

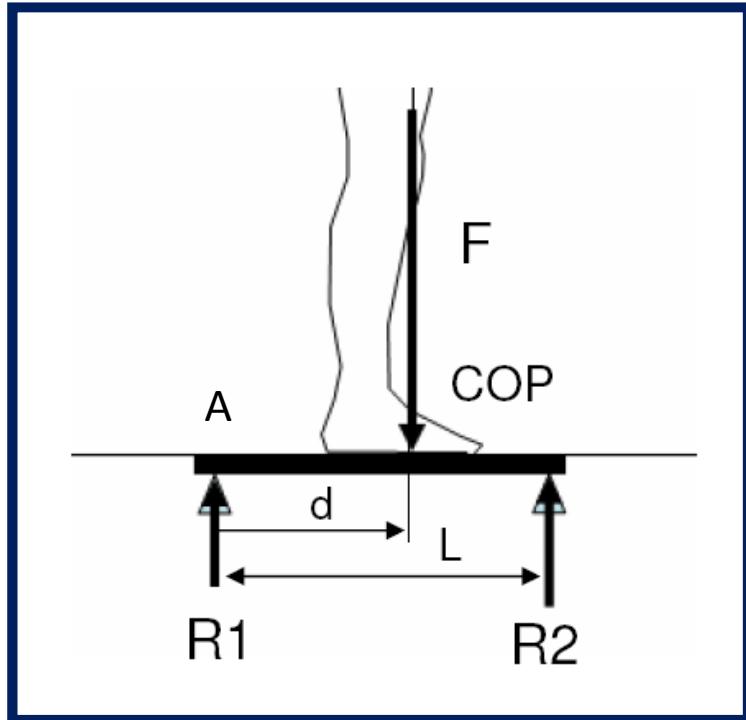


POLITECNICO
MILANO 1863

**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

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

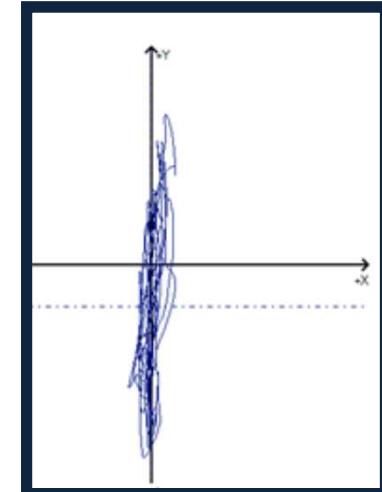
$$d = R_2 \cdot L / (R_1 + R_2)$$

x_{COP} y_{COP}

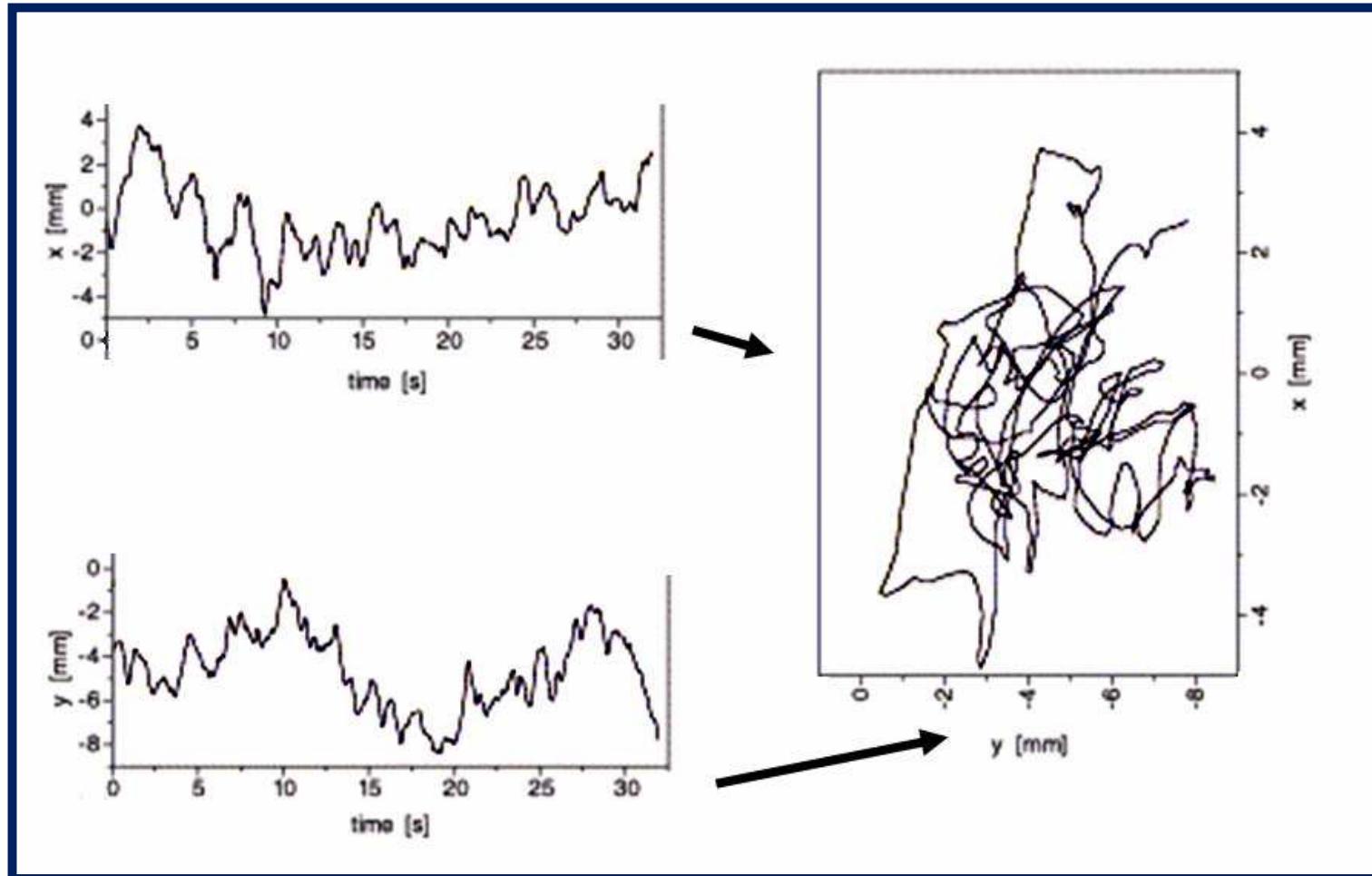


Se volontariamente il soggetto è in grado di evitare il movimento degli arti, la respirazione ed il battito cardiaco comportano spostamenti di masse che modificano l'equilibrio delle forze e richiedono continue compensazioni da parte dei muscoli cosiddetti 'posturali'

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

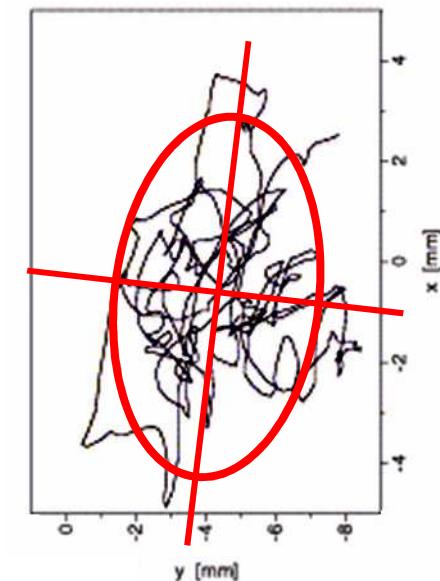
-lunghezza della traiettoria stessa* (durante 60 sec)

-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;

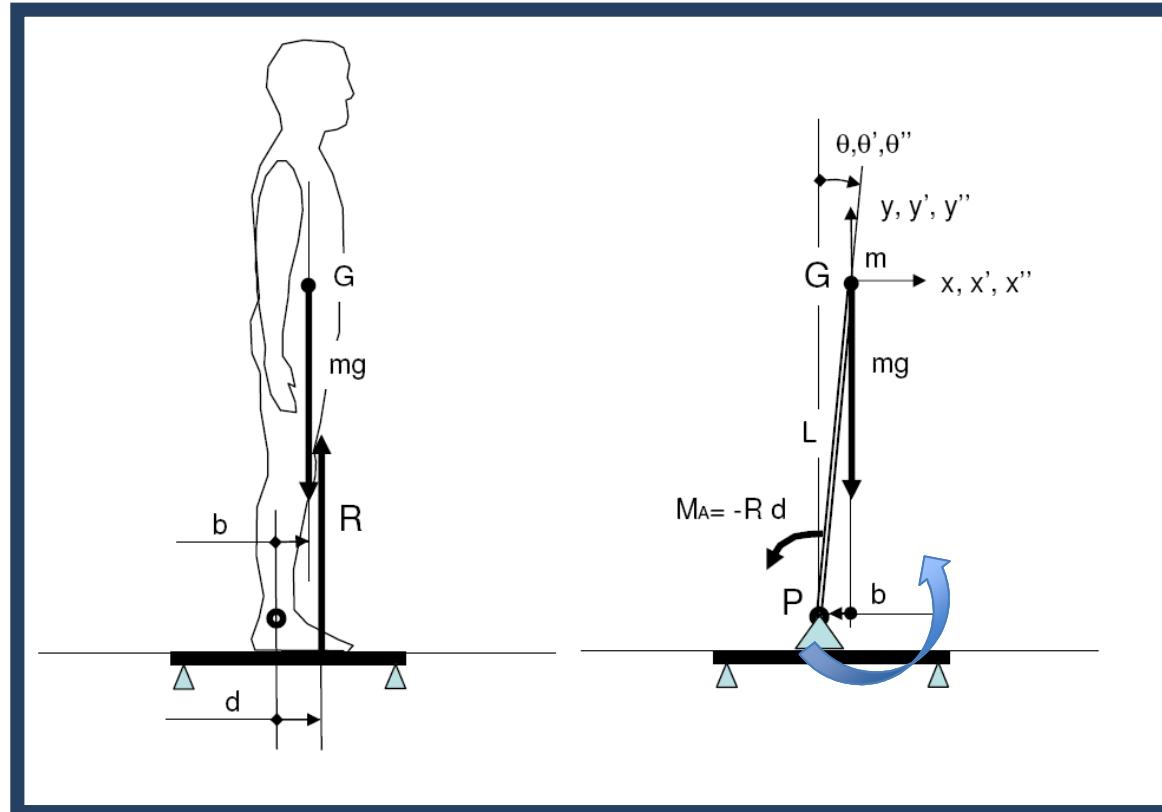
- area del cerchio di confidenza al 95%

- area dell'ellisse di confidenza al 95%



$$* L = \sum_1^N \sqrt{(x_i - x_{(i-1)})^2 + (y_i - y_{(i-1)})^2}$$

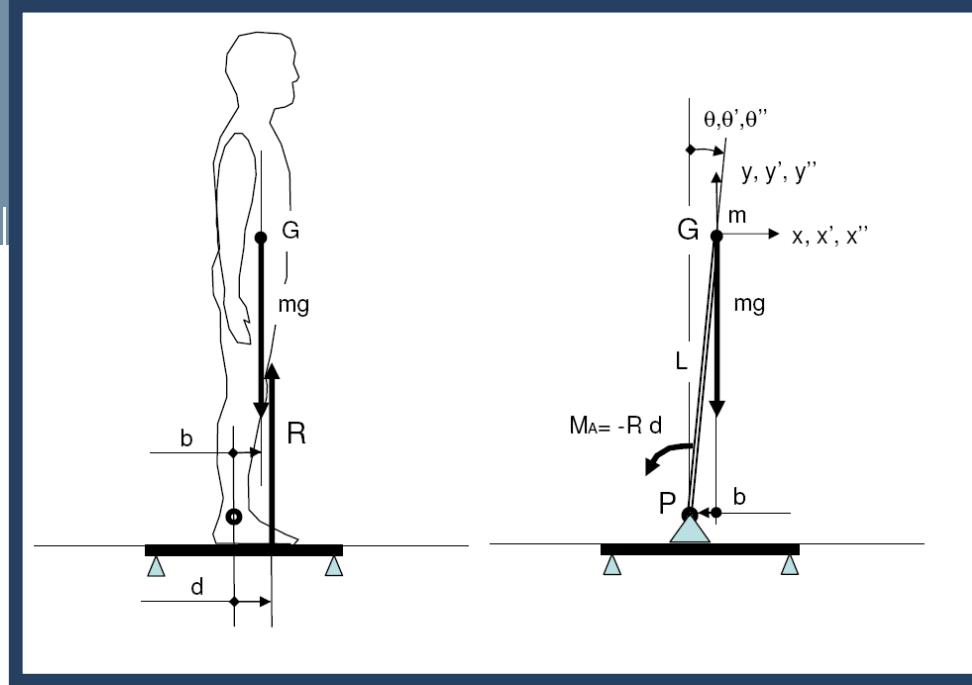
Analisi posturale dinamica: il Modello a Pendolo Inverso



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.



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

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

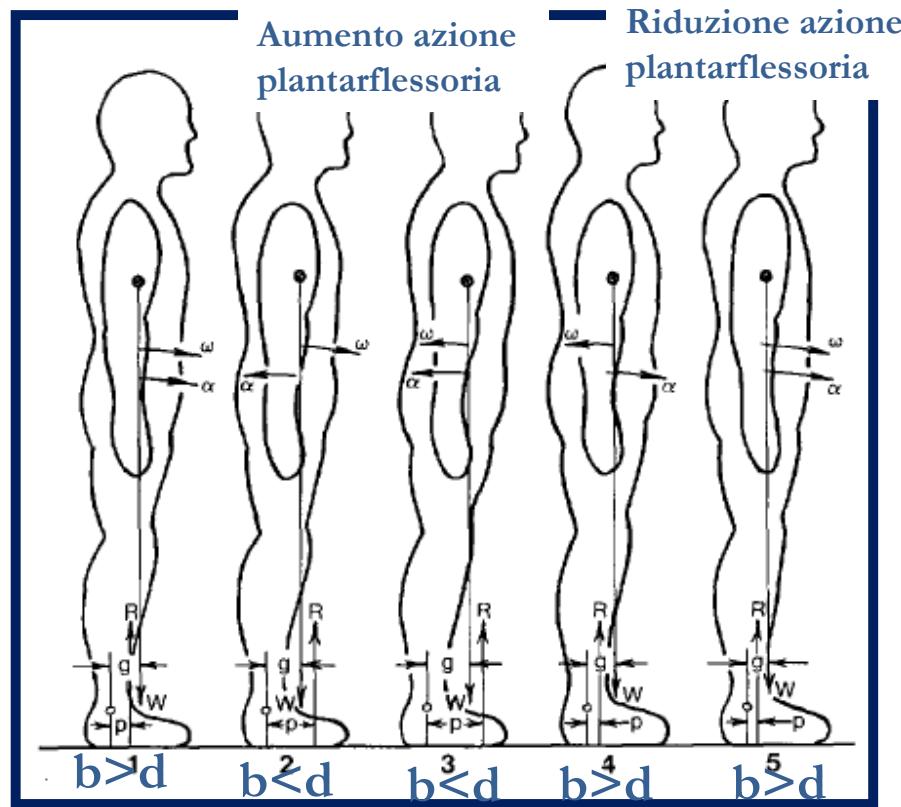
$$x = L\sin\theta; x' = L\theta'\cos\theta; x'' = L\theta''\cos\theta - L\theta'^2\sin\theta$$

$$b = L \sin\theta$$

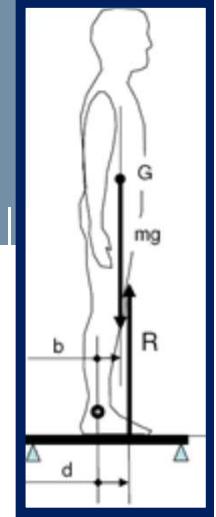
$$J_m = mL^2$$

svolgendo i prodotti risulta:

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



$$J_P = J_m + J_G$$



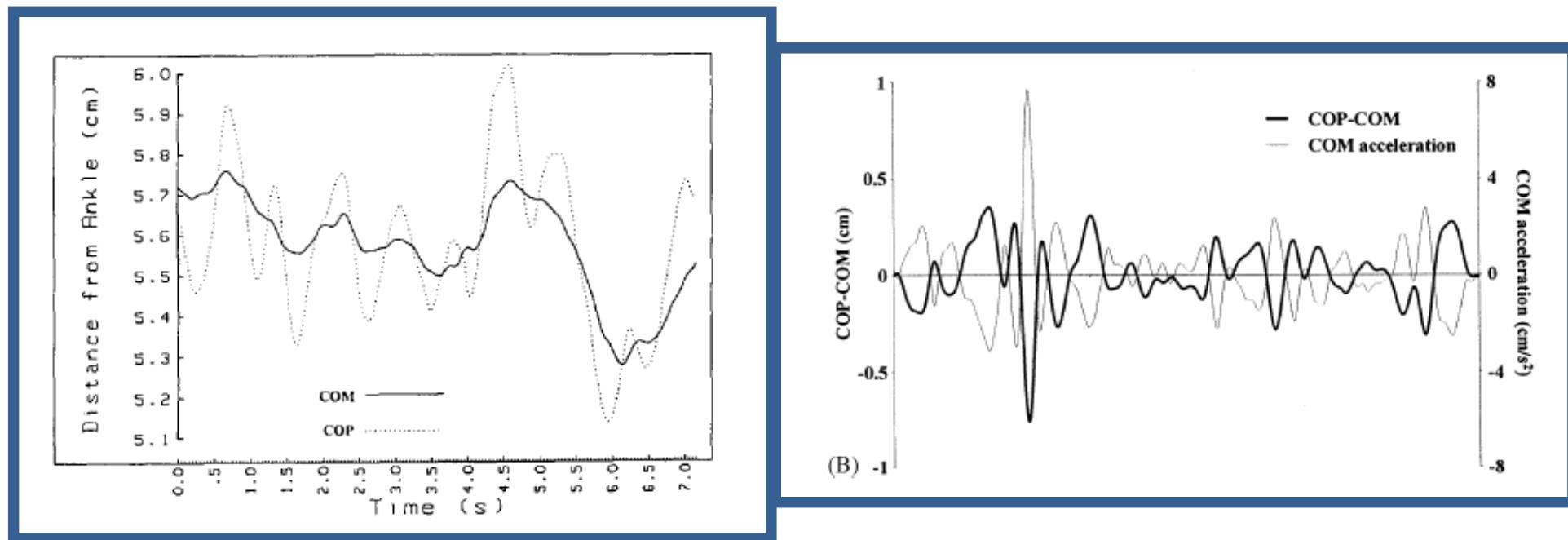
$$mg b - R d = J_P \theta''$$

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

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

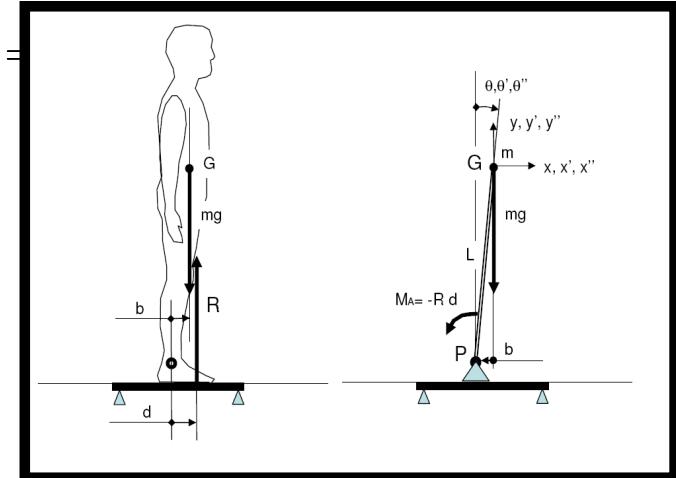
Winter D, Human balance and posture control during standing and walking, Review paper, Gait&Posture, 1995, vol.3 : 193-214

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



COM (b) COP(d)

Come si ottiene l'ascissa x del COM ?



METODO DELLA DOPPIA INTEGRAZIONE

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

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

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

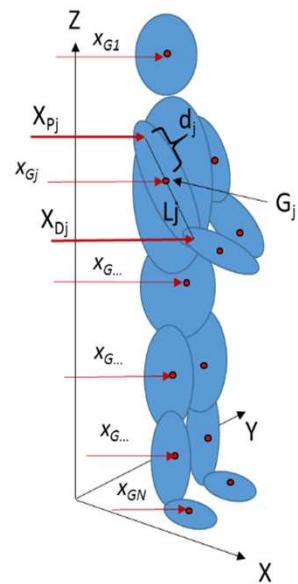
METODO GEOMETRICO

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

VINCOLI:

$$\frac{1}{T} \cdot \int_0^T COM_x(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T COP_x(t) \cdot dt$$

$$\frac{1}{T} \cdot \int_0^T v_X(t) \cdot dt = 0$$



$$r_j = d_j / L_j$$

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

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

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

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

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

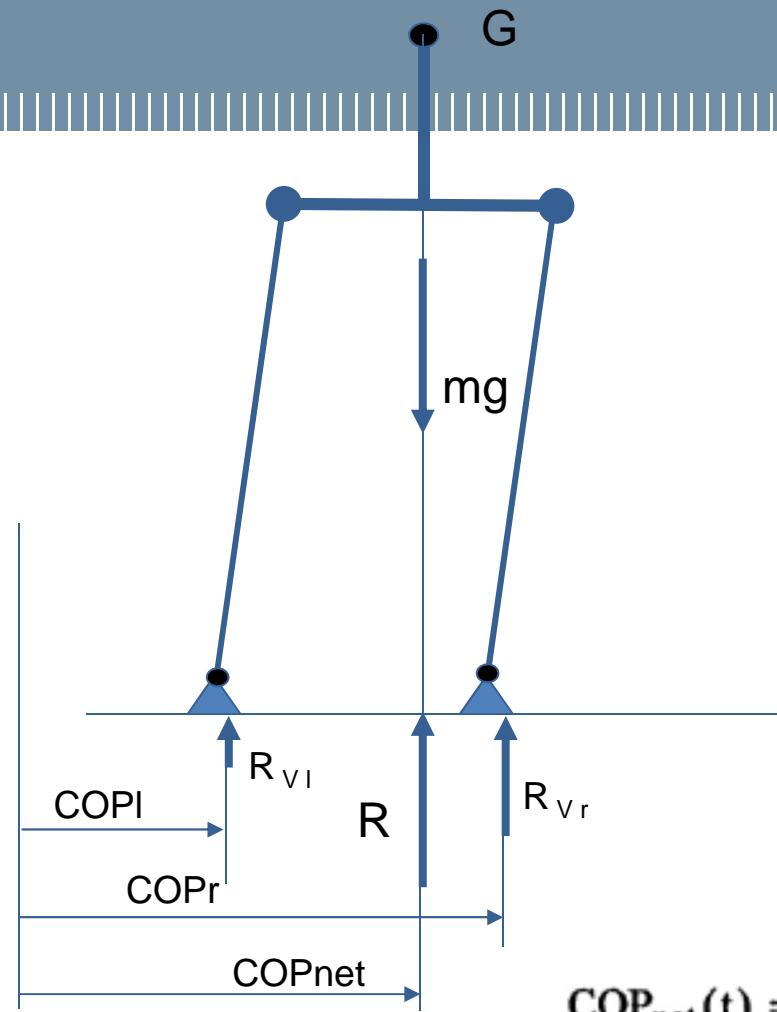
$$z_G = \sum z_{Gj} m_j / M$$

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

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

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

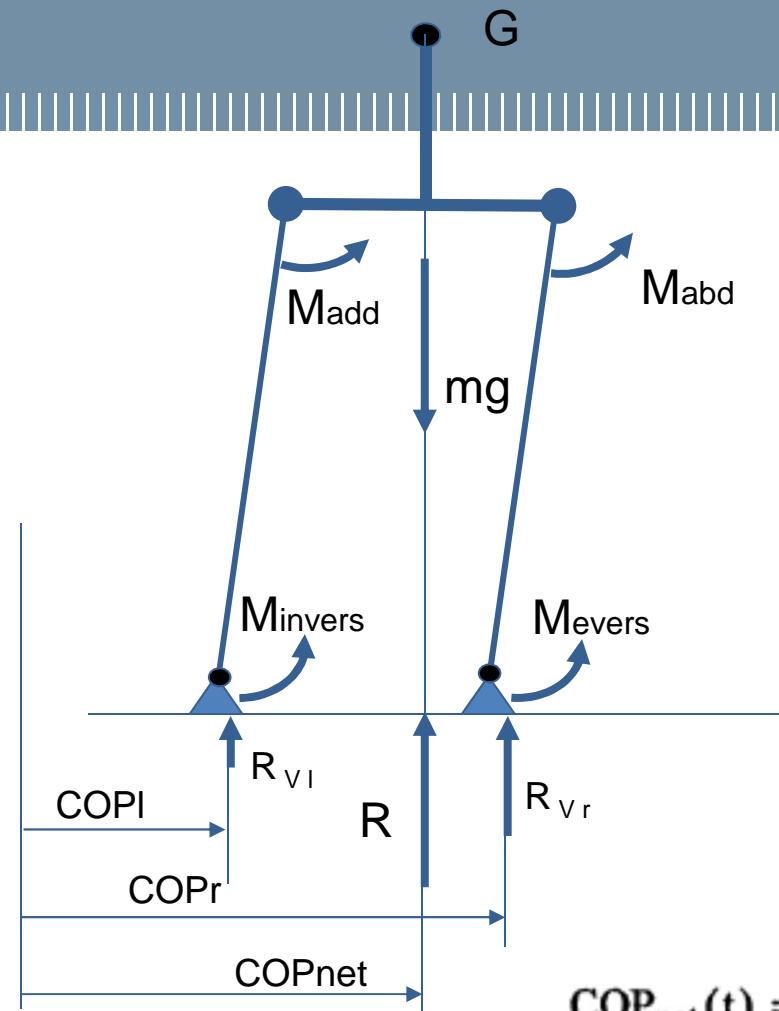
Piano frontale



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

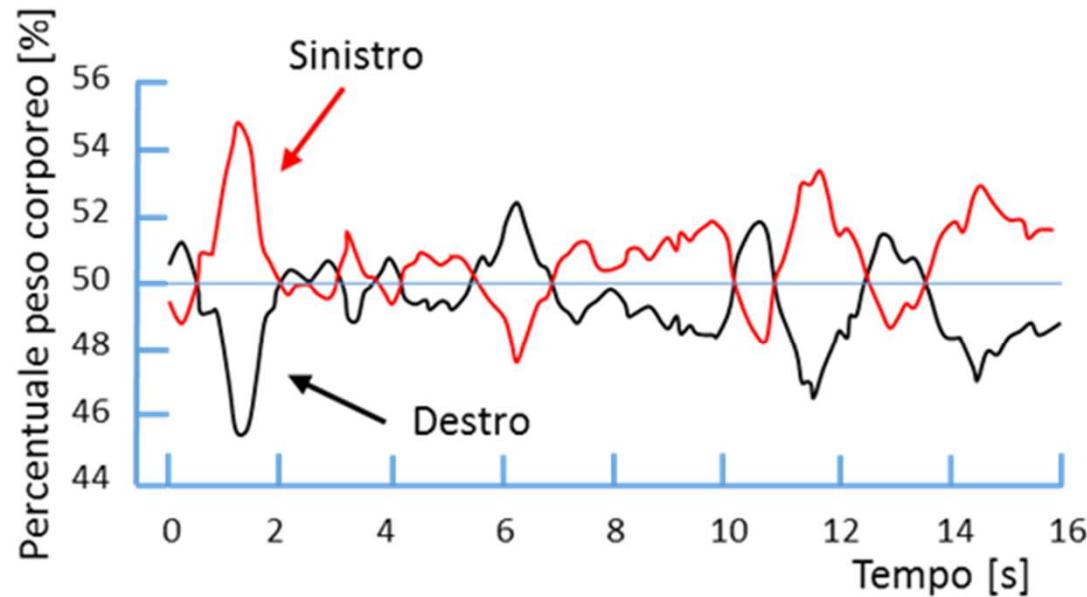
$$COP_{net}(t) = COP_l(t) \cdot \frac{R_{vl}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)} + COP_r(t) \cdot \frac{R_{vr}(t)}{R_{vl}(t) + R_{vr}(t)}$$

Piano frontale



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

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



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

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

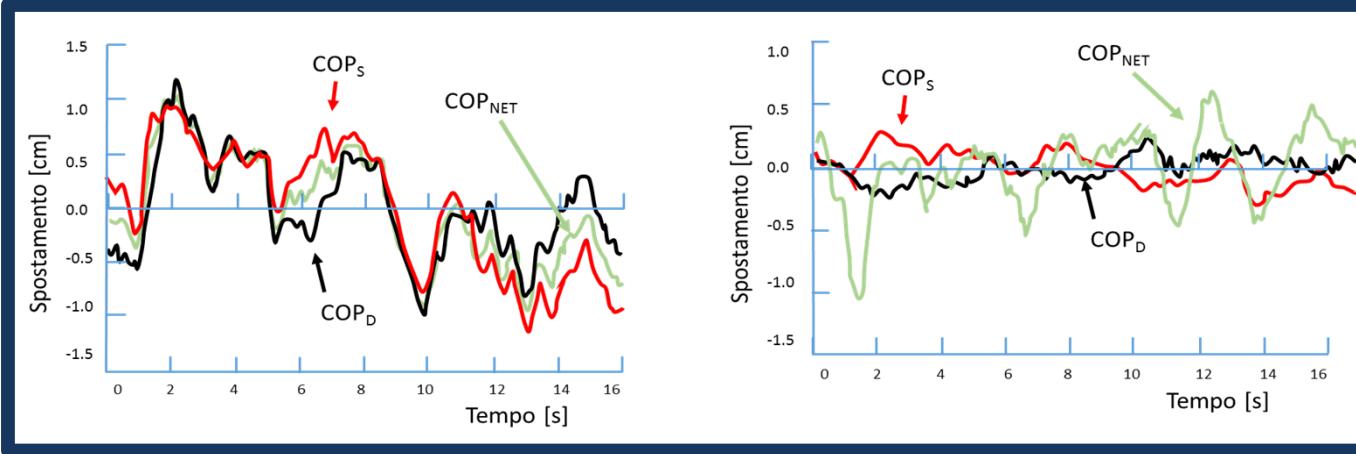
$$COP_c = COP_l \cdot 0.5 + COP_r \cdot 0.5$$

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:

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

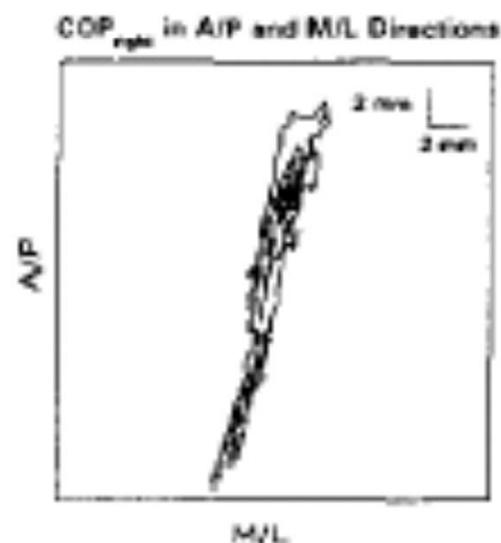
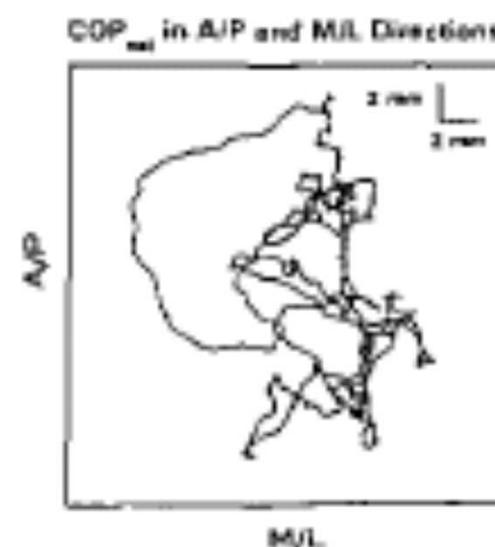
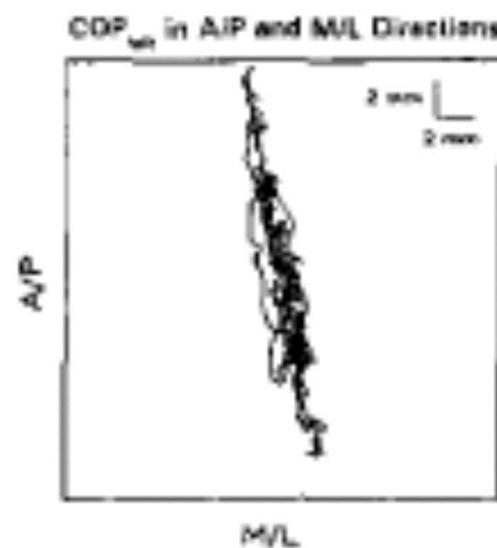
Nel senso medio-laterale si dimostra che COP_C e COP_V sono virtualmente indipendenti l'uno dall'altro.



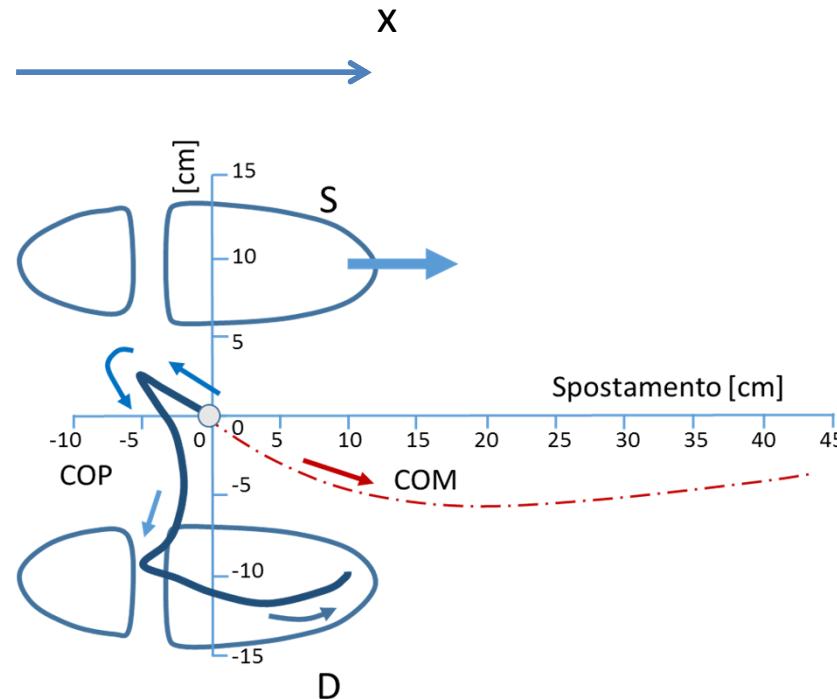
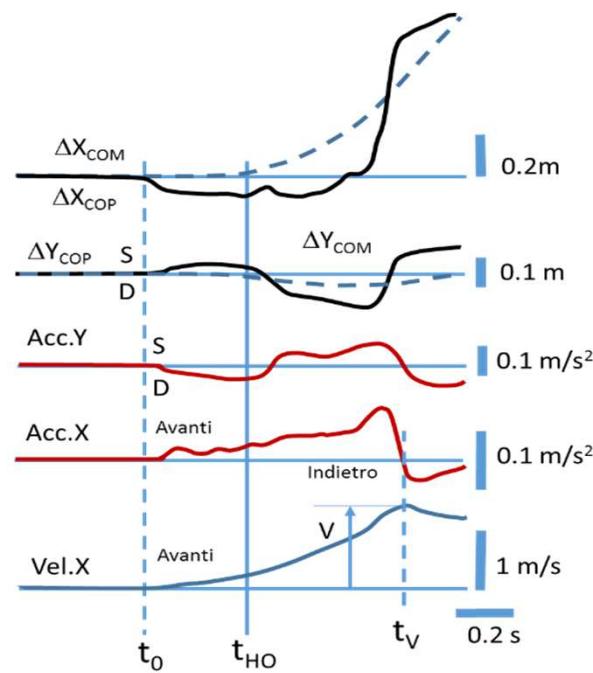
Piano Sagittale: COPI (o COP_S) e COPr (COP_D) si muovono **quasi allo stesso modo**, e COPnet sta in mezzo ai due

Piano Frontale: COPI e COPr si muovono in modo quasi indipendente l'uno dall'altro, e il COPnet cambia senza alcuna correlazione con COPI e COPr (**determinato dal controllo dei muscoli delle anche**)

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

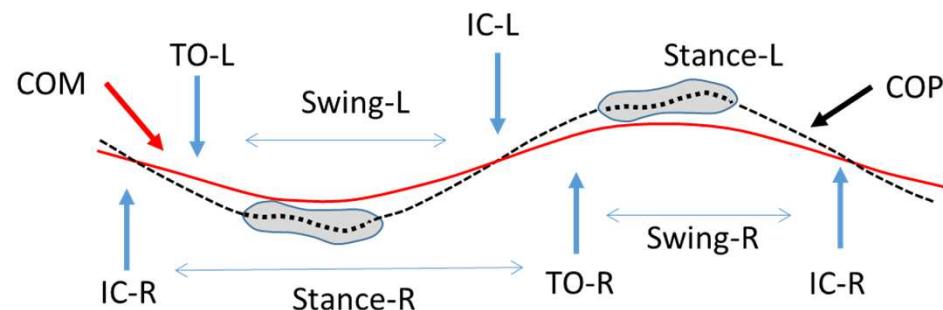
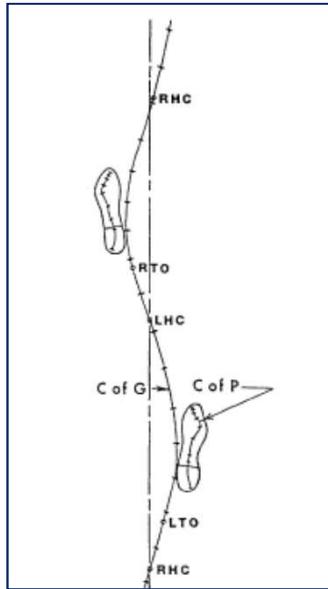


Inizio del cammino



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.