

Capitolo 3 &4 Nicoletti  
Controllo motorio a circuito chiuso e  
aperto

# Controllo Motorio

- Come vengono controllati i movimenti
- In che modo vengono pianificati
- In che modo vengono eseguiti
- Quali sono le leggi che li regolano
- Come si collega il cervello con le percezioni e con l'atto motorio vero e proprio

# Controllo Motorio

- Studia in particolare:
  - Le posture
  - Le azioni da semplici a complesse
  - Il cambiamento delle azioni (adattamenti/ apprendimenti)
- Studio della interazione fra programmi e/o comandi centrali e feedback periferici

# Controllo motorio

- Studia come 'l'informazione' viene:
  - Rilevata (es dai recettori)
  - Analizzata (es dal sistema nervoso centrale)
  - Utilizzata (es dal sistema effettore muscoli)

# Controllo periferico o centrale?

- Generale accordo sull'esistenza del controllo del movimento
- Meno chiaro come il controllo si attua
- Diversi modelli di funzionamento:
  - Controllo periferico (a circuito chiuso)
  - Controllo centrale (a circuito aperto)

# Controllo periferico (CChiuso)

- Si basa sulle informazioni sensoriali che dalla periferia vengono inviate al centro e aggiornano il sistema sull'andamento dell'esecuzione del movimento
- Da ognuno di questi feedback il sistema trae informazioni ed effettua correzioni sul movimento in corso
- Sherrington (1895) propriocezioni

# Controllo centrale (CAperto)

- Feedback distale non sempre necessario
- Il sistema centrale attraverso dei programmi motori è in grado di specificare tutte le informazioni necessarie per l'esecuzione del movimento
- Lashley (1917) mostra l'esecuzione di movimenti corretti in assenza di feedback

# Controllo motorio a circuito chiuso

- Il circuito prevede:
  - Azione da compiere
  - Rilevamento del primo movimento effettuato
  - Relativo feedback retroattivo
  - Confronto tra movimento pianificato ed eseguito
  - Conseguente modificazione dell'azione



# Esempio

- Sistema di riscaldamento
  - Parte che definisce lo scopo: termostato (definizione della temperatura)
  - Parte che rileva la temperatura dell'ambiente (sensori/feedback)
  - Parte che confronta la temperatura attuale e quella che si vuole raggiungere
  - Correzione della discrepanza (errore)

# Esempio

- Muovere una mano da un punto A ad un punto B
  - Sistema motorio inizia il movimento attraverso la parte esecutiva inviando i comandi ai muscoli come parte effettrice
  - L'attività dei muscoli dà luogo ad un feedback che informa la parte esecutiva riguardo al movimento che si sta attuando
  - La parte esecutiva analizza il feedback in arrivo ed in caso di discrepanza aggiusta l'errore

# Feedback Recettori

- **Propriocettori**
  - Informazioni relative alla posizione dei segmenti corporei nello spazio e nel tempo
- **Esterocettori**
  - Informazioni relative all'ambiente circostante

# Propriocettori

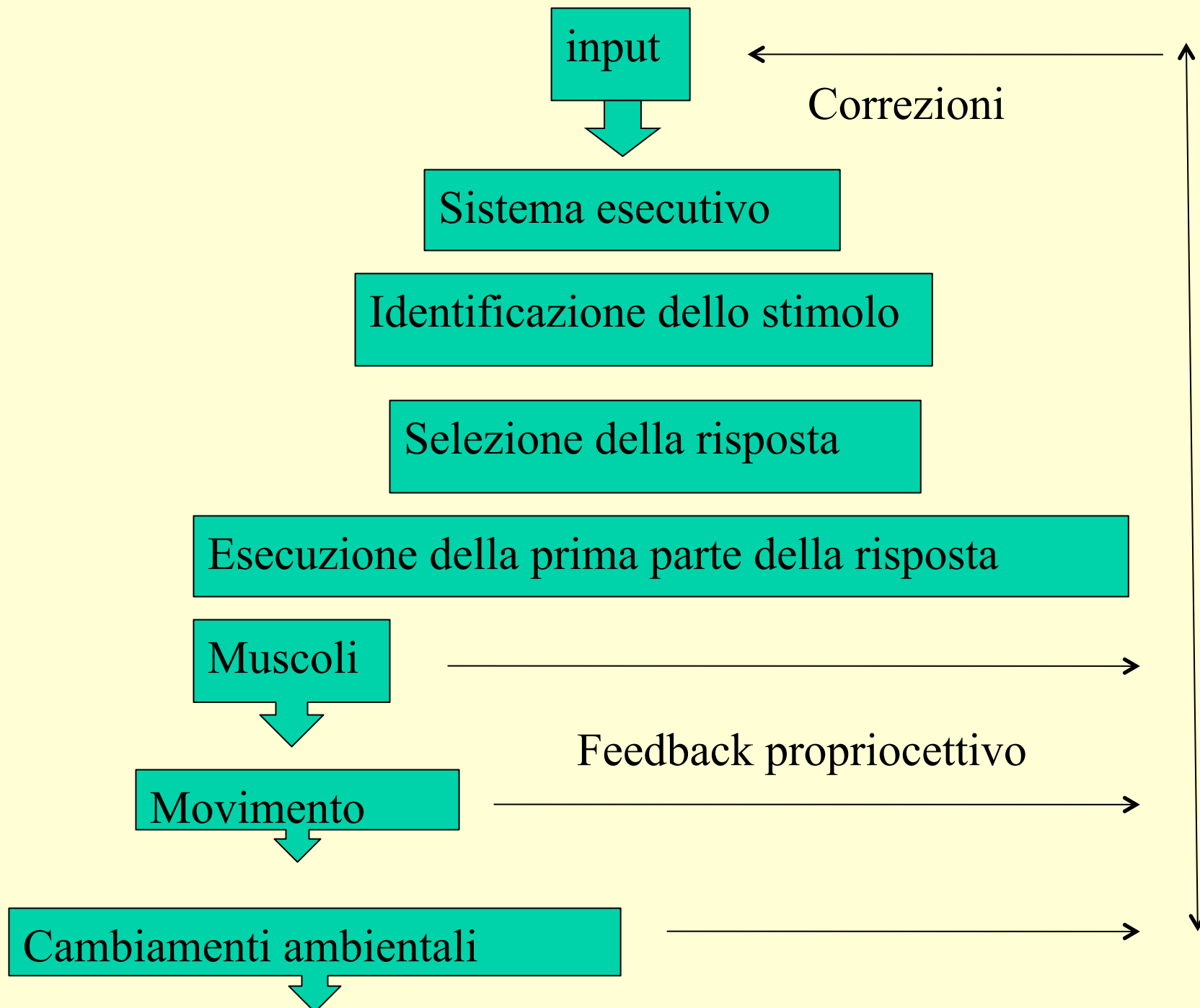
- Fusi Neuromuscolari
  - Quando il muscolo si allunga aumenta la frequenza di scarica della fibra muscolare afferente
  - In questo modo il fuso informa i centri motori del sistema nervoso centrale
- Organi tendinei del Golgi
  - Rilevano lo stato di tensione del muscolo

# Esterocettori

- Recettori della pelle
- Vista
- Udito
- Olfatto
- Recettori gustativi

# Informazione generale

- L'insieme delle informazioni provenienti dai propriocettori ed esterocettori permette di avere consapevolezza delle azioni
- Nessun recettore isolatamente è in grado di fornire questa consapevolezza



# Esempio

- Guidare la macchina
- Problema dato da movimenti che devono essere eseguiti in un tempo molto breve

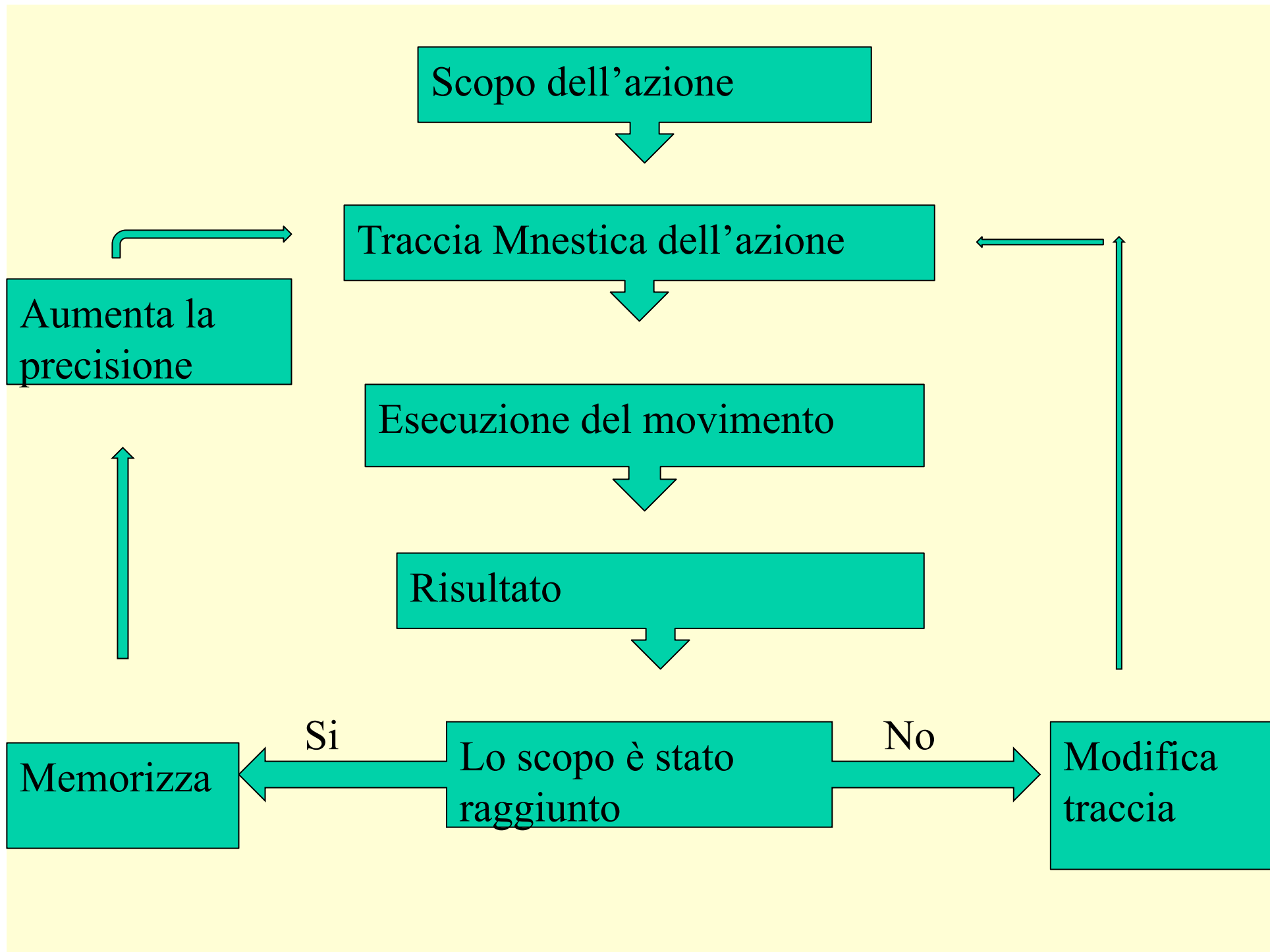


# Teoria di Adams (1971)

- Teoria che si basa sulla modalità di rilevazione e di correzione dell'errore
- Deve prevedere l'esistenza di un meccanismo che fornisca la conoscenza della correttezza del movimento che si vuole effettuare
- E' necessaria l'informazione relativa ai risultati del movimento che si sta eseguendo la quale deve poter essere confrontata con il movimento che si vuole eseguire

# Traccia Mnestica

- Traccia percettiva = immagine motoria
- Traccia mnestica = rappresentazione del movimento
- 1- presenza di un sistema periferico
- 2- rappresentazione interna del movimento



# Circuito Chiuso e apprendimento motorio

Feedback diversi portano ad apprendimenti motori diversi

- KR conoscenza del risultato

# Feedback: KR

- Esperimento Trowbridge Cason (1932)
  - Feedback: casuale, assente, qualitativo  
quantitativo (meglio no feedback del qualitativo)
- KR (Newell, 1974) : produrre un movimento di una data lunghezza in 150 ms
  - E' importante all'inizio dell'apprendimento
  - Deve essere resa disponibile con una certa quantita'
  - Ha effetti di ritenzione (memoria)

# KR: dove è utile e dove no?

- KR deve essere relativa al compito motorio
- KR deve essere precisa
- KR se non e' rilevante e' negativa
- KR deve essere applicata con una certa quantita'

# Problemi della KR

- La KR funziona prevalentemente per movimenti molto semplici (1DoF, puntamento e/o raggiungimento di un bersaglio)
- Aumentando la KR dopo un certo livello di apprendimento non aumenta la performance

# Apprendimenti motori e condizioni di pratica diversificata

- Eseguire 1 stesso movimento ma in condizioni di pratica diverse migliora l'apprendimento ed il suo mantenimento
- (Shea, Morgan 1979)



# Lancio di pesi (Carson & Wiegand, 1979)

- Bambini 2 gruppi
  - Gruppo A: lancio di un peso
  - Gruppo B: lancio di diversi pesi
- Performance: lancio di un peso nuovo:
  - migliore gruppo B

# Perche' una pratica piu' variegata funziona meglio?

- La KR come conoscenza dichiarata (che cosa si e' fatto) contiene poca informazione utile
- KP come conoscenza di procedura (come lo si e' fatto) funziona meglio
- differenza fra sapere che cosa e sapere come

# KR e KP

- Wrisberg & Schmith (1975)
  - apprendimento motorio in assenza di KR:  
ritrovare la posizione di un arto nello spazio
  - qui avviene una conoscenza del risultato a  
livello propriocettivo
- KP conoscenza performance
  - Newell et al. (1983)

# KP: Conoscenza Performance

- L'informazione, per movimenti a molti gradi di libertà, deve essere specifica sulla modalità di esecuzione del compito motorio

Lancio della palla (Kernodle, Carlton, 1992):

– 4 tipi di informazione: KR, KP, KP+A, KP+E

# Esperimento

- 48 soggetti (10-40 anni)
- Lancio di una palla (30g) il + distante possibile lungo una linea, mano non dominante
- Videocamera 4 sett. 12 sess. 12 prove (tot 600)
- KR → Distanza misura
- KP → Videotape del movimento
- KP+F → Focalizzare dove (video)
- KP+C → Cosa cambiare (video)

## KP+A, KP+E

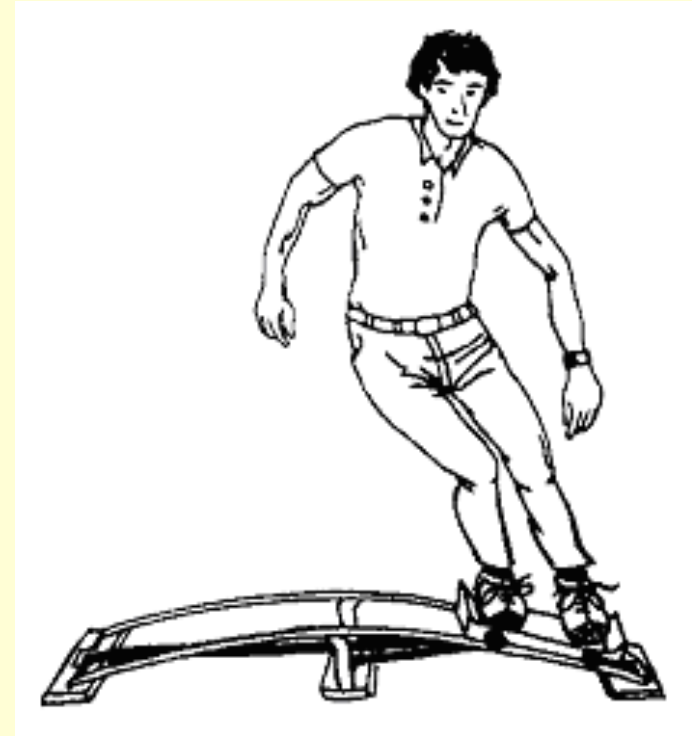
- KP+F → “Focalizza”:
  - Diverse Posture,
  - Diverse parti dell’arto superiore
  - Diverse fasi del movimento
- KP+C → “Cambia”:
  - Diversi allineamenti corporei,
    - rotazioni, posizione iniziale, ritarda e/o anticipa parti del movimento

# Risultati

- Migliori:
  - KP+F (focalizzare)
  - KP+C (cosa correggere)

# KP: Simulatore per lo sci

- **Cinque condizioni:**
  - veloce, lento, preferito, incrementato, controllo
- **Tre Variabili osservate**
  - Ampiezza, frequenza, armonia
- **Risultati in ordine di performance:**
  - Frequenza preferita
  - Controllo
  - Frequenza incrementata
  - Alta frequenza
  - Bassa frequenza





# Apprendimento

- L'apprendimento per “scoperta autonoma” (Controllo) risulta essere migliore di almeno tre tipi di KP
- Il tempo preferito è il migliore in assoluto il che ci porta a tener conto dei “vincoli” dati dai parametri corporei
- Si apre l'ipotesi della costruzione dei movimenti appresi come ricerca individuale per l'apprendimento motorio fra vincoli e gradi di liberta'

# Lato debole del CChiuso

- Sensori hanno un tempo di latenza che dipende dalla soglia fisiologica
- queste latenze a volte sono troppo ampie
  - circuito visivo
- per molti movimenti dove la correzione veloce e' indispensabile il CC non funziona
  - Reagire velocemente ad uno stimolo
- ma... Fuchs 1969, latenza stiramento muscolo e risposta cervelletto solo 4 ms

Inoltre il controllo di un movimento non è sempre adeguato: può essere ingannato dalla natura delle diverse informazioni provenienti dai diversi recettori

- **Propriocettori:**
- **Vibrazioni su organi muscolari e tendinei**
  - posizione nello spazio viene sfalsato
- **Esterocettori:**
- **Treno che parte vicino a noi, illusioni**
  - la vista ha un ruolo predominante

# Controllo motorio a circuito aperto

- Tipo di controllo che può avvenire anche in assenza di feedback
- Questo può avvenire se si ipotizza a livello centrale una rappresentazione o una programmazione dei movimenti
- Idea del programma motorio

# Feedback e Programma Motorio

- Controllo a circuito chiuso: feedback
  - Movimenti lenti
- Controllo a circuito aperto: Programma Motorio
  - Movimenti veloci

# Come funziona il programma motorio?

- Presuppone:
- Stimolo esterno o interno
- La volontà di esecuzione
  - Attivazione delle aree cerebrali dove hanno sede i programmi motori
- Comando motorio
  - Inviato ai muscoli
- Movimento
  - Il movimento effettuato attiva il feedback (propriocettori, esteroceettori)
- Feedback arrivano al centro di confronto
  - Confrontati con i feedback teorici previsti dal programma motorio
- Il programma può essere quindi corretto

# Come fare a testare il PM?

- Se in assenza di un flusso delle vie sensitive afferenti si puo' ancora effettuare correttamente un movimento allora esiste un PM
- Studi su animali
- Studi sugli umani

# Studi su animali

- Scimmie recise le vie sensoriali di 1 arto
  - L'immobilizzazione dell'arto sano porta all'uso dell'arto offeso
  - grooming del gatto e arto fantasma
- Feedback non necessario per un movimento imparato ma necessario per imparare



# Studi sugli umani

- Lashley (1917) lesione alle vie sensitive arti inferiori arti posizionati correttamente senza l'ausilio della vista
- Henry & Rogers (1960) TR piu' lungo per caricare programmi motori piu' complessi
  - sollevare un dito (1), (1) + prendere una palla (2), (1) + (2) + rischiacciare un tasto... ecc.
- Klapp Anderson Berrien (1973) sillabe da pronunciare le piu' lunghe piu' alto il TR
- Piu' e' complesso un compito + tempo ci vuole per caricare il PM

- In che modo le singole caratteristiche del movimento sono specificate all'interno del programma motorio?

# Struttura gerarchica fra PM e sinergie muscolari

- PM inteso come una rappresentazione astratta della sequenza di una azione
- Le info contenute non riguardano i singoli muscoli implicati ma si riferiscono a variabili + generali come punto di arrivo, velocità forza ampiezza del movimento ecc.

# Ipotesi

- Se il programma motorio è rappresentato centralmente ed in esso sono contenute le informazioni relative agli aspetti più generali del movimento
  - Allora
- È ragionevole pensare che non esistano tanti programmi per quanti sono i movimenti possibili
  - Cioè
- Movimenti simili faranno capo allo stesso programma motorio e si differenzieranno soltanto per quanto riguarda i muscoli impiegati

Esempio la scrittura di Raibert (1977). Programma Unico

A: Mano dx; B: braccio dx; C: mano sx; D: labbra; E piede dx

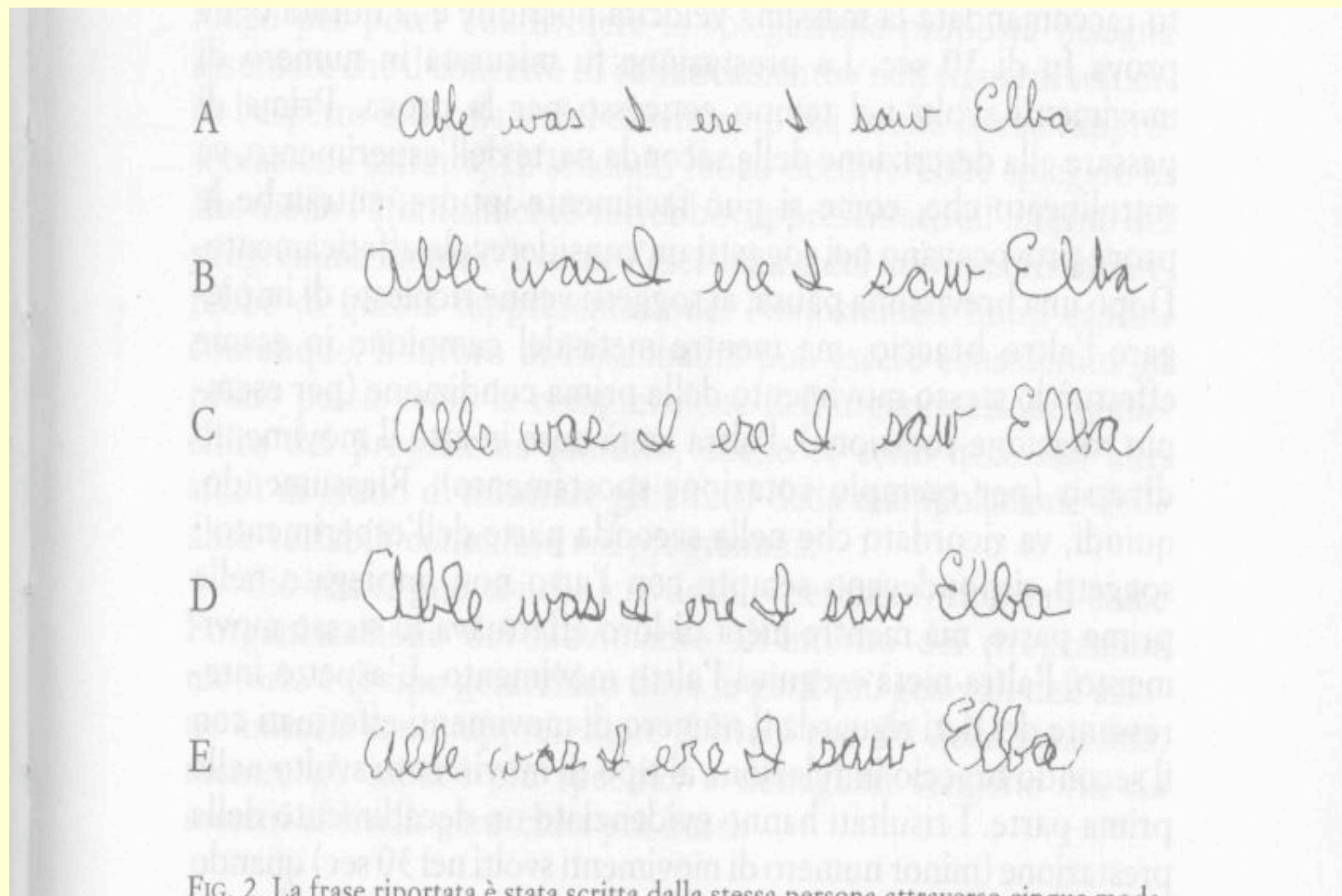


FIG. 2. La frase riportata è stata scritta dalla stessa persona attraverso cinque modi

- Per sostenere l'idea del controllo a circuito aperto tramite un programma motorio centralizzato dobbiamo prevedere la possibilità che il sistema sia in grado di compiere un dato movimento anche in assenza di feedback.
- Questo implica anche che esista una rappresentazione mentale del movimento all'interno della quale siano specificati alcuni parametri e non altri!

# Parametri motori rilevanti

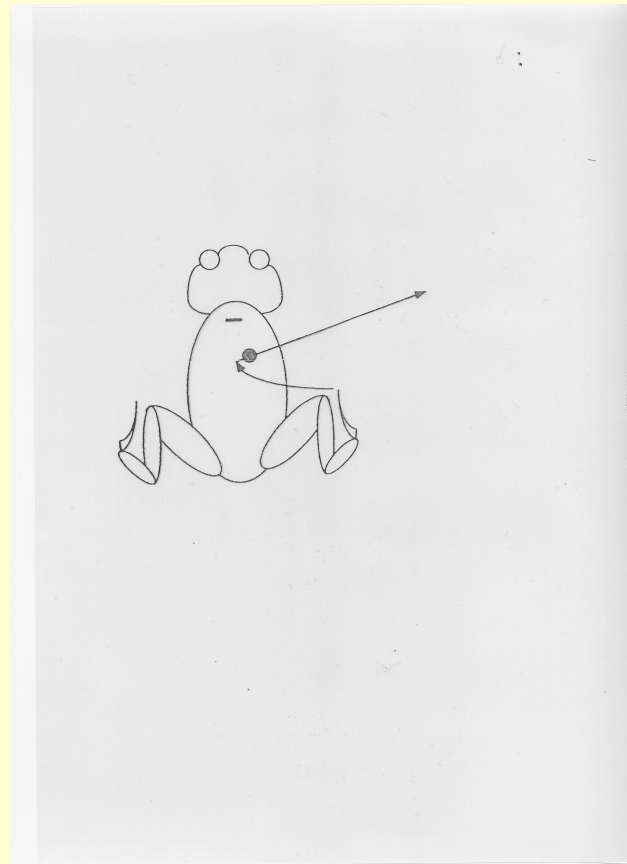
- Distanza o Posizione finale?
- Sembra che organizziamo i nostri movimenti a partire dalla posizione finale

# Esperimento Bizzi et al.

- Scimmie deafferentate quindi nessuna percezione di forze aggiunte
- Posizionano il braccio ad un target
  - Luce spenta
  - Peso aggiuntivo sul braccio
  - Se la posizione è più arretrata: controllo muscolare
  - Se la posizione è corretta: controllo centrale



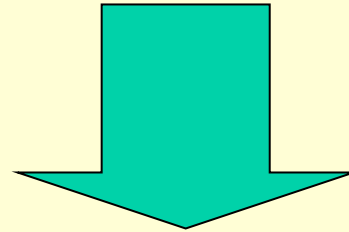
# Controllo pre-programmato anche a livello della spina dorsale



- Rosenbaum: programmiamo posture
- L'azione (via programma motorio) viene organizzata gerarchicamente considerando:
  - Prima: le posture iniziali e finali
  - Poi: le sequenze di aperture e chiusure articolari
  - Il sistema segue uno schema gerarchico

# Controllo posture

– Controllo postura iniziale e finale



– controllo centrale

# Come può un CA controllare movimenti complessi?

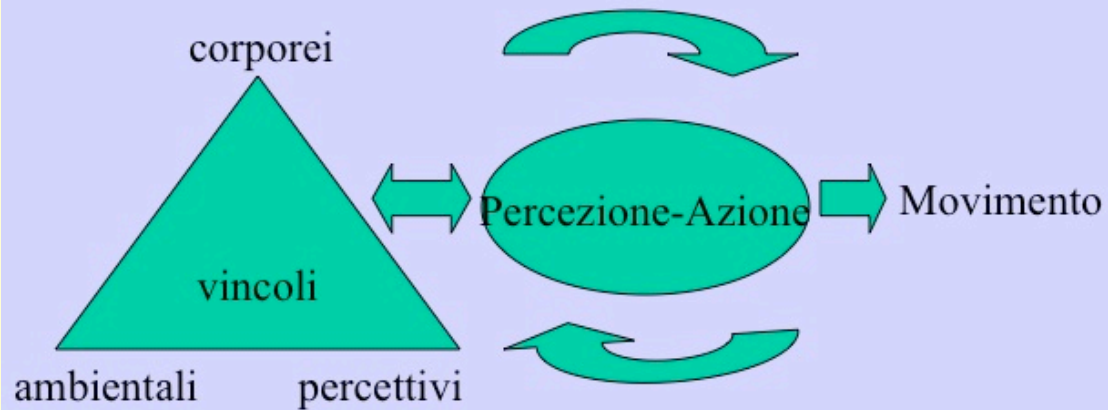
- Problema: “se per ogni movimento possibile i livelli più alti del sistema nervoso centrale dovessero specificare sia i tempi di attivazione-inibizione di ogni muscolo, sia la corretta coordinazione, il calcolo e l’immagazzinamento di questa grande mole di dati porterebbe, nella migliore delle ipotesi, ad un forte allungamento dei tempi di risposta”

# Struttura di coordinamento

- I diversi gradi di libertà sono condensati dal sistema motorio in una singola unità
- In questo modo il sistema motorio dispone di una struttura contenente tutte le istruzioni relative ai muscoli coinvolti
- In pratica tiene conto di un numero di gradi di libertà minore di quello teoricamente possibile

# Approccio ecologico

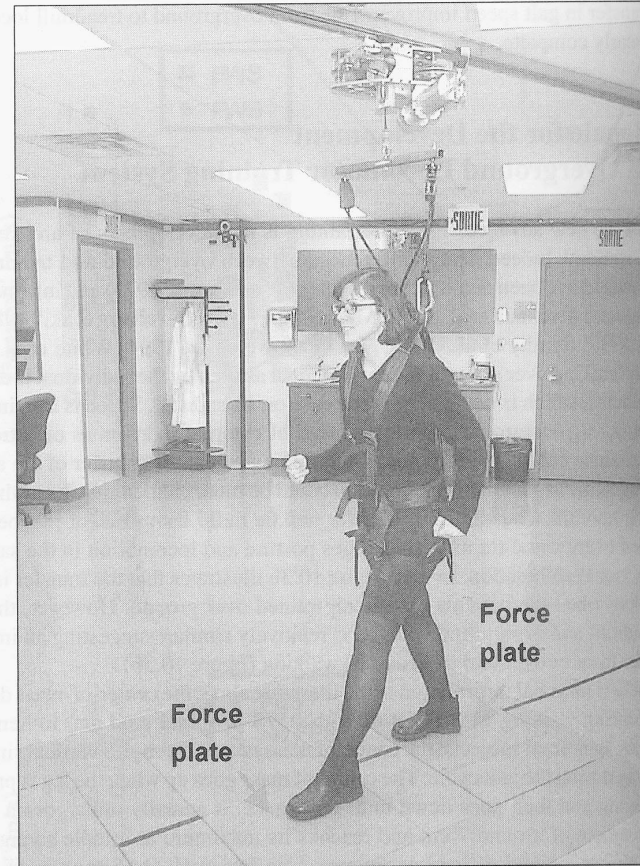
Azione come risultato finale



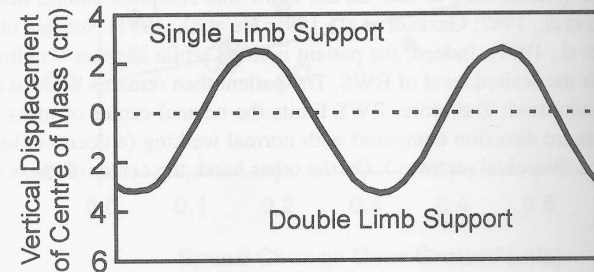
# Central pattern generator

- E' ipotizzato esistere a livello della spina dorsale, dove un solo segnale neuronale è sufficiente per innescarlo dando vita a movimenti complessi quale la locomozione
- Studi fatti su animali decerebrati

# La camminata con supporto



a



b

**Figure 10.4** (a) The subject is mechanically supported in a harness while walking on two force plates to determine the amount of BWS provided. (b) The center of mass goes up during single limb support and then down until double limb support period while walking in the harness in (a).



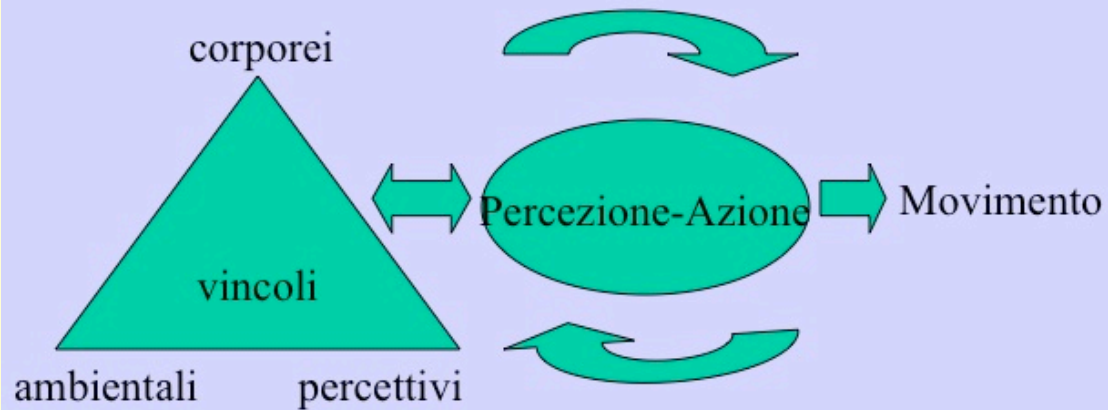
# Il controllo è anche di natura genetica

- I riflessi:
  - movimenti stereotipati,
  - ma possono essere appresi
  - e/o possono essere determinati geneticamente
  
- Riflessi neonatali:
  - determinati geneticamente
  - scompaiono dopo i primi mesi di vita
  - rappresentano la maturazione filogenetica

- Riflessi Neonatali
  - Riflesso di prensione
  - Riflesso della torsione del collo
  - Riflesso di Babinski
  - Riflesso di apertura della bocca
  - Riflesso da camminata
    - E' definito geneticamente
    - Ma NON scompare mai
    - Dipende dalle dimensioni corporee del bambino
    - Idea del movimento come proprieta' emergente di interrelazione fra vincoli fisici e ambientali

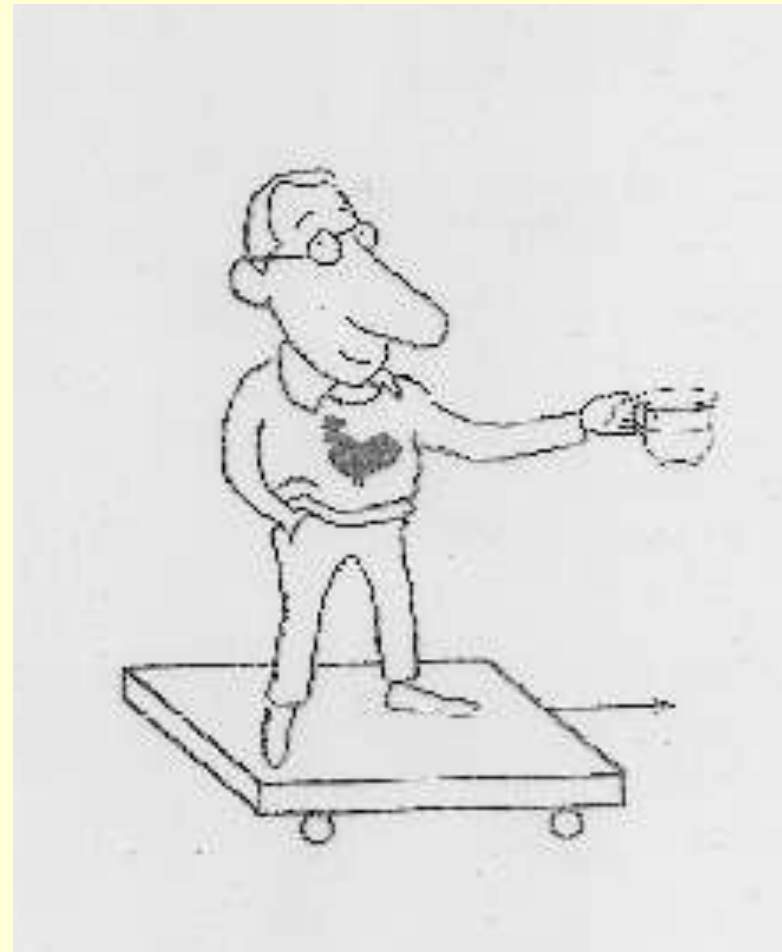
# Approccio ecologico

Azione come risultato finale



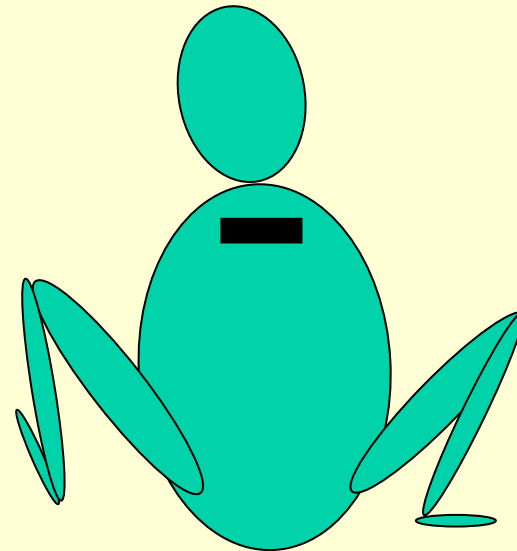
# Il controllo e' a livello centrale

- Reazioni preprogrammate:
  - 70ms di latenza
  - inferiore al TR
  - superiore al riflesso monosinaptico



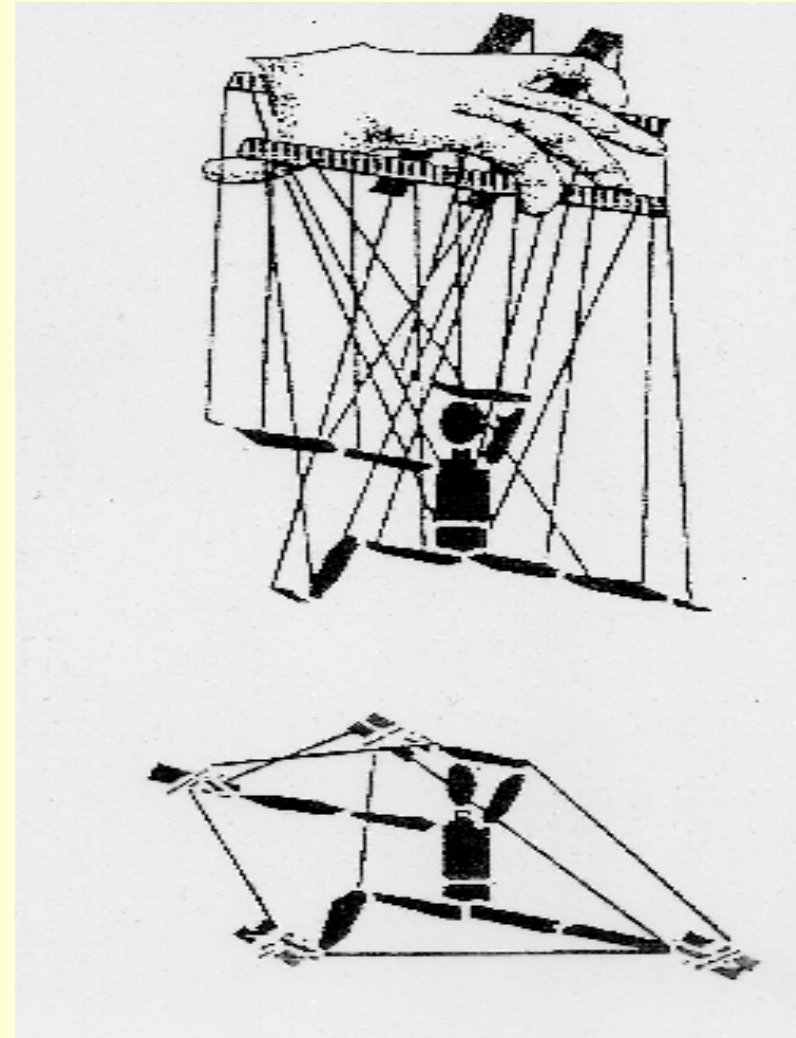
# Il controllo e' a livello distale

- Animali spinalizzati mostrano movimenti a piu' gradi di liberta':
  - precisi
  - coordinati
  - finalizzati
  - in grado di “compensare” perturbazioni esterne



# Il movimento come “Proprieta’ Emergente”

- Il movimento come noi lo osserviamo e’ il risultato finale della relazione fra la parte centrale e quella periferica in accoppiamento con l’ambiente (il compito motorio)



# Il movimento come “Pattern Dinamico”

- Il SNC sceglie i parametri principali che devono essere considerati per far emergere un pattern motorio che sia adattivo al compito motorio e funzionale ai vincoli esistenti

