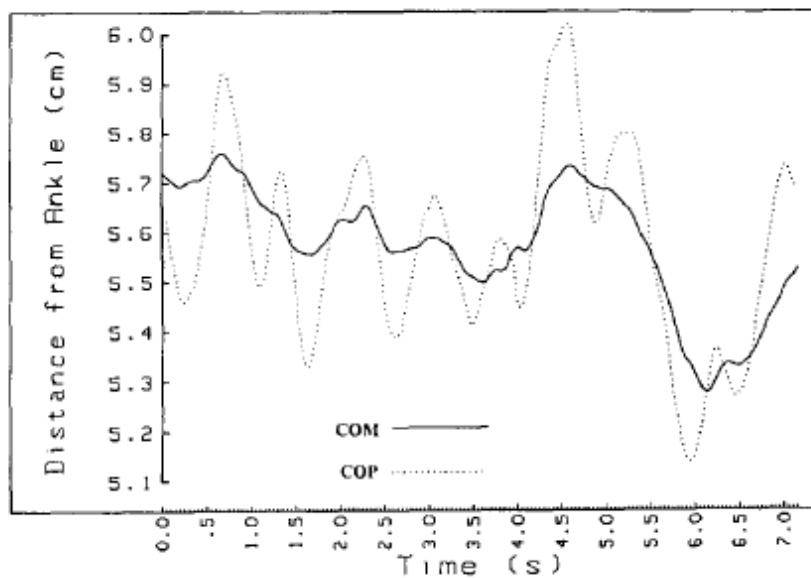
$$mgb - Rd = J_P \theta''$$

$$W(b-d) = J_P x''/L$$

$$\mathbf{b-d} = J_P / (WL) \quad \mathbf{x''} = \mathbf{K} \mathbf{x''}$$

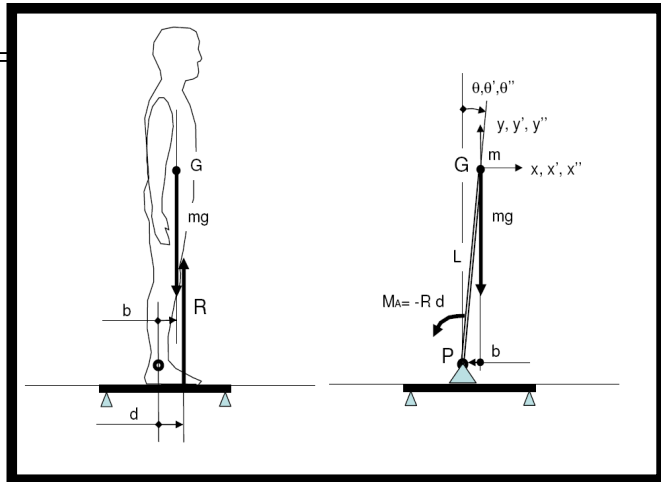
Winter D, Human balance and posture control during standing and walking, Review paper, Gait&Posture, 1995, vol.3 : 193-214

$$b-d = J_p x'' / (WL) = K x''$$



COM (b) COP(d)

Come si ottiene l'ascissa x del COM ?



METODO DELLA DOPPIA INTEGRAZIONE

$$a(t) = F(t) / m$$

$$v(t) = \int_0^t F(t) / m \cdot dt + v_0$$

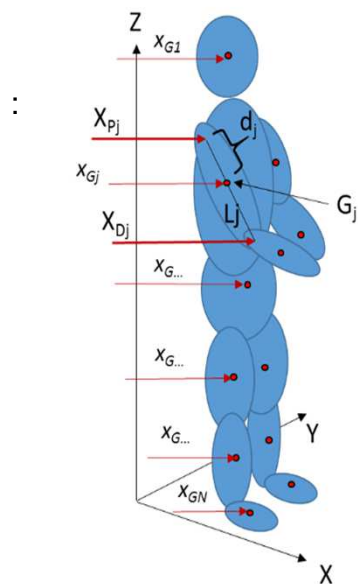
$$s(t) = \int_0^t v(t) \cdot dt + s_0$$

METODO GEOMETRICO

$$X_G = \sum_j \frac{m_j \cdot X_{Gj}}{M}$$

VINCOLI: $1/T \cdot \int_0^T COM_x(t) \cdot dt = 1/T \cdot \int_0^T COP_x(t) \cdot dt$

$$1/T \cdot \int_0^T v_x(t) \cdot dt = 0$$



$$r_j = d_j / L_j$$

$$x_{Gj} = x_{pj} + r_j (x_{Dj} - x_{pj})$$

$$y_{Gj} = y_{pj} + r_j (y_{Dj} - y_{pj})$$

$$z_{Gj} = z_{pj} + r_j (z_{Dj} - z_{pj})$$

$$x_G = \sum x_{Gj} m_j / M$$

$$y_G = \sum y_{Gj} m_j / M$$

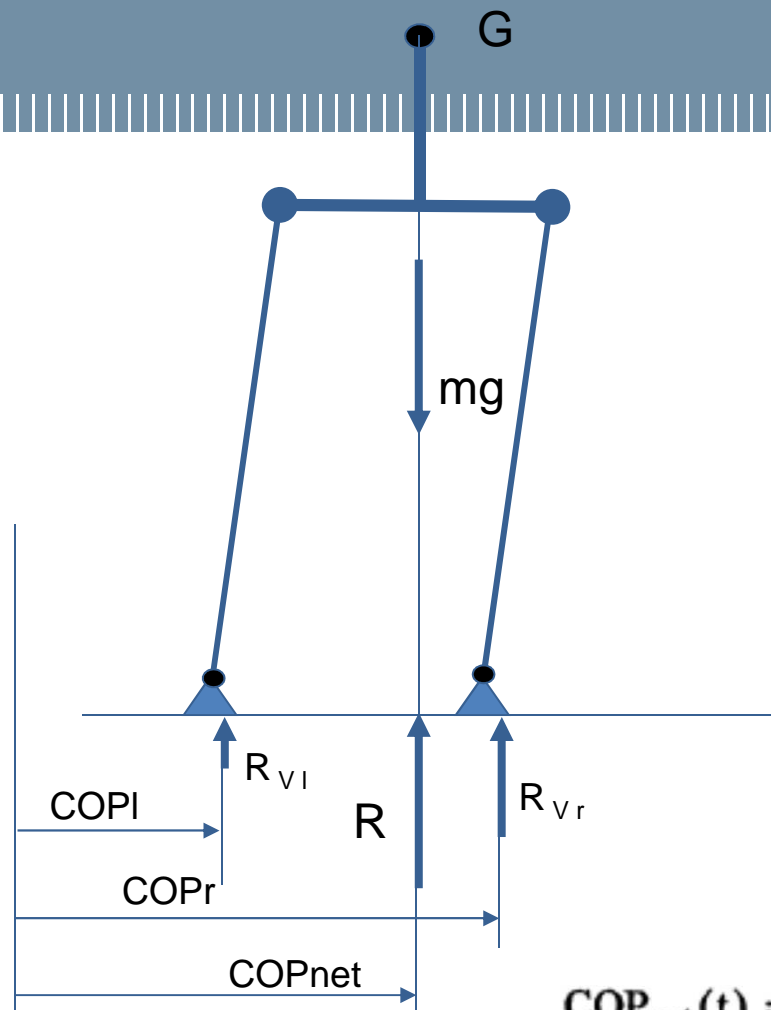
$$z_G = \sum z_{Gj} m_j / M$$

$$X_{Gj} = X_{pj} + r_j (X_{Dj} - X_{pj})$$

$$X_G = \sum_j \frac{m_j \cdot X_{Gj}}{M}$$

Il baricentro risultante sarà infine la media pesata di tutti i baricentri segmentari.

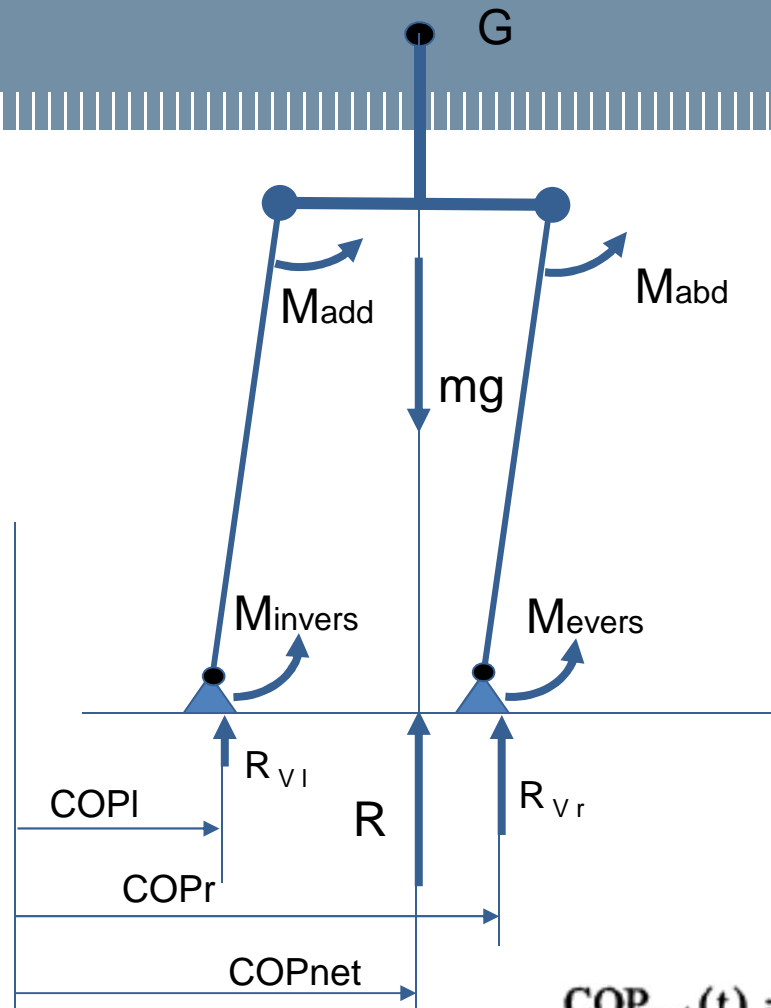
Piano frontale



$$COP_{net} * R = COPl * R_{vl} + COPr * R_{vr}$$

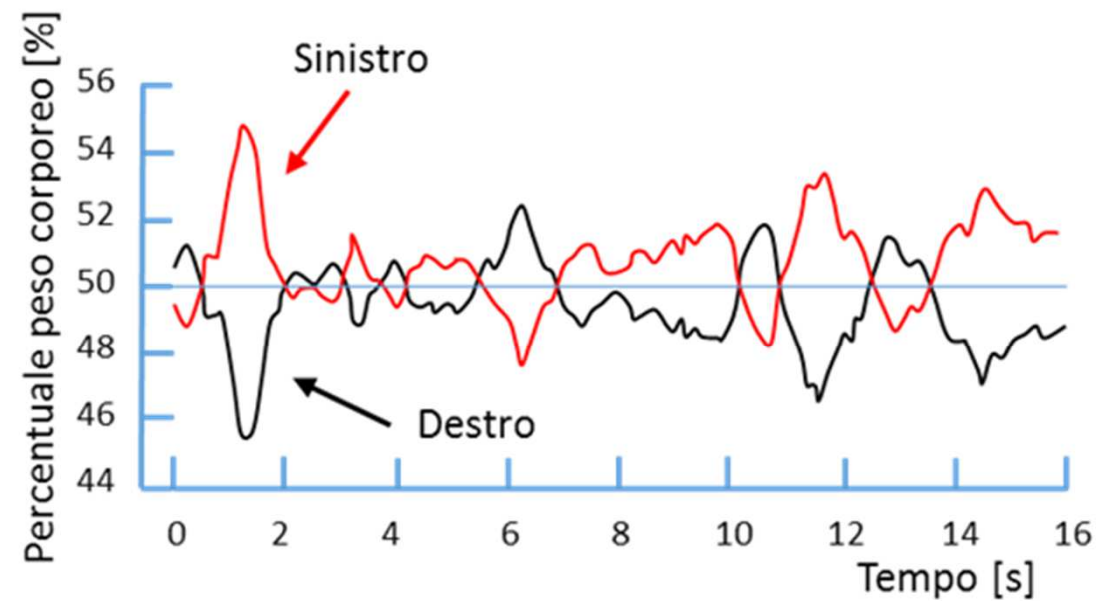
$$COP_{net}(t) = COPl(t) \cdot \frac{R_{vl}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)} + COPr(t) \cdot \frac{R_{vr}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)}$$

Piano frontale



$$COP_{net} * R = COP_I * R_{vl} + COP_r * R_{vr}$$

$$COP_{net}(t) = COP_I(t) \cdot \frac{R_{vl}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)} + COP_r(t) \cdot \frac{R_{vr}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)}$$



Distribuzione del peso tra arto destro e sinistro durante la postura eretta.

Supponiamo che i muscoli delle anche agiscano in modo perfettamente simmetrico

COP_{NET} sarà risultante dal solo controllo dei muscoli inversori/eversori delle caviglie, che chiameremo COP_c

$$COP_{net}(t) = COP_l(t) \cdot \frac{R_{vl}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)} + COP_r(t) \cdot \frac{R_{vr}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)}$$

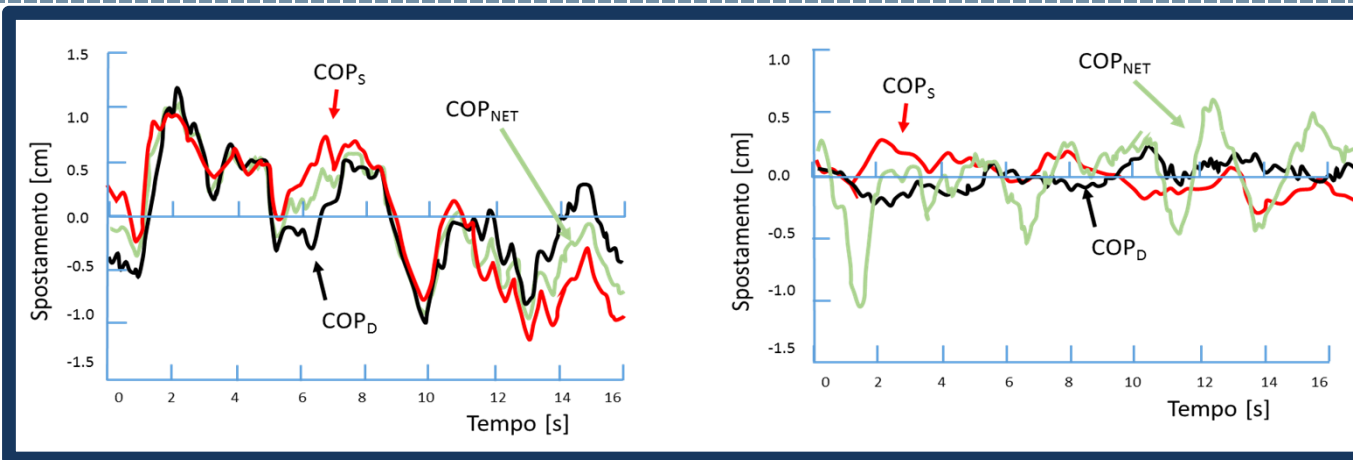
$$COP_c = COP_l 0.5 + COP_r 0.5$$

Di fatto

COP_{NET} è la somma di due meccanismi separati, il contributo dato dal meccanismo carico/scarico di ciascun arto, che chiameremo COP_v , può essere calcolato come:

$$COP_v = COP_{NET} - COP_C$$

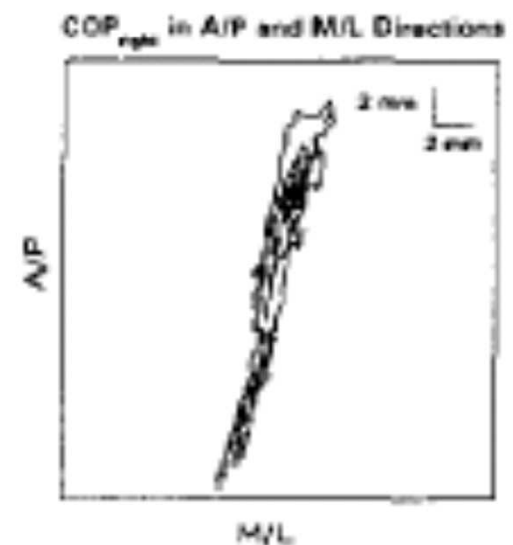
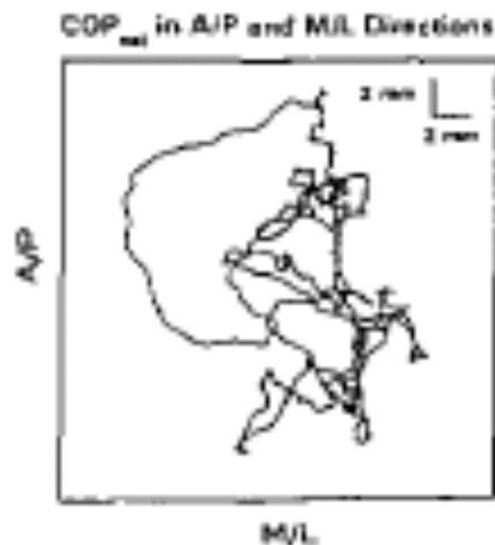
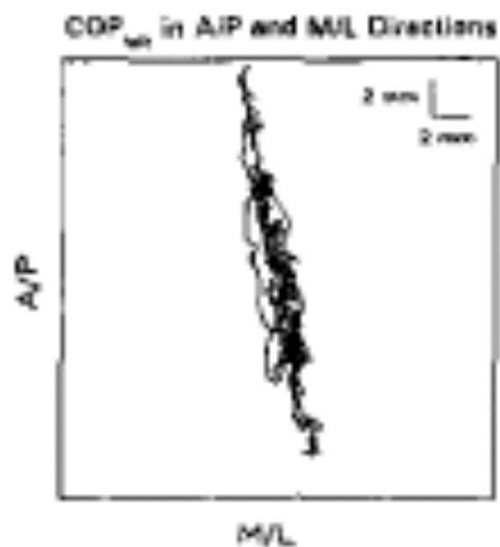
Nel senso medio-laterale si dimostra che COP_C e COP_v sono virtualmente indipendenti l'uno dall'altro.



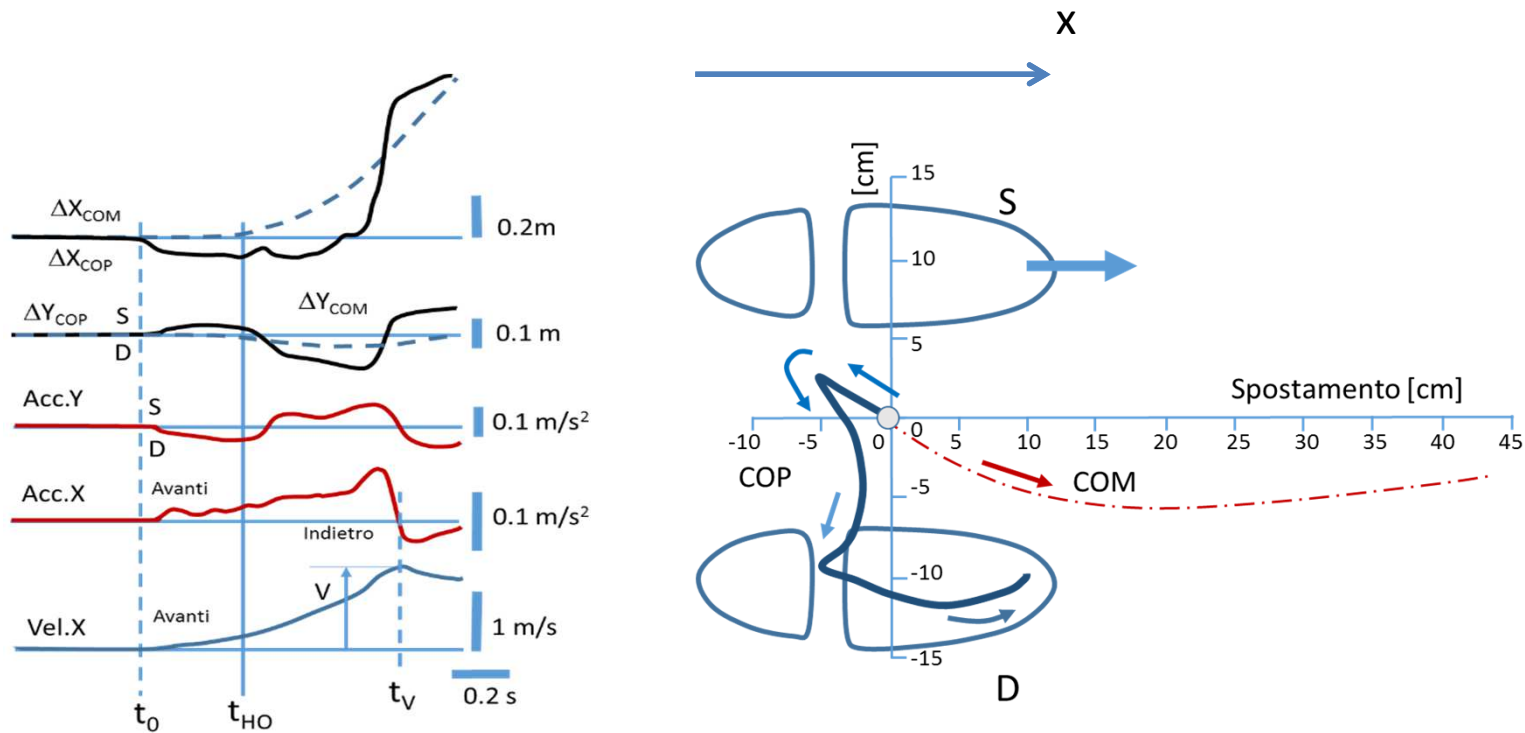
Piano Sagittale: COP_I (o COP_S) e COP_R (COP_D) si muovono **quasi allo stesso modo**, e COP_{net} sta in mezzo ai due

Piano Frontale: COP_I e COP_R si muovono in modo quasi indipendente l'uno dall'altro, e il COP_{net} cambia senza alcuna correlazione con COP_I e COP_R (**determinato dal controllo dei muscoli delle anche**)

$$COP_{net}(t) = COP_l(t) \cdot \frac{R_{vl}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)} + COP_r(t) \cdot \frac{R_{vr}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)}$$

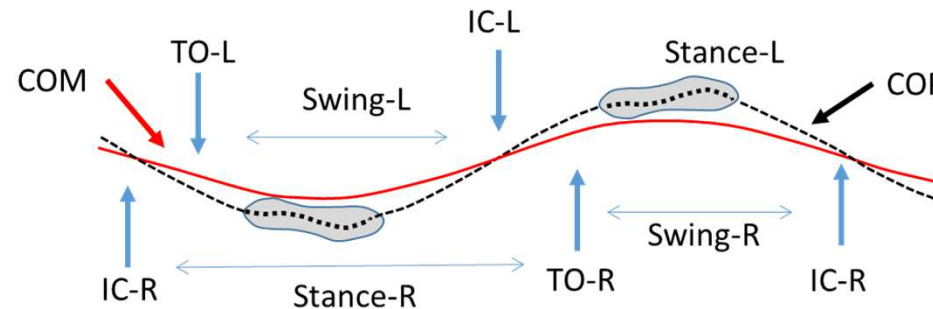
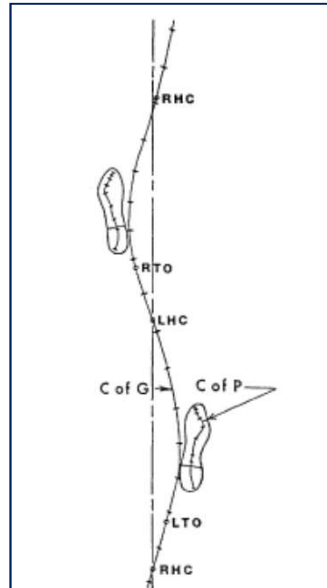


Inizio del cammino



t_0 = istante di inizio; t_{HO} = istante di sollevamento tallone arto di 'swing';
 t_V = istante in cui si raggiunge la massima velocità

Cammino a regime



Traiettorie di COM e COP durante il cammino a velocità di regime. Sono indicati i punti corrispondenti ai principali eventi del passo: IC-R= contatto iniziale al terreno dell'arto di destra; TO-L= distacco dal terreno dell'arto di sinistra; IC-L= contatto iniziale al terreno dell'arto di sinistra; TO-R= distacco da terra dell'arto di destra.