

Il corpo umano in equilibrio: Biomeccanica, Neuroscienze, Arte

Pietro Morasso

Superato il dualismo cartesiano le neuroscienze e la cibernetica stanno cominciando a capire che le capacità cognitive e l'intelligenza hanno una fondamentale base corporale: da qui il concetto di *embodied cognition*. Attività intellettive e capacità motorie sono due facce della stessa medaglia. Capire l'equilibrio, nelle sue mille sfaccettature, è un utile e divertente punto di partenza.



L'ambiente determina l'organizzazione delle forme di vita



Terra



Acqua



Aria



Luna



Spazio



Sulla terra l'influenza preponderante è il campo di forza gravitazionale



Isaac Newton

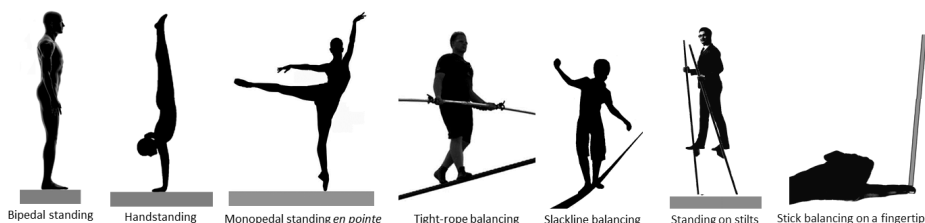
by Fritz Ahlfeldt

$$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$$



Sulla terra il problema principale è come sconfiggere la gravità:

- 1) Evitare le cadute
- 2) Acquistare/Perdere/Riacquistare l'equilibrio



Bipedal standing

Handstanding

Monopedal standing *en pointe*

Tight-rope balancing

Slackline balancing

Standing on stilts

Stick balancing on a fingertip



**Sulla terra il problema principale è come
sconfiggere la gravità:**

- 1) Evitare le cadute**
- 2) Acquistare/Perdere/Riacquistare l'equilibrio**

Due strategie possibili:

A) Strategia Opportunistica "passiva":

Sfruttare l'effetto giroscopico dei corpi rotanti

B) Strategia Cibernetica "attiva":

Controllo a feedback in anello chiuso con due varianti

B1: CoP strategy

B2: CoM strategy

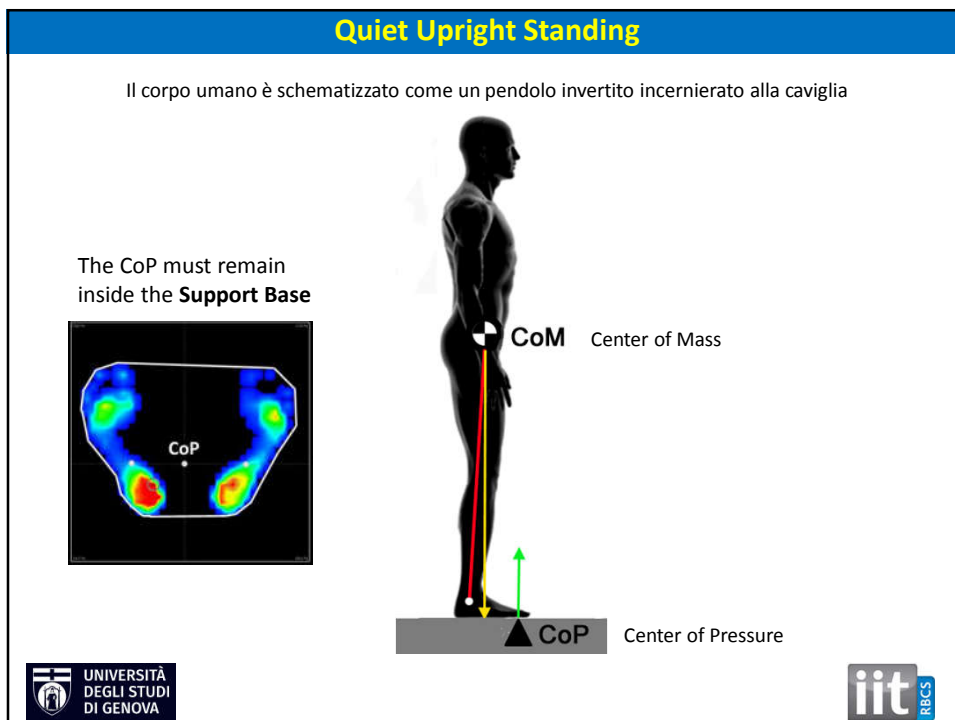
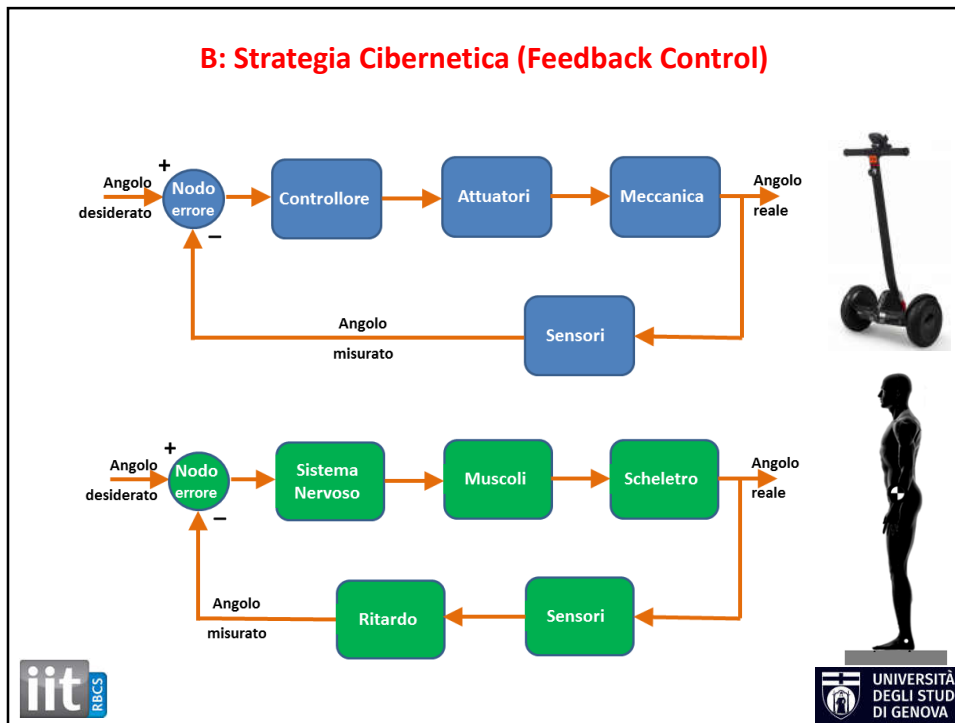


**A: Strategia Opportunistica:
sfruttare l'effetto giroscopico dei corpi rotanti**

L'effetto giroscopico è un fenomeno fisico che si verifica in corpi in rotazione, dovuto alla legge della conservazione del momento angolare.

P.e. nella trottola la gravità tende ad iniziare la caduta ma l'effetto giroscopico "devia" l'asse di spinning provocando un moto di precessione.





Quiet Upright Standing

$T_{grav} - T_{mus} = I \ddot{\theta}$

$T_{mus} = T_{passive} + T_{active}$

Gravity destabilizing torque

Muscle restabilizing force

PEC connective tissue, SEC, CC, Cross-bridge

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA iit RBCS

Quiet Upright Standing

Postural sway – Oscillazione posturale
Sagittal Plane

CoM

CoP

Le oscillazioni del CoM sono misurate e rese disponibili al SNC attraverso:

- Visione
- Sistema vestibolare
- Propriocezione

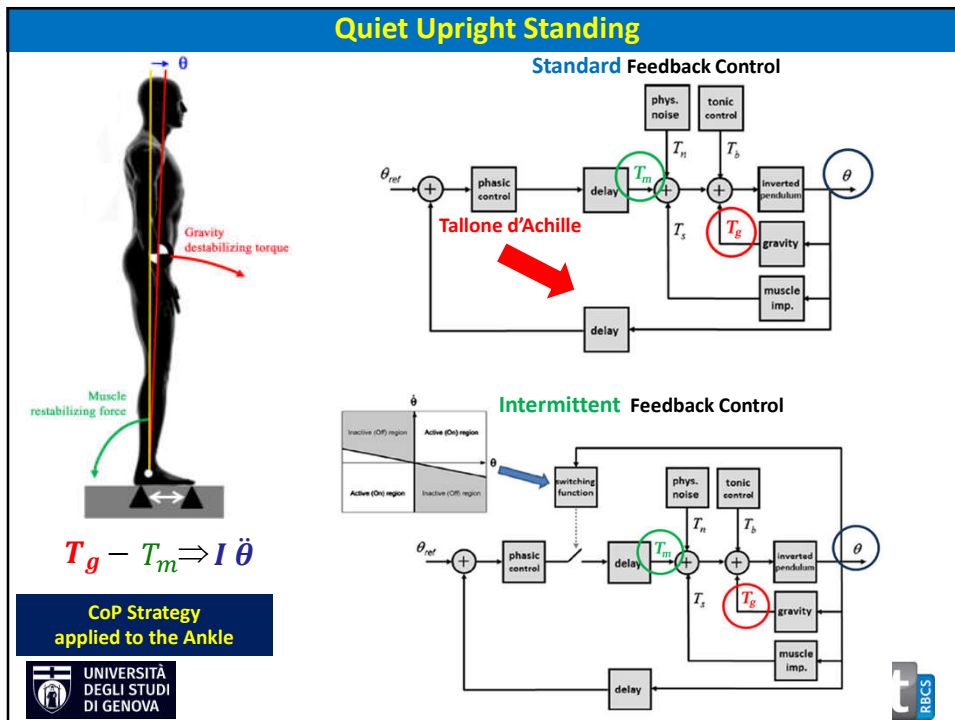
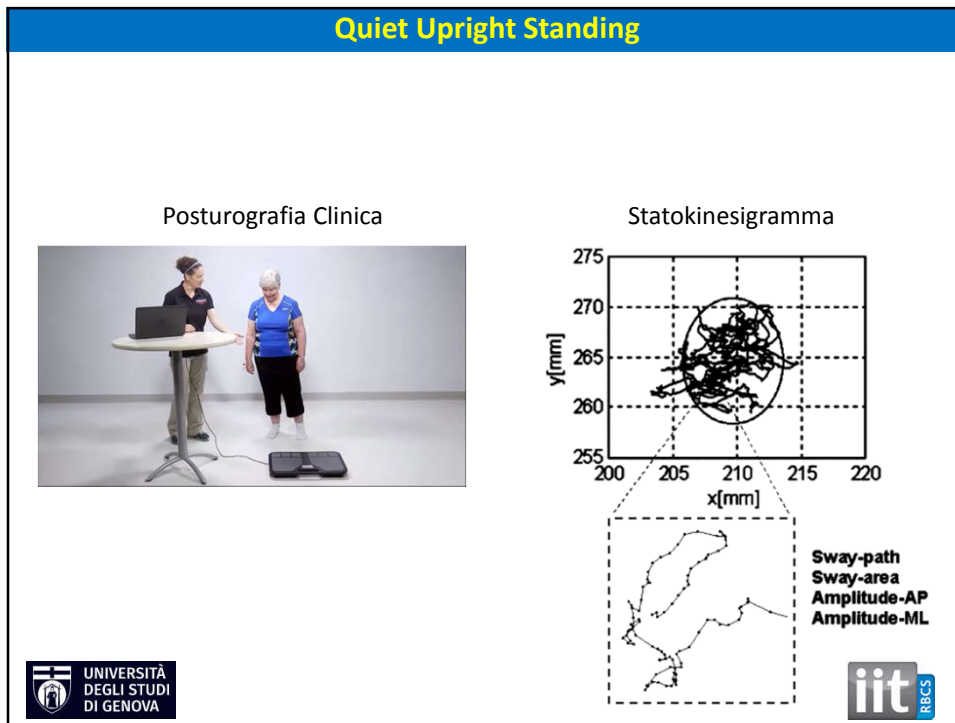
COM [mm], COP [mm], time [s]

CoP Strategy applied to the Ankle

Misura del CoM → Attivazione muscoli della caviglia → Spostamento del CoP

Da dove scaturiscono le oscillazioni posturali?

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA iit RBCS



Quiet Upright Standing

$T_g - T_m \Rightarrow I \ddot{\theta}$

CoP Strategy applied to the Ankle

Da dove scaturiscono le oscillazioni posturali?

- Rumore fisiologico (include battito cardiaco e respirazione)
- L'attivazione discontinua del controllo a feedback

Intermittent Feedback Control

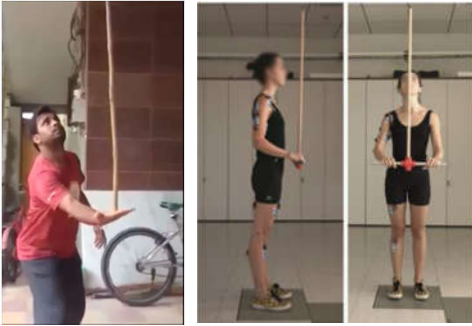
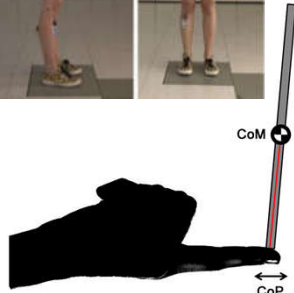
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA

Handstanding

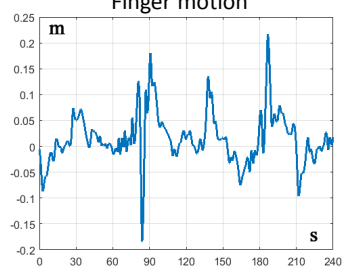
CoP Strategy applied to the Wrist

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA

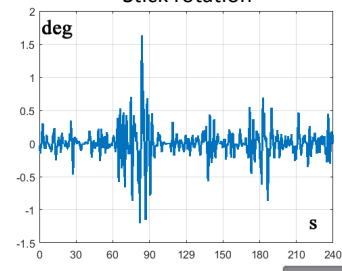
Inverted pole balancing





Finger motion




Stick rotation





**CoP Strategy
applied to the Finger**



From the CoP strategy to the CoM strategy

The CoP strategy fails if the Support Base is strongly reduced, at least in one dimension because the CoP must remain inside the Support Base

↓

CoM strategy = shifting the global CoM around the CoP-vertical.

Tightrope walking





**M-L CoM Strategy
applied to the balancing rod**

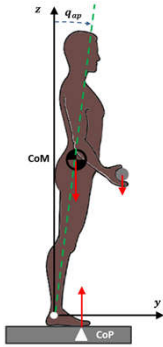


**M-L CoM Strategy
applied to upper and lower limbs**





Tightrope Walking

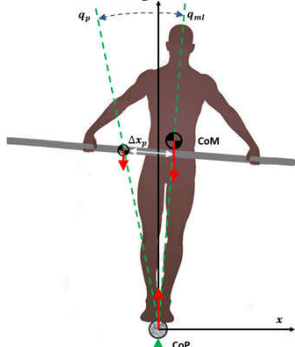


CoP Stabilization Strategy (Antero-Posterior direction)

On-phase
 Activation condition: $q_{ap}(t - \delta) \cdot \dot{q}_{ap}(t - \delta) \geq 0$
 Control Action: $T_{ap}(t) = P_{ap} q_{ap}(t - \delta) + D_{ap} \dot{q}_{ap}(t - \delta)$

Off-phase
 Dis-activation condition: $q_{ap}(t - \delta) \cdot \dot{q}_{ap}(t - \delta) < 0$
 Control Action: $T_{ap}(t) = 0$

A-P CoP Strategy applied to the ankle



COM Stabilization Strategy (Medio-Lateral direction)

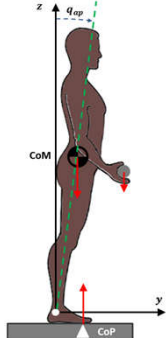
On-phase
 Activation condition: $q_{ml}(t - \delta) \cdot \dot{q}_{ml}(t - \delta) \geq 0$
 Control variable: $\Delta x_p(t) = -P_{ml} q_{ml}(t - \delta) - D_{ml} \dot{q}_{ml}(t - \delta)$

Off-phase
 Dis-activation condition: $q_{ml}(t - \delta) \cdot \dot{q}_{ml}(t - \delta) < 0$
 Control variable: $\Delta x_p(t) = 0$

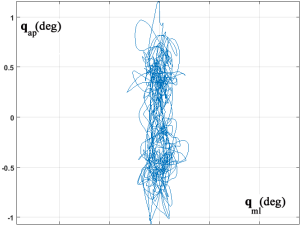
Control Action
 $q_p = \frac{LFF(\Delta x_p)}{h_{com}} + q_{ml} \rightarrow T_{ml}(t) = m_p g h_{com} q_p$

M-L CoM Strategy applied to the balancing rod

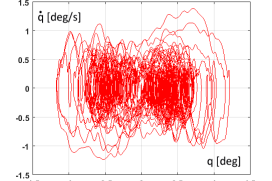
Tightrope Walking



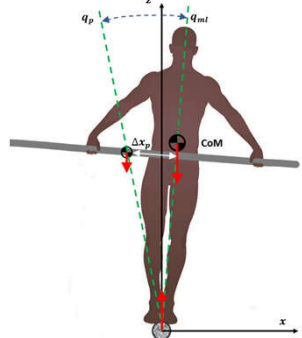
Statokinesigram



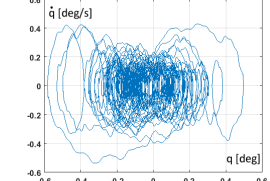
Phase Portrait Antero-Posterior



A-P CoP Strategy applied to the ankle



Phase Portrait Medio-Lateral



M-L CoM Strategy applied to the balancing rod

Trave di Equilibrio



A-P CoP Strategy applied to the ankle

M-L CoM Strategy applied to the whole-body



Arabesque

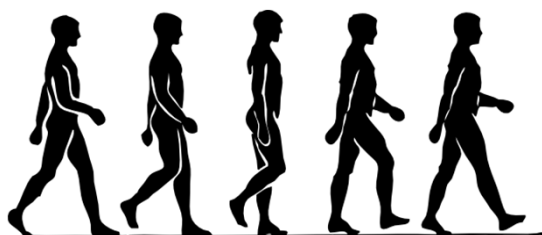


CoM Strategy applied to the Whole Body



Dall'equilibrio al movimento

Il cervello controlla la generalità delle nostre azioni, da quelle più semplici come camminare a quelle più complesse come i gesti sportivi o la danza, come un processo fluido, apparentemente continuo ma punteggiato da configurazioni di equilibrio



... ogni azione parte da un punto di equilibrio ... che viene perso per produrre un segmento di azione ... viene riacquisito ... viene riperso ... viene riacquisito ... viene riperso , generando un percorso come in un giardino giapponese.



Postura e Movimento: Antinomie e Complementarietà

CONTINUITA' ↔ DISCONTINUITA'
(movimento)

PIENO ↔ VUOTO
(scultura)

SUONO ↔ SILENZIO
(musica)

YIN ↔ YANG
(tao)



Embodied Cognition

Equivalenza neurale/mentale dei gesti reali (overt) e dei gesti immaginati (covert).



Come nell'iceberg, la grande maggioranza dei gesti generati dal cervello sono "invisibili", ma essenziali per dare "senso" all'azione

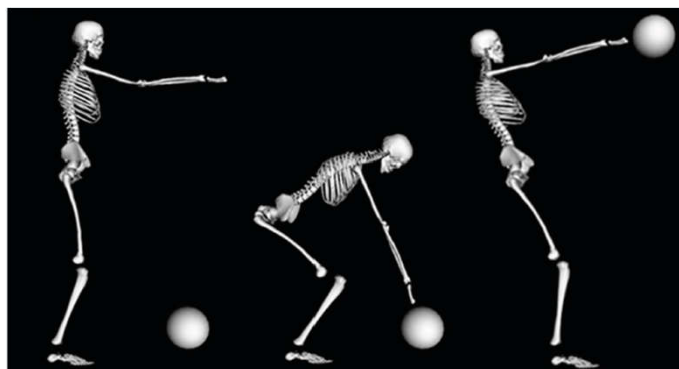


Motor Imagery
(sport training, motor rehabilitation ...)



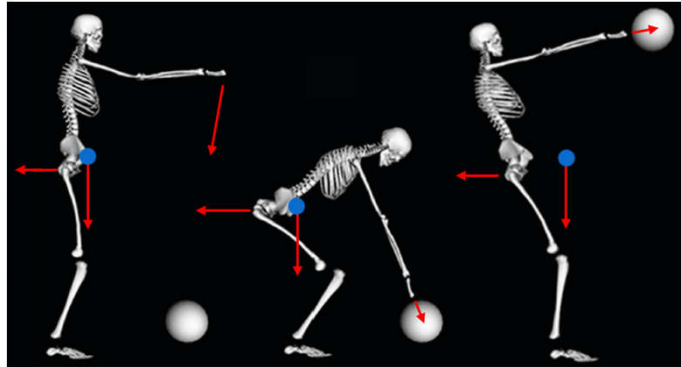
Dall'equilibrio al movimento: i campi di forza

Il motore computazionale che rende possibile la transizione da un punto di equilibrio al successivo è basato su **campi di forza**, di tipo **attrattivo** o **repulsivo**, che rappresentano forze reali (p.e. la gravità) o forze virtuali (p.e. la volontà di colpire un bersaglio).



Dall'equilibrio al movimento: i campi di forza

Il motore computazionale che rende possibile la transizione da un punto di equilibrio al successivo è basato su **campi di forza**, di tipo **attrattivo** o **repulsivo**, che rappresentano **forze reali** (p.e. la gravità) o **forze virtuali** (p.e. la volontà di colpire un bersaglio).

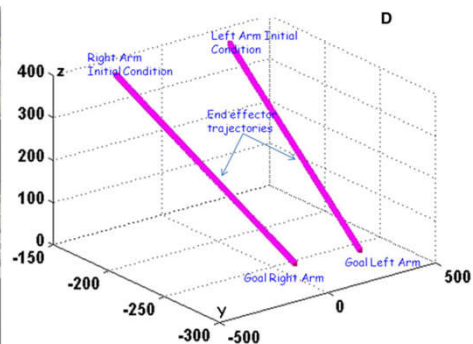


Il campo di forza rompe un equilibrio e spinge lo schema corporeo verso quello successivo.



Dall'equilibrio al movimento: i campi di forza

Il motore computazionale che rende possibile la transizione da un punto di equilibrio al successivo è basato su **campi di forza**, di tipo **attrattivo** o **repulsivo**, che rappresentano **forze reali** (p.e. la gravità) o **forze virtuali** (p.e. la volontà di colpire un bersaglio).



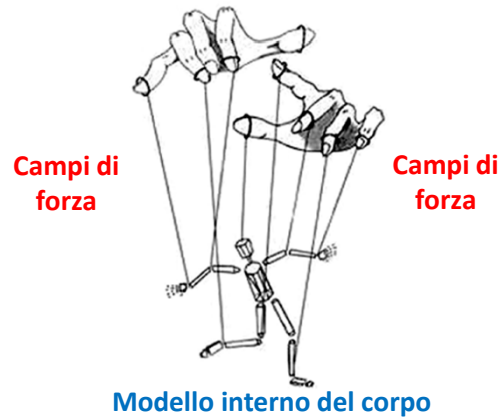
Il campo di forza rompe un equilibrio e spinge lo schema corporeo verso quello successivo.



Campi di forza: animazione di un modello interno

I **campi di forza** agiscono su un **modello interno del corpo** che viene **animato** per ideare o eseguire un **gesto**.

Animazione ↔ Intenzionalità



Motor Imagery ⇒ Dance Imagery



These ideas resonate well with the mindset of **Tai Chi Chuan** and **Dance Imagery**

What matters is not the sequence of movements but the **flow of (real or imagined) force fields** that operate as **synergy formation operators**



Sifu May Chen



MikroMakroKosmoKomplex Dance/Choreo: Martina Morasso
Bühnenball Mittelsächsisches Theater Freiberg, Prm. 29.01.2016



zaira.morasso@nexgo.de



Thank you for your attention

pietro.morasso@iit.it

