

Laboratorio di bioingegneria

Ing. Andrea Ravaschio
Laboratorio di Bioingegneria
U.O.O.R.F. Osp San Francesco

Laboratorio di analisi del movimento

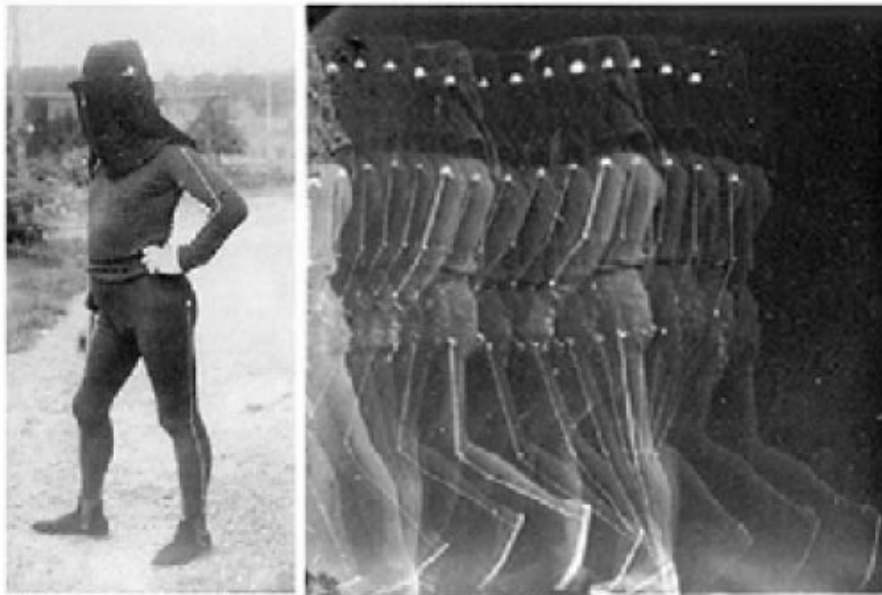
Strumentazione principale:

- Vicon 612
 - 9 telecamere IR
 - Scheda acquisizione A/D 64ch
- Pedane Kistler (2)
- EMG 8ch (Fmax 3000 Hz)

Tecniche cinematografiche

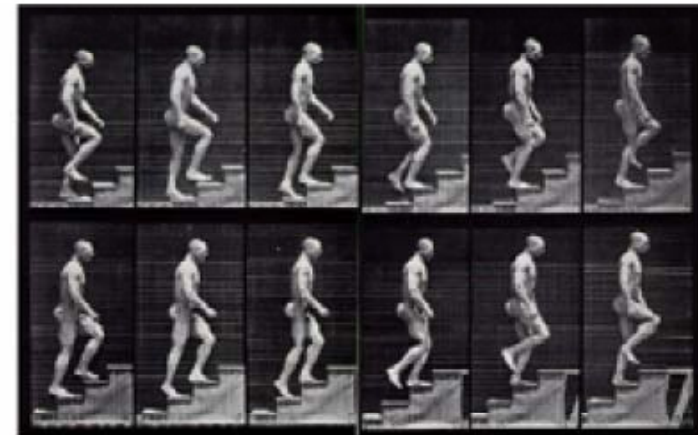
- Prime quantificazione 2D fine '800

Loss of *depth* and *motion* in projection to 2D images.



ETIENNE-JULES MAREY, 1882.

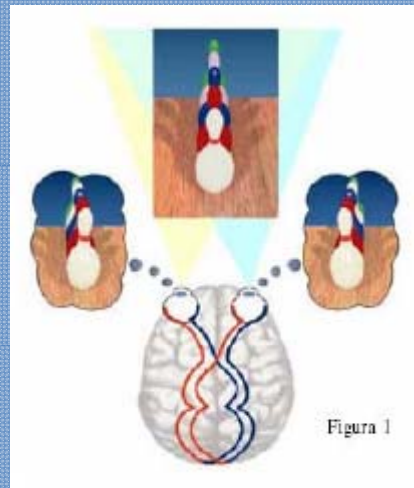
Marker-based tracking



EADWEARD MUYBRIDGE, 1884-5.
Multiple cameras.

CHE COSA E' LA STEREOFOTOGRAMMETRIA?

- *La capacità di percepire la natura tridimensionale degli oggetti che ci circondano è definita **visione stereoscopica** ed è dovuta all'impiego combinato dei due occhi*



Il cervello riceve quindi una doppia immagine di ciascun oggetto, una da ogni occhio, ed ha la capacità di unirle in un'unica immagine tridimensionale fortemente differente dalle immagini originali.

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Ricostruzione 3D del punto

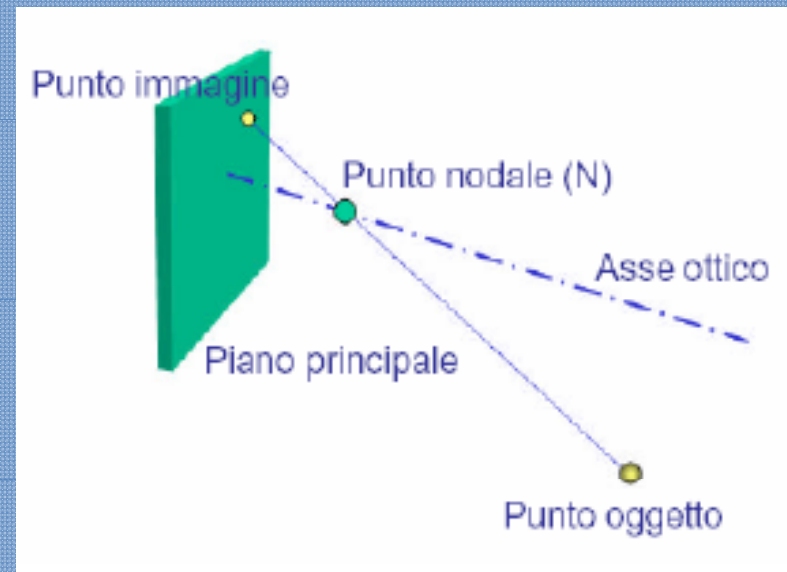
L'obiettivo della stereofotogrammetria è il seguente:

dato un punto che si muove nello spazio del laboratorio, ricostruisco la posizione che tale punto ha assunto nello spazio di laboratorio in ciascun istante di tempo campionato, ovvero fornisce le coordinate x , y , z in ciascun istante di tempo appartenente all'intervallo di osservazione, rispetto ad un sistema di riferimento del laboratorio.

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Ricostruzione 3D del punto

- Piano principale
- Punto Nodale
- Asse Ottico

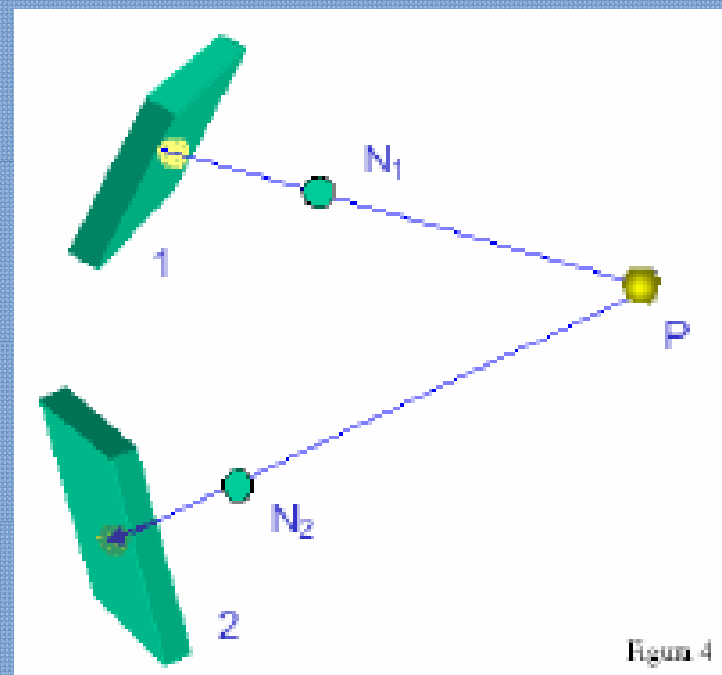


PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Aquisizione 3D del punto

- Almeno due punti di osservazione (1 e 2)

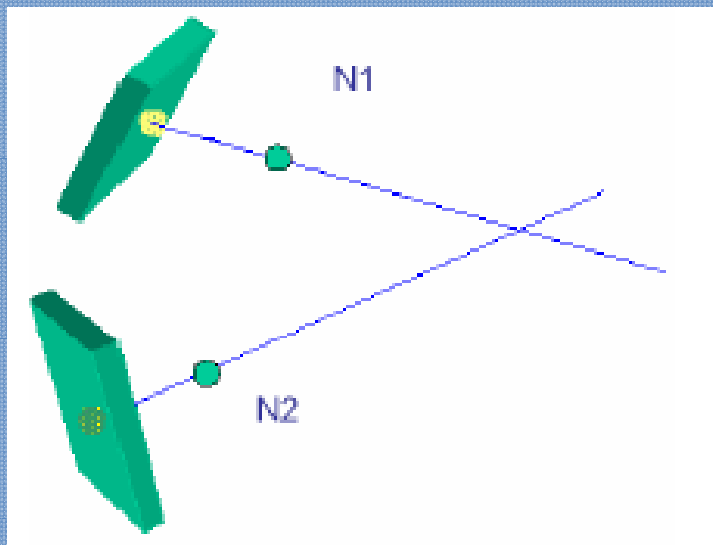
Il punto P attraverso N1 e N2 si proietta sui due piani 1 e 2



PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

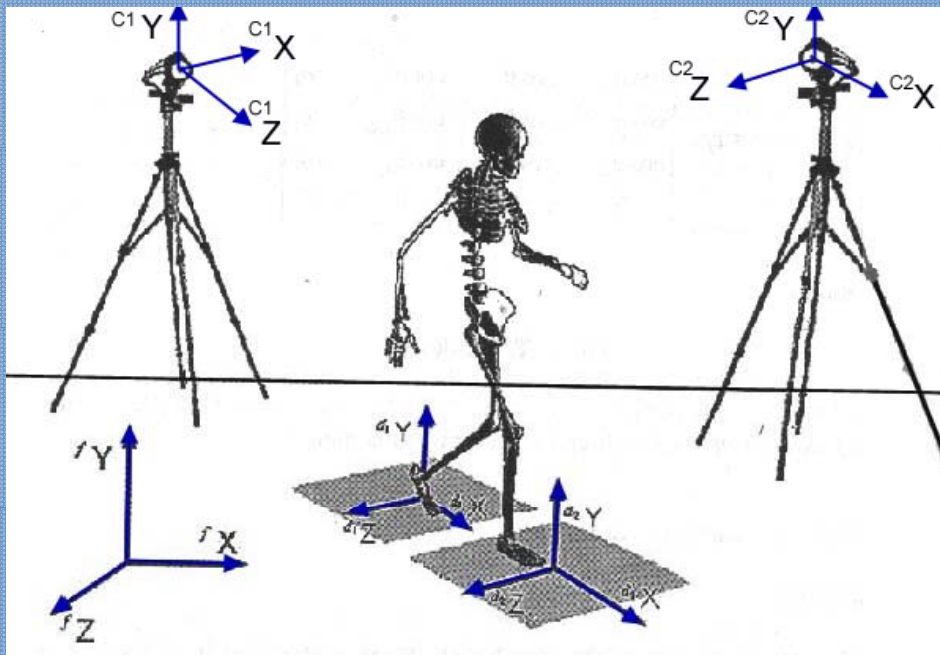
Ricostruzione 3D del punto

Traccio le rette che dal punto di proiezione passano attraverso il nodo focale N



Occorre dunque tracciare un'altra linea utilizzando la seconda camera in maniera che le due linee si intersechino nel punto che era occupato dal punto oggetto durante le riprese

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

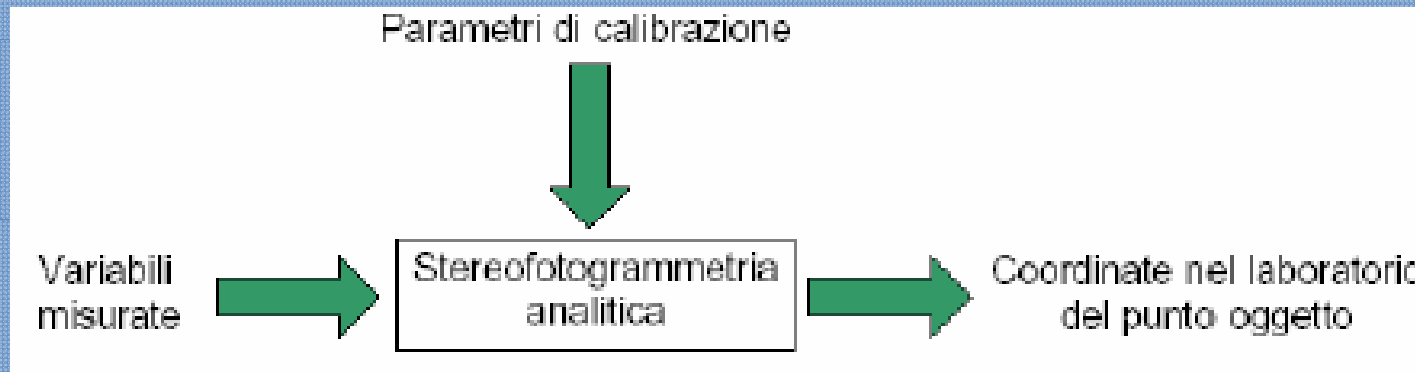


si associa ad ogni camera un sistema di riferimento cartesiano, ad esempio facendo in modo che gli assi x e y siano proprio gli assi di simmetria del piano principale e che l'asse z sia l'asse ottico

Un riferimento di laboratorio (X, Y, Z) è stato precedentemente definito

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Le informazioni riguardo la posizione e l'orientamento delle due camere, ovvero dei loro piani principali e dei punti nodali rispetto a questi, possono essere considerate **tempo invarianti** cioè è presumibile che, mentre il punto si muove nello spazio di laboratorio, le due camere rimangano ferme rispetto allo stesso laboratorio e dunque la loro posizione, il loro orientamento e la posizione dei punti nodali rispetto ai piani principali non si modifichino: queste caratteristiche sono dette **parametri di calibrazione**

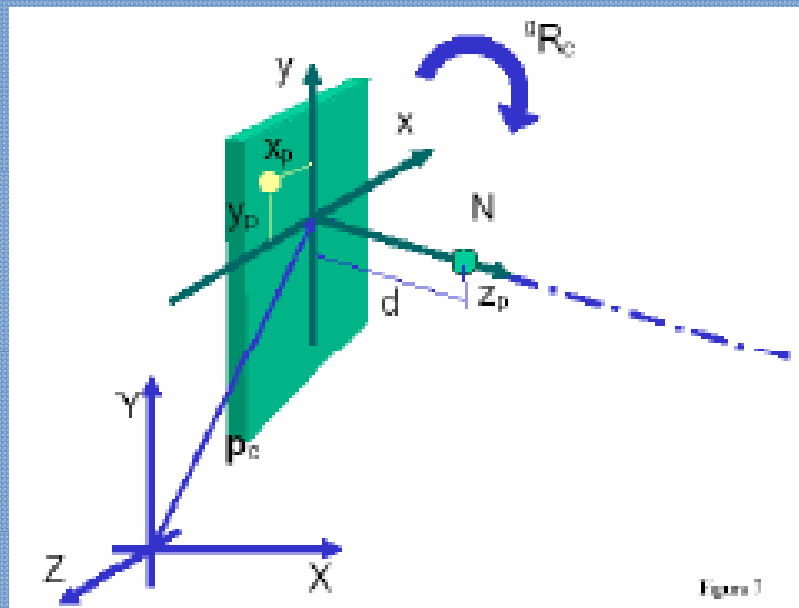


Le equazioni all'interno del blocco che rappresenta la stereofotogrammetria analitica contengono dei parametri che consentono la determinazione delle grandezze oggetto della misura dello strumento. Vengono calcolati tramite la **calibrazione del sistema**

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Avendo assegnato il valore dei parametri che realizzano dal punto di vista numerico la ricostruzione geometrica, è necessario fornire alle equazioni, in ciascun istante di tempo, le variabili misurate ovvero le immagini del punto oggetto sui due piani principali delle due camere. La risoluzione delle equazioni rende possibile la determinazione delle coordinate del punto oggetto istante per istante.

Il procedimento è infatti reiterato per ciascun istante di tempo campionato al fine di avere una descrizione del movimento del punto oggetto.



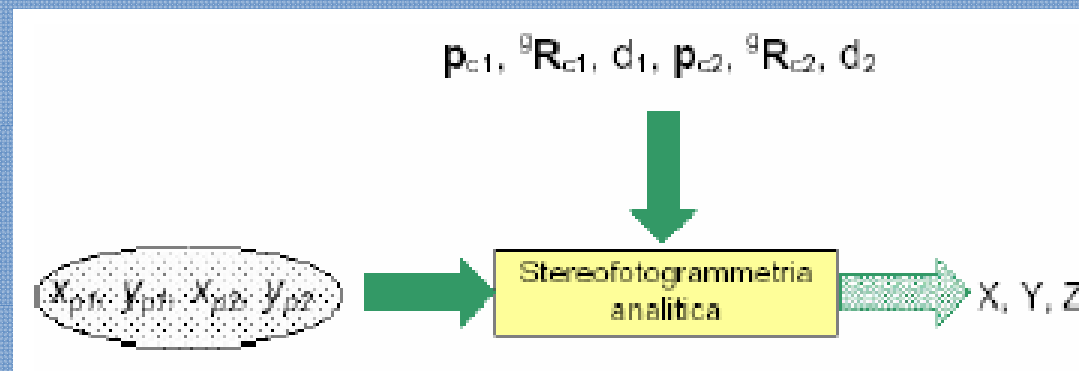
I parametri di calibrazione contengono informazioni sulla posizione e sull'orientamento delle camere fotografiche, ciascuna delle quali può essere considerata come un corpo rigido

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Avendo associato un riferimento alla camera è possibile descrivere posizione e orientamento di tale sistema di riferimento i parametri che descrivono completamente la camera nel laboratorio sono:

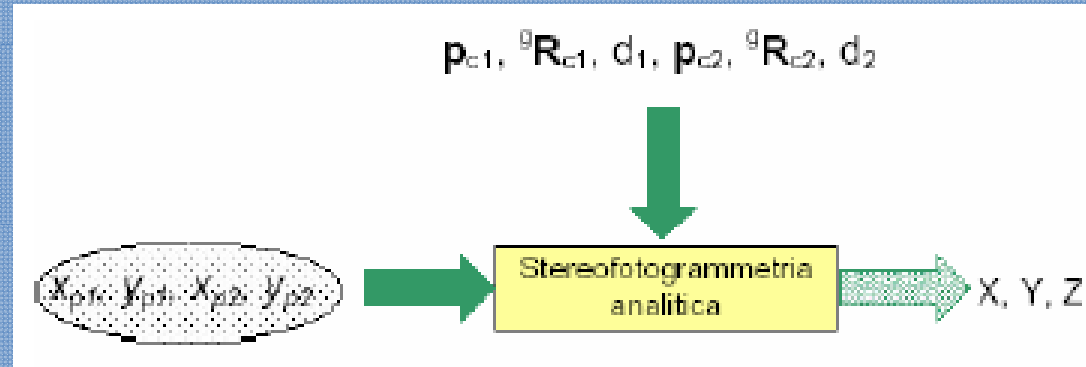
- il vettore posizione p_c (tre scalari)
- la matrice orientamento gR_c (nove scalari, di cui tre indipendenti)
- la distanza focale d (uno scalare)

occorrono sette numeri per ciascuna camera.



Complessivamente i parametri necessari per descrivere il sistema stereofotogrammetrico, se costituito da una coppia di camere, sono 17 (7 per ciascuna camera e 3 per il sistema di riferimento di laboratorio).

PRINCIPI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA



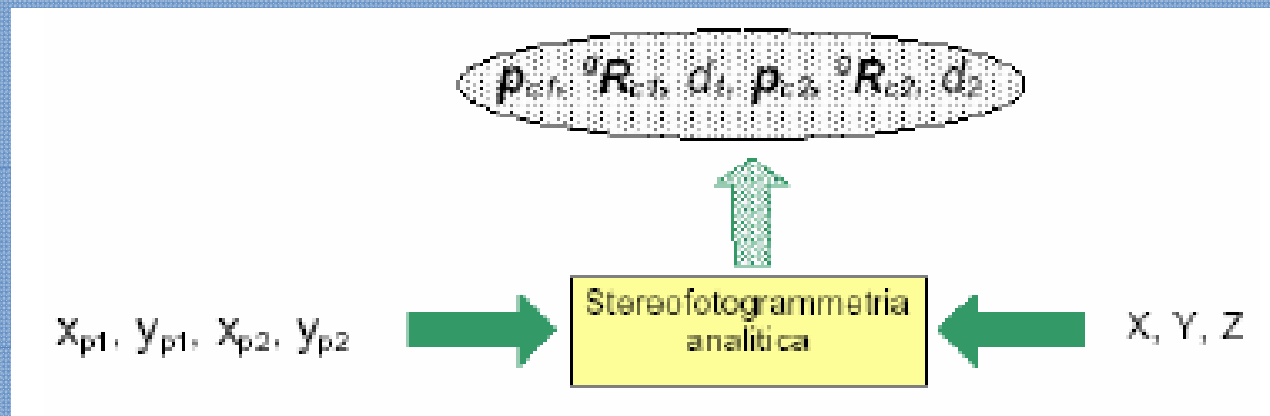
In ingresso si hanno : il vettore posizione, la matrice orientamento e la distanza focale per ciascuna camera, complessivamente 14 parametri, e le variabili, ovvero le 4 coordinate immagine relative alle due camere.

In uscita le coordinate (X,Y,Z) del punto P rispetto al sistema di riferimento del laboratorio.

CALIBRAZIONE

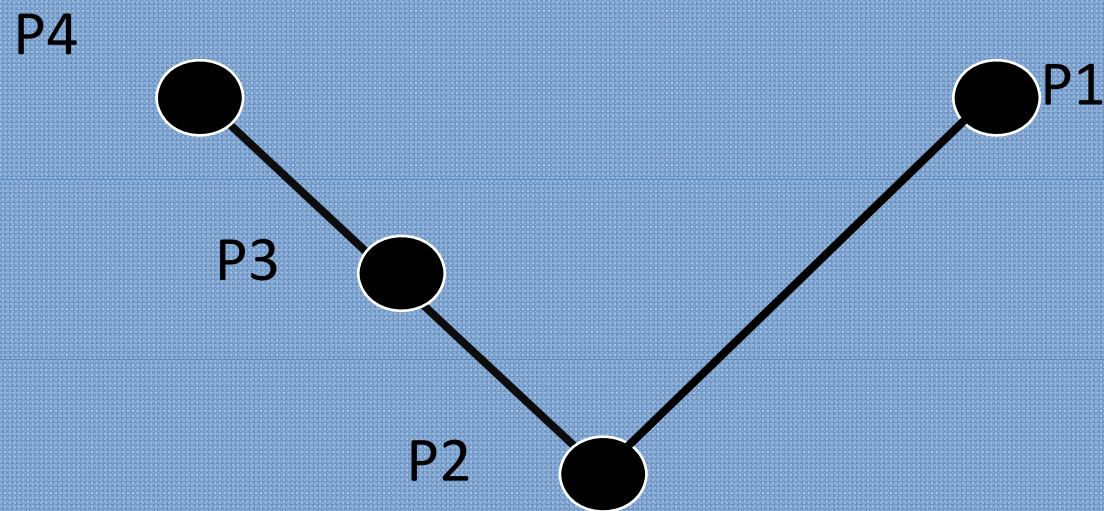
Abbiamo bisogno dei parametri di calibrazione (7 per ogni camera)

La determinazione di questi parametri avviene attraverso la *calibrazione* dello strumento, operazione che si attua utilizzando le stesse equazioni che si utilizzano nell'uso corrente del sistema dove però le coordinate immagine saranno supposte note così come le coordinate oggetto e quindi costituiranno l'ingresso



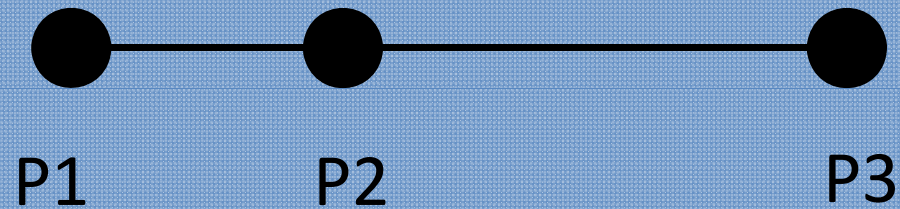
CALIBRAZIONE Vicon

Calibrazione Statica: La posizione dell'oggetto di calibrazione statica identifica la posizione del sistema di riferimento assoluto del laboratorio



CALIBRAZIONE Vicon

Calibrazione Dinamica: Calcolo di tutti i parametri interni delle telecamere e viene effettuata la linearizzazione delle ottiche



CALIBRAZIONE Vicon

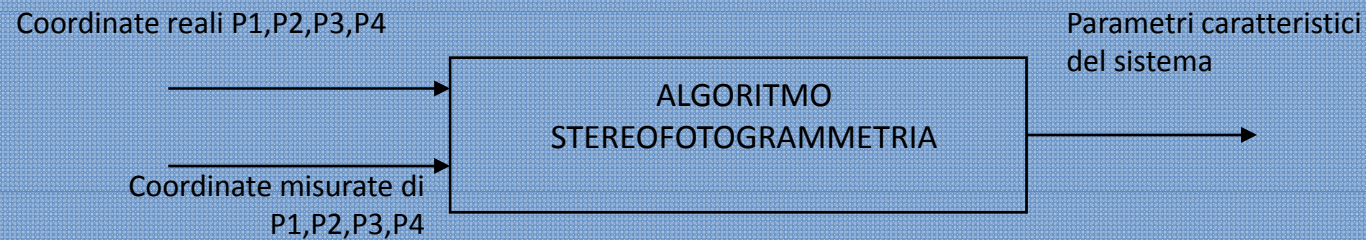
Note:

Coordinate immagine P1,P2,P3,P4 dei punti dell'oggetto di calibrazione

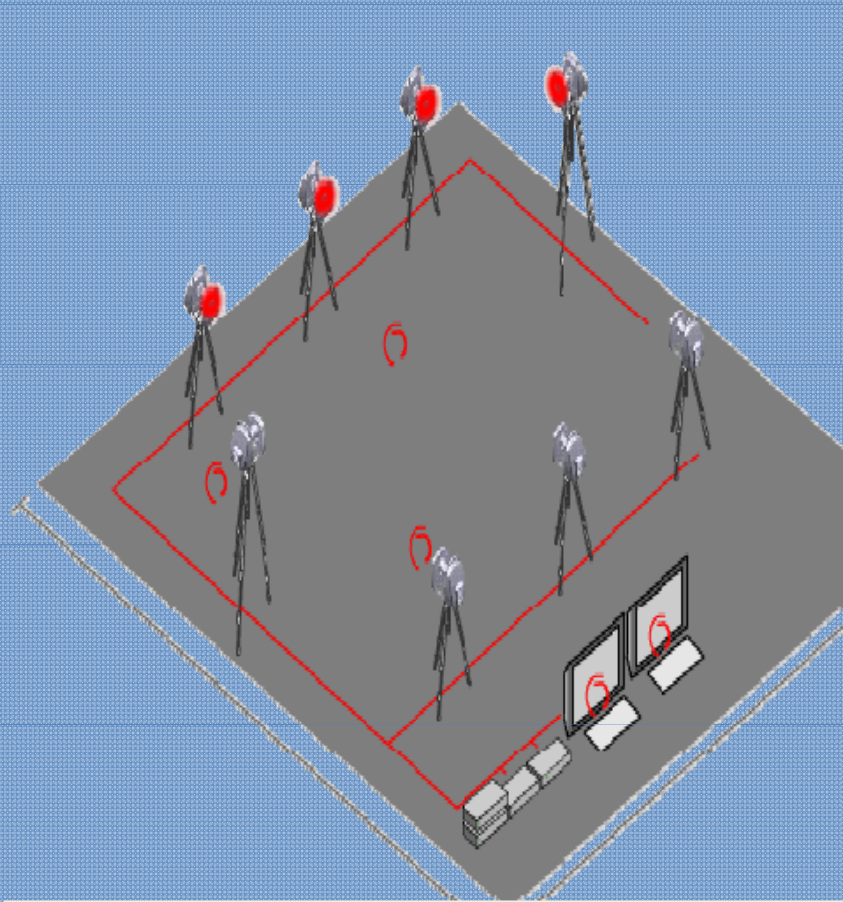
Coordinate reali dei punti dell'oggetto

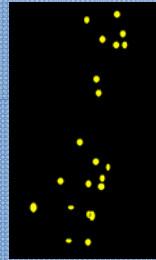
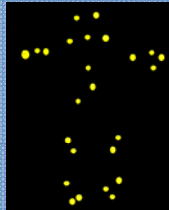
Stima:

-Parametri caratteristici del sistema



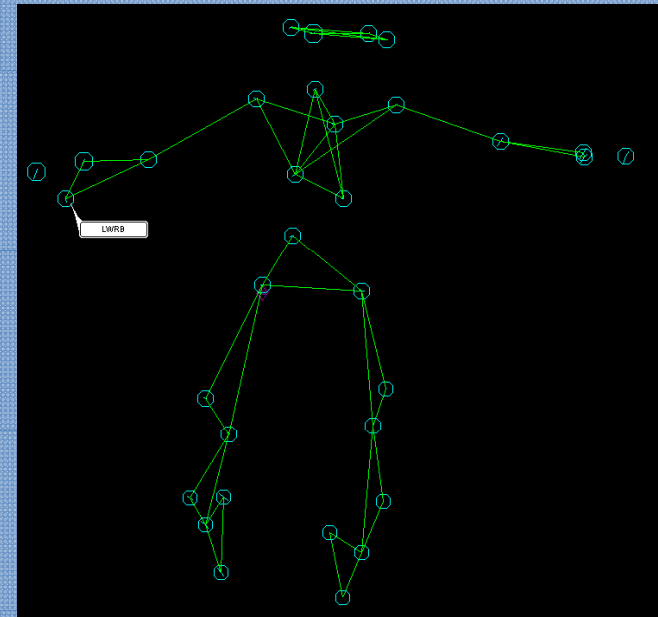
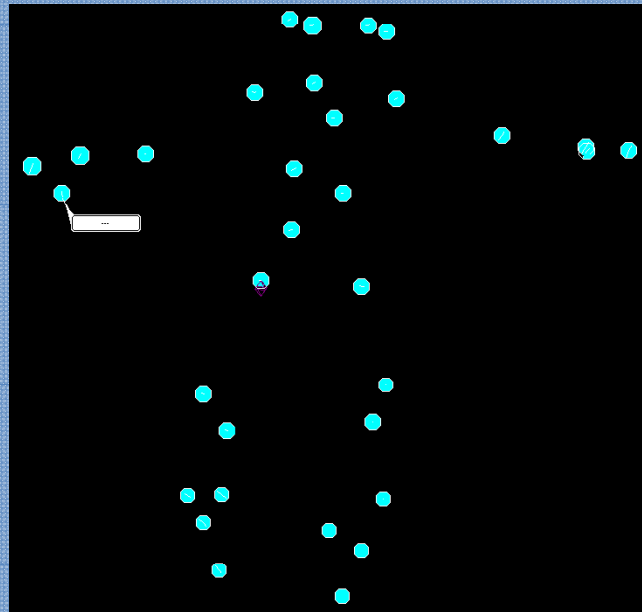
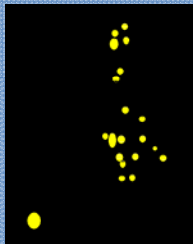
Dalla Teoria alla Pratica





...

...



Telecamere

Centroidi

$(u,v)_{mk,tvc}$
 $mk=1...M$

$tvc=1...24$

PC

$(x,y,z)_{mk}$
 $mk=1...M$

Ricostruzione

PC

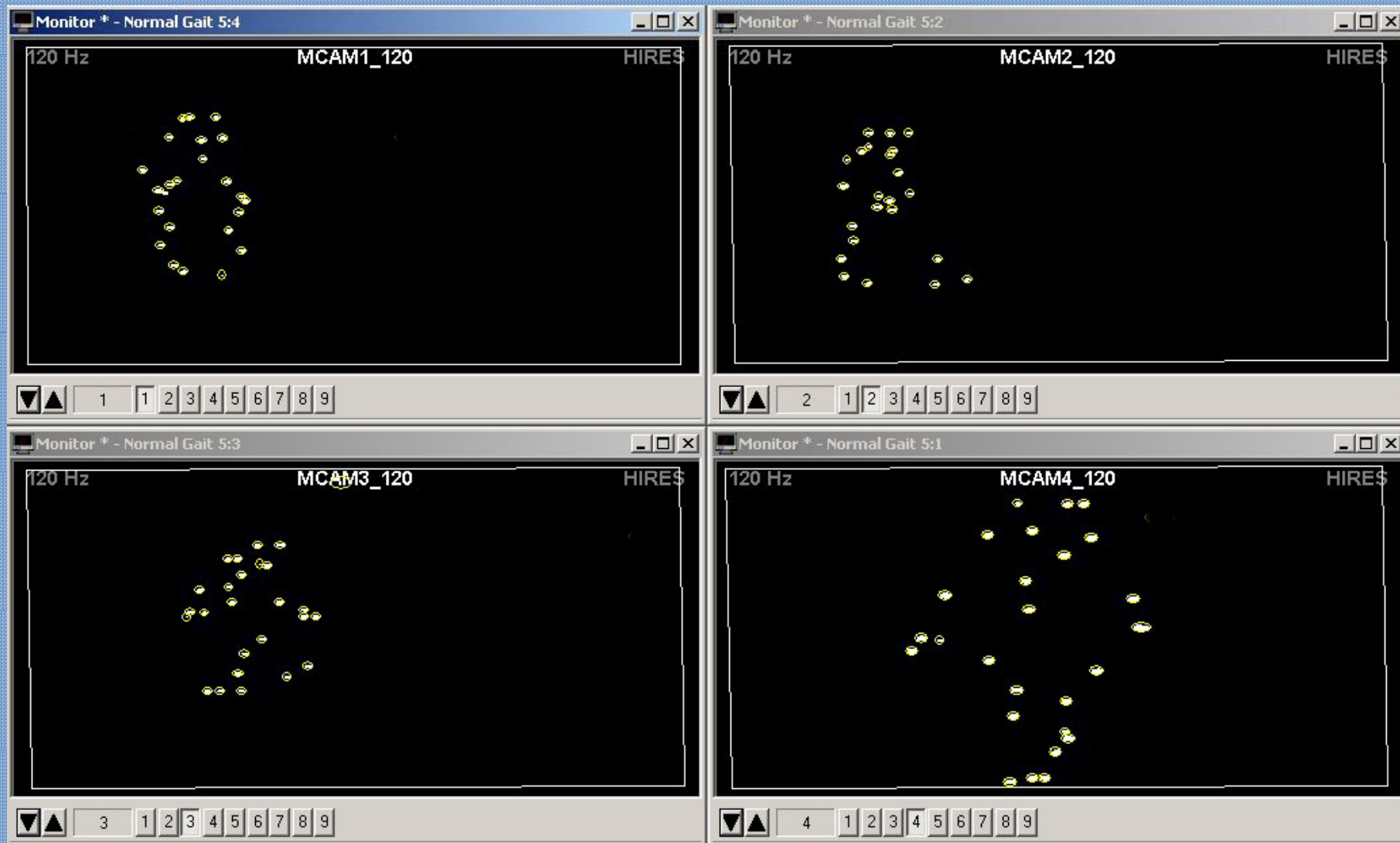
$(x,y,z,"Polso")_{mk}$
 $mk=1...M$

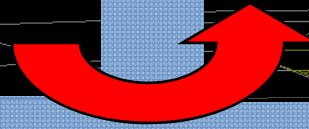
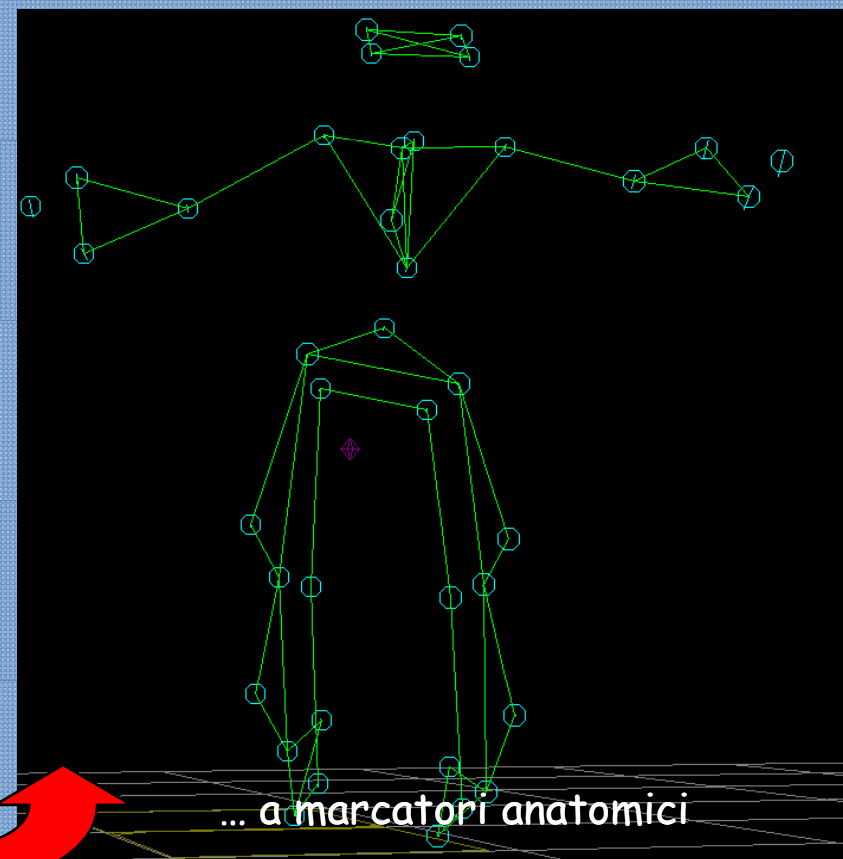
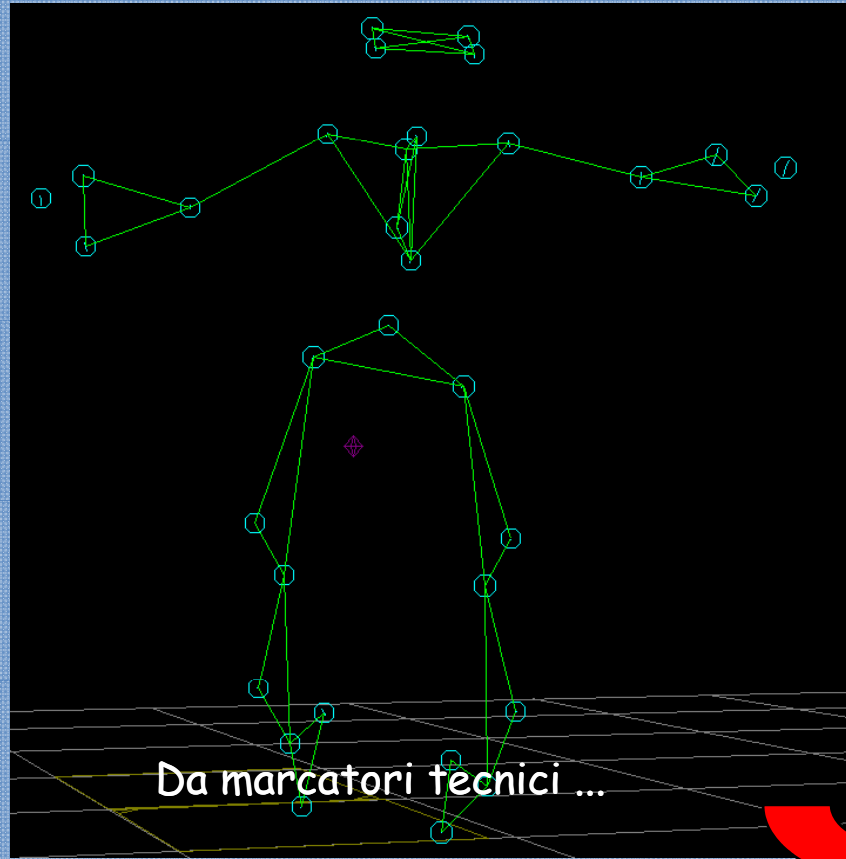
Labelling

Acquisizione



Visione dalle singole telecamere





Modellizzazione

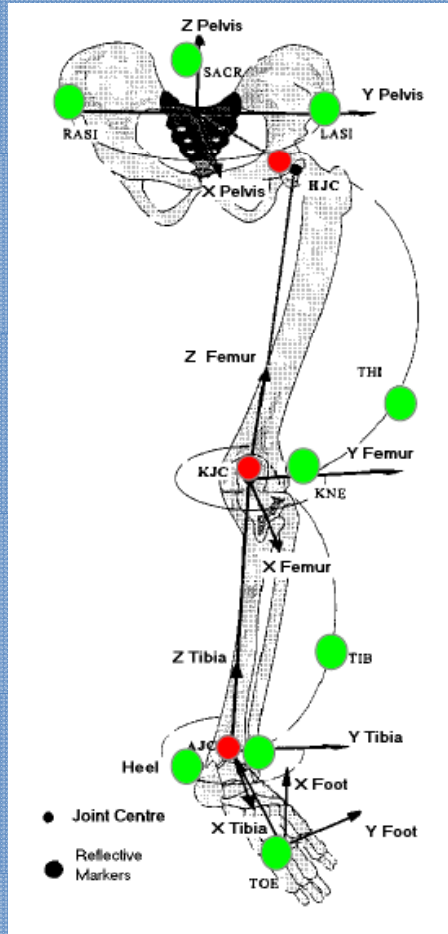
MODELLI

I Modelli biomeccanici servono per passare dai marcatori tecnici a quelli anatomici

Esistono diversi tipi di “markerizzazioni”, i più comuni:

- Davis – Gage, Usa 1989 (Storicamente il più utilizzato)
- Plug In Gait (versione moderna del Davis)
- SAFLo – Frigo, Milano 1992
- CAST – Cappozzo, Roma – Bologna 1995
- LAMB – Crenna, Rabuffetti – Milano 2004
- Total3D Gait – Leardini et al. – Bologna 2007

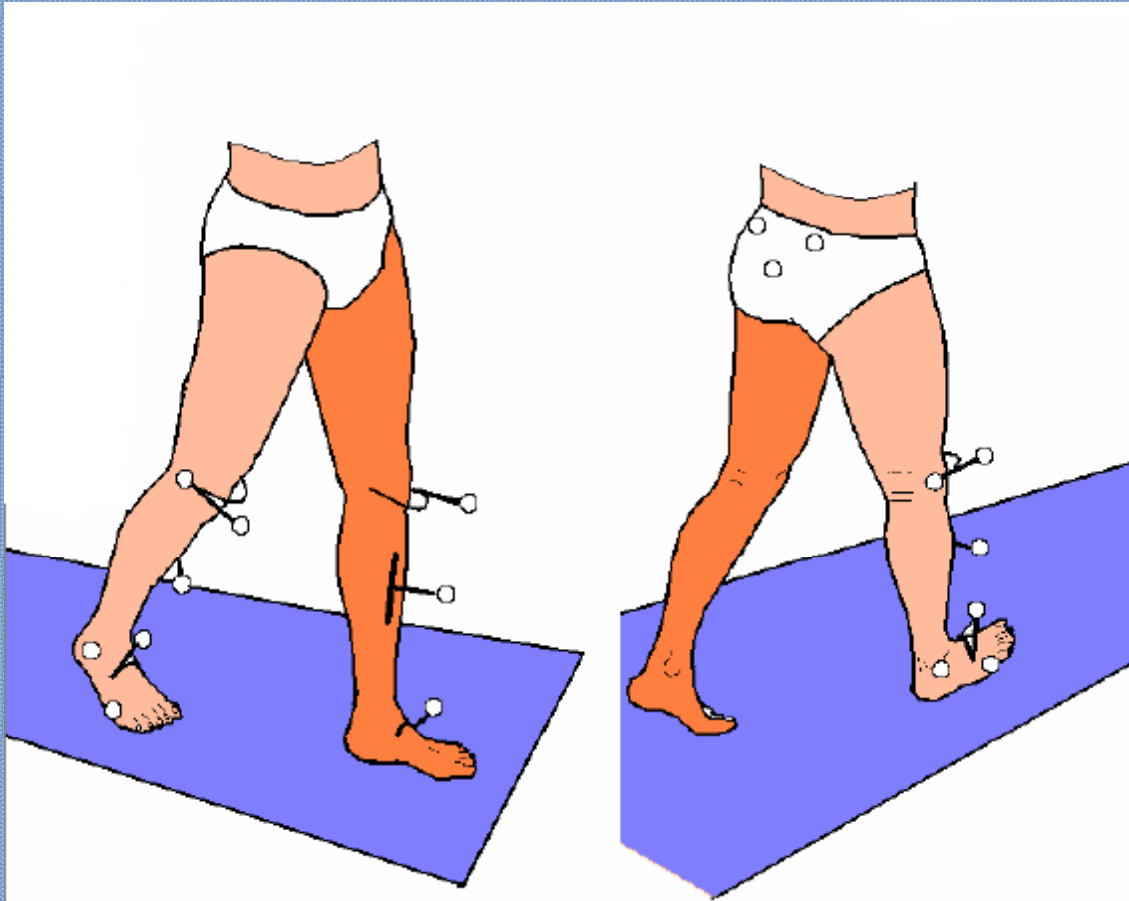
Protocollo di Gait Analysis Davis – Gage 1989



- Primo protocollo di analisi del cammino sviluppato
- Protocollo maggiormente diffuso
- Modello biomeccanico relativamente semplice (attualmente in revisione)

- Marcatori Esterni
- Marcatori Ricostruiti

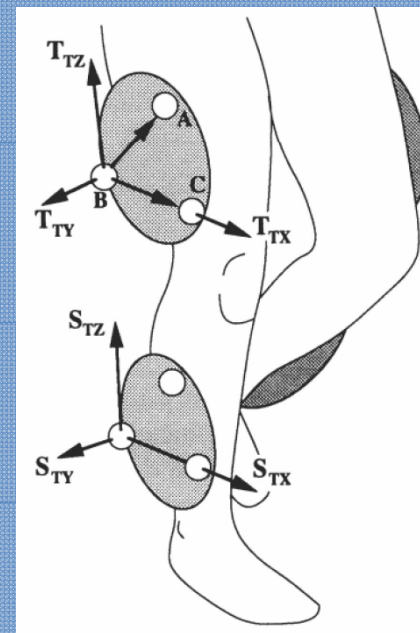
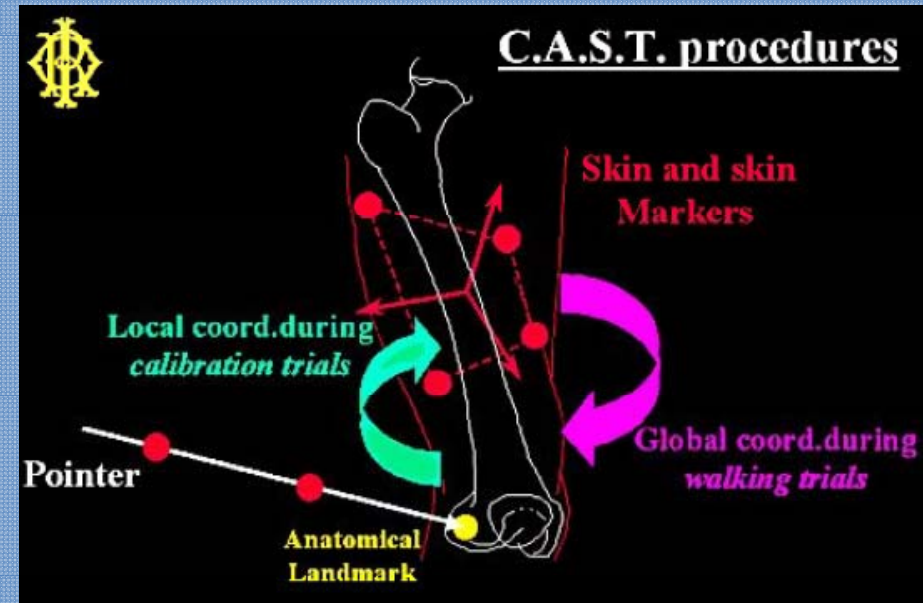
Protocollo SAFLo - Frigo, 1992



- 9-15-17 marcatori nelle diverse versioni
- Posizione postero-laterale per miglior visibilità

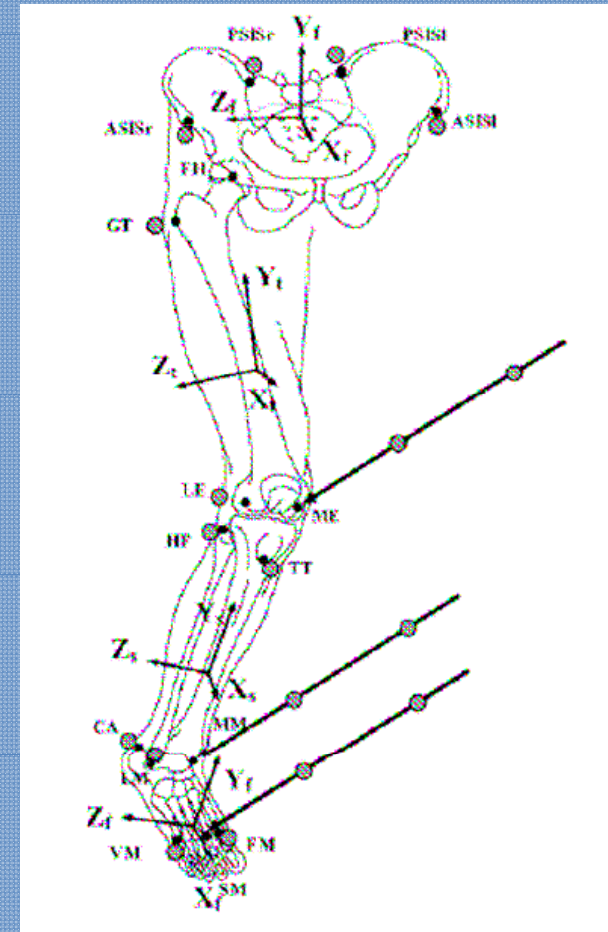
Protocollo CAST Cappozzo, 1995

- Marcatori montati su placche durante il movimento
- Punti anatomici calibrati in condizioni statiche
- Uso di placche critico in certe condizioni (es. Bambini)

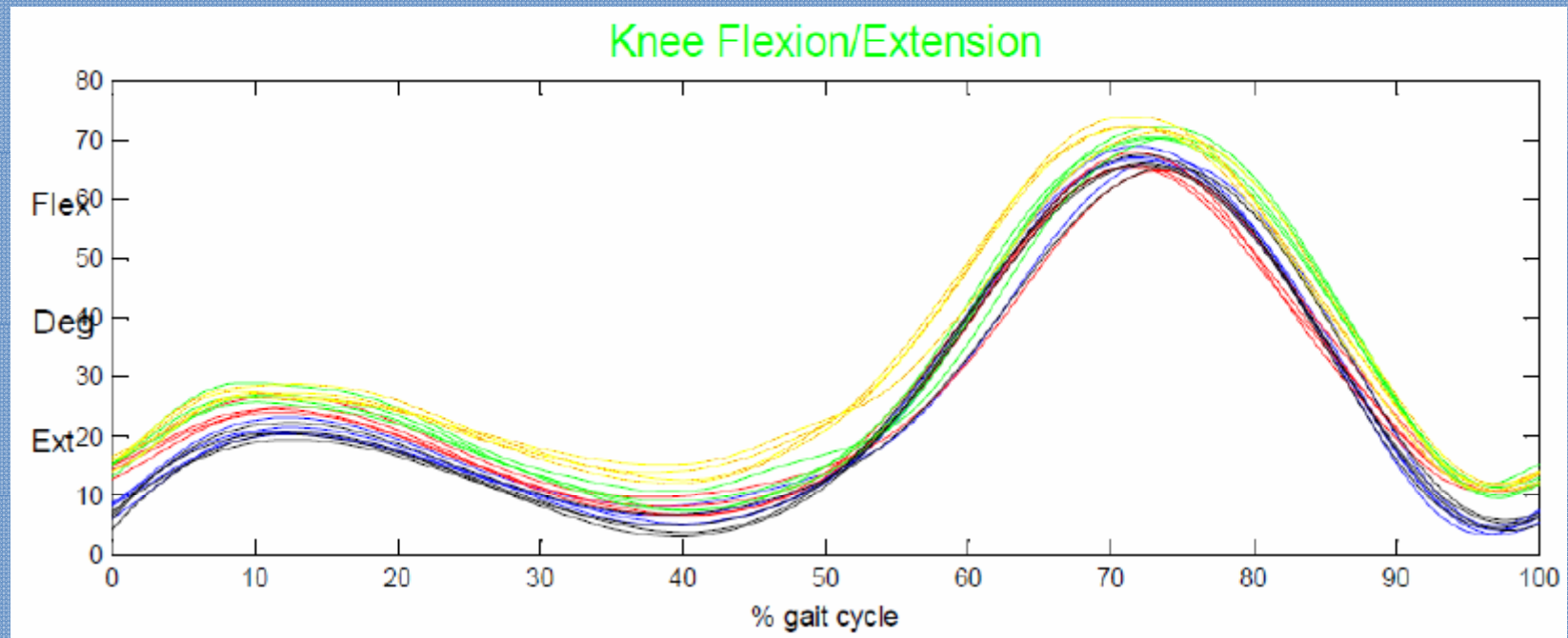


Protocollo TOTAL 3D GAIT – Leardini 2007

- Nato per migliorare rappresentazione del piede
- Semplificazione procedure sperimentali (no sticks, no placche)
- Marker anatomici
- Numero ridotto di calibrazioni anatomiche (no misure antropometriche)

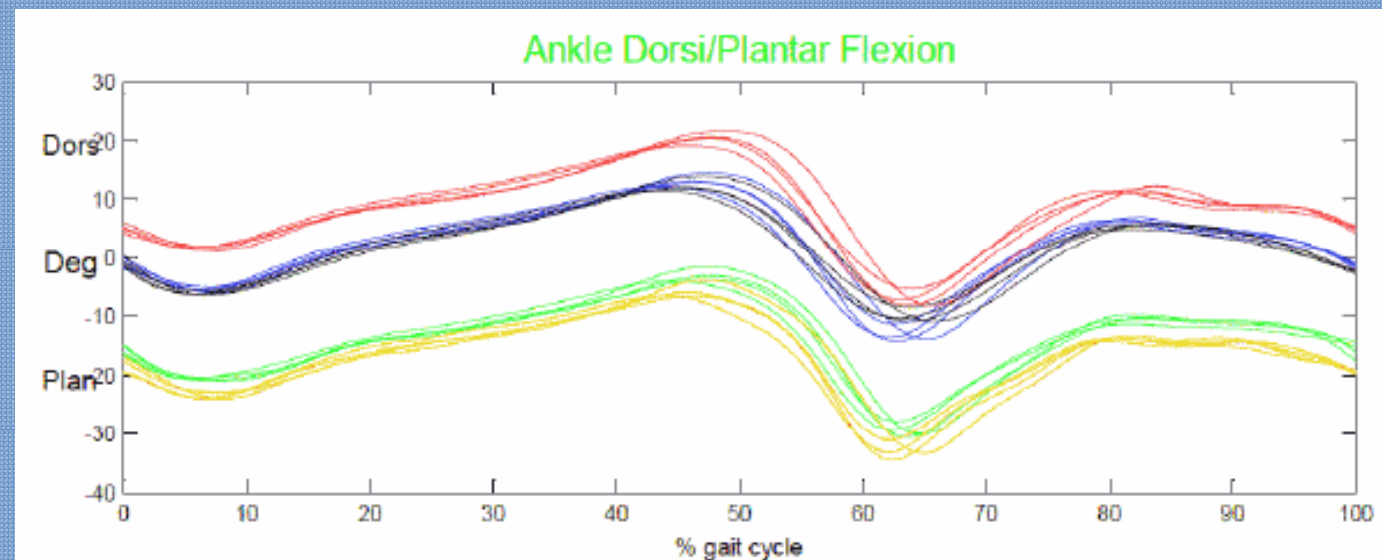
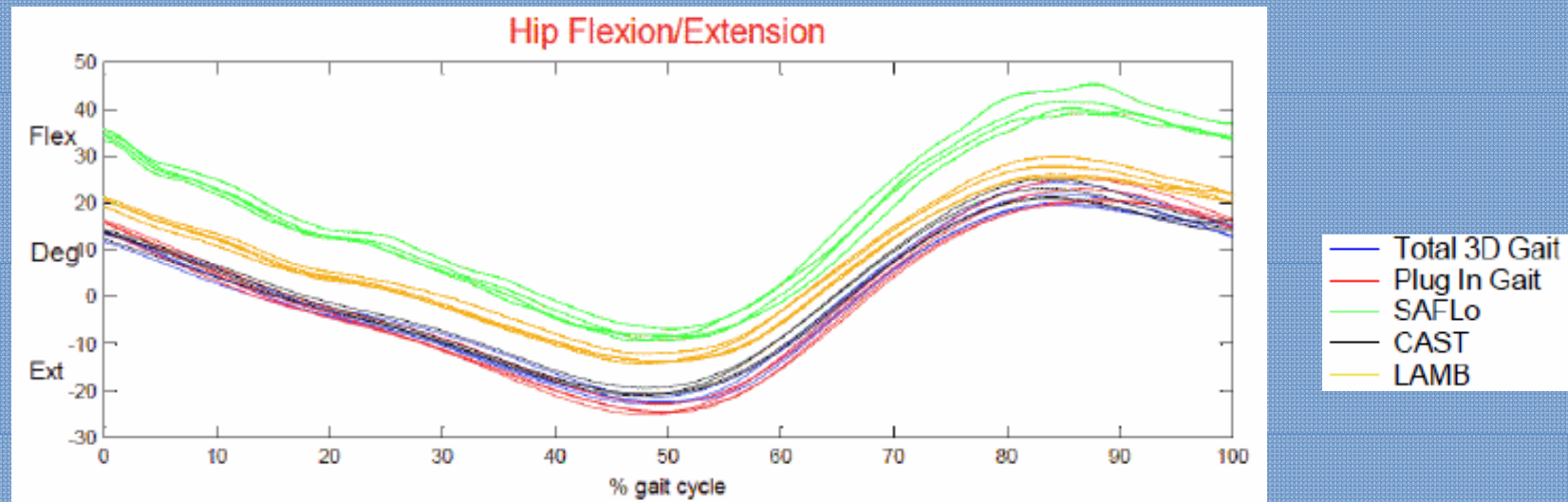


Confronto tra i diversi protocolli (analisi cinematica)

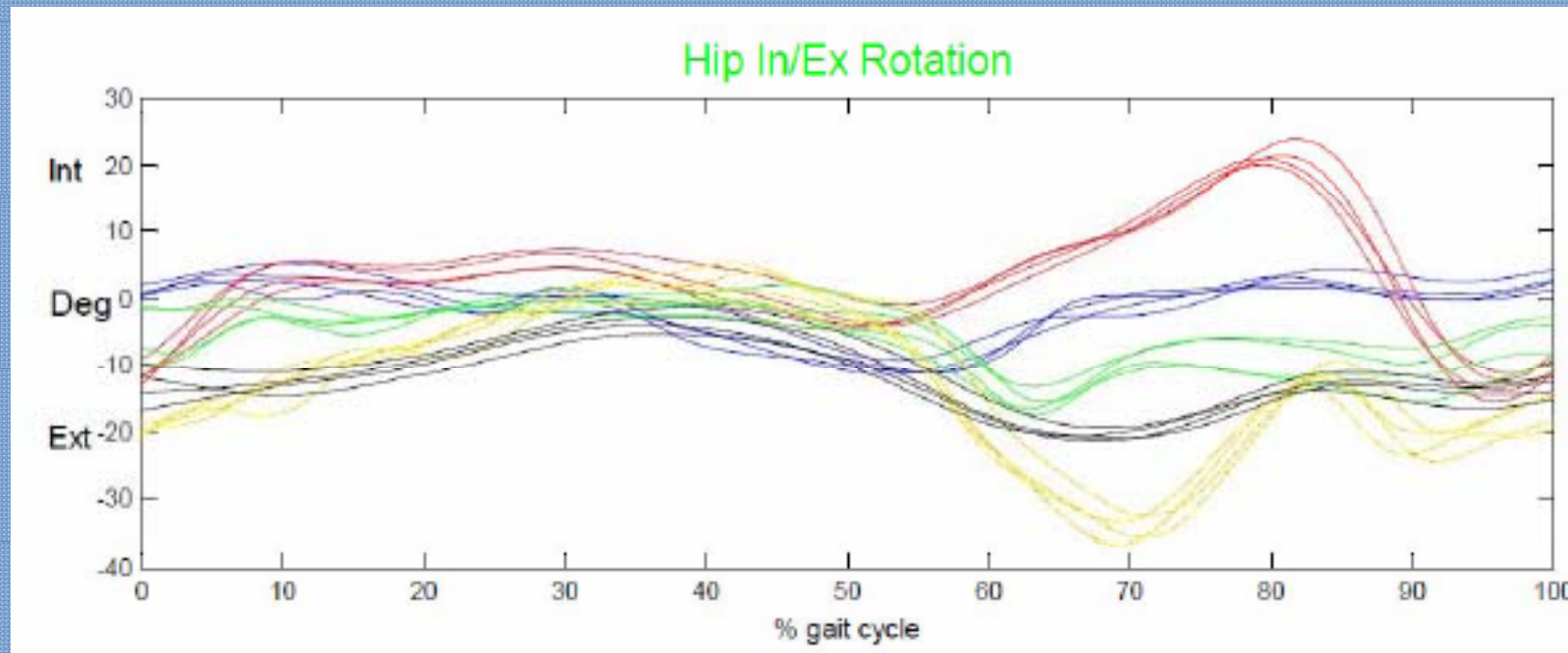


- Total 3D Gait
- Plug In Gait
- SAFLo
- CAST
- LAMB

Confronto tra i diversi protocolli (analisi cinematica)



Confronto tra i diversi protocolli (analisi cinematica)



- Total 3D Gait
- Plug In Gait
- SAFLo
- CAST
- LAMB

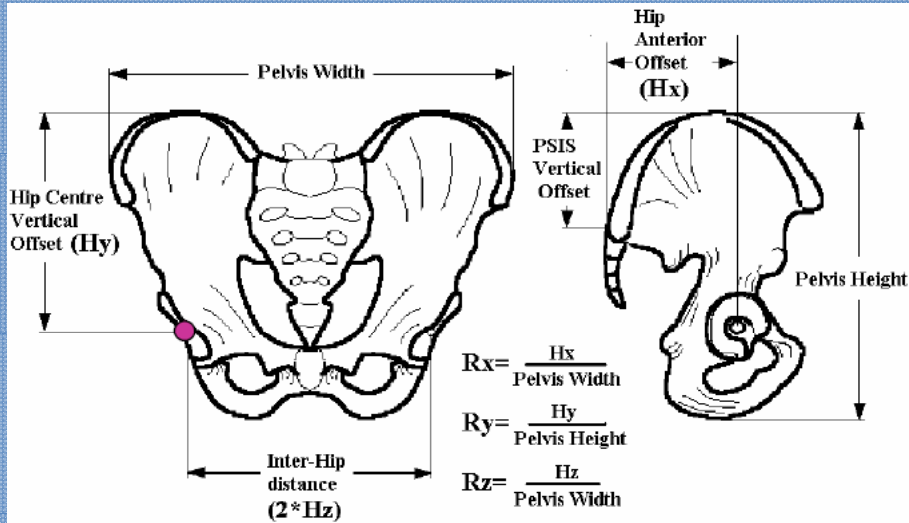
E' necessario conoscere **pro** e **contro** di ciascun protocollo prima di interpretare i risultati ottenuti con ciascuno di essi

Identificazione centri articolari

3 criteri:

- Antropometrico (misure dirette)
- Statistico (approccio morfologico)
- Funzionale (vincoli cinematici)

APPROCCIO ANTROPOMETRICO



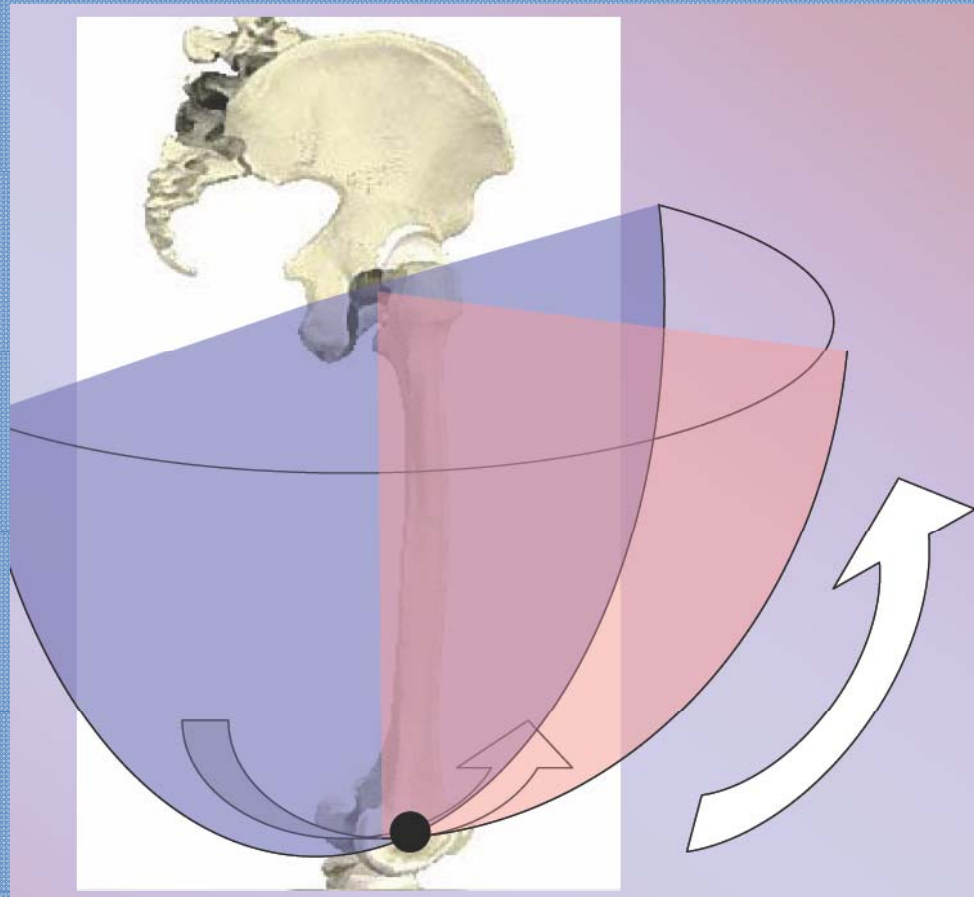
STATISTICO

$C = \text{\$LegLength} * 0.115 - 15.3$
 $\text{InterASISDist} = \text{DIST}(\text{LASI}, \text{RAS1})$
 $aa = \text{InterASISDist} / 2$
 $mm = \text{\$MarkerDiameter} / 2$
 $\text{COSBETA} = 0.951$
 $\text{SINBETA} = 0.309$
 $\text{COSTHETA} = 0.880$
 $\text{SINTHETA} = 0.476$
 $\text{COSTHETASINBETA} = \text{COSTHETA} * \text{SINBETA}$
 $\text{COSTHETACOSBETA} = \text{COSTHETA} * \text{COSBETA}$

$\text{LHJC} = \{C * \text{COSTHETASINBETA} - (\text{LATD} + mm) * \text{COSBETA},$
 $-C * \text{SINTHETA} + aa,$
 $-C * \text{COSTHETACOSBETA} - (\text{LATD} + mm) * \text{SINBETA}\} * \text{Pelvis}$

Approccio Funzionale cinematico

Minimizzazione della deviazione standard della distanza tra i centri articolari



LIMITI DELLA STEREOFOTOGRAMMETRIA

Effetti di un cattivo posizionamento dei marker

Variazioni di 1 cm:

| | Flex/Ext | Add/Abd | Rot. Int/Ext |
|-------------------|----------|---------|--------------|
| Angoli ANCA [°] | | | |
| Max diff [°] | 1.5 | 1.5 | 7.7 |
| (% range) | 4.1 | 8.9 | 56.6 |
| Momenti ANCA [Nm] | | | |
| Max diff [Nm] | 5.2 | 5.5 | 0.8 |
| (% range) | 8.5 | 10.2 | 4.0 |
| Angoli Knee [°] | | | |
| Max diff [°] | 1.5 | 1.5 | 10.9 |
| (% range) | 3.9 | 9.3 | 58.0 |
| Momenti KNEE | | | |
| Max diff [Nm] | 5.9 | 5.9 | 1.0 |
| (% range) | 15.0 | 19.7 | 11.6 |

Artefatti della pelle



Artefatti della pelle



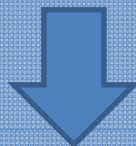
Spostamenti relativi nel piano immagine tra 30° e 90° di flessione

DINAMICA

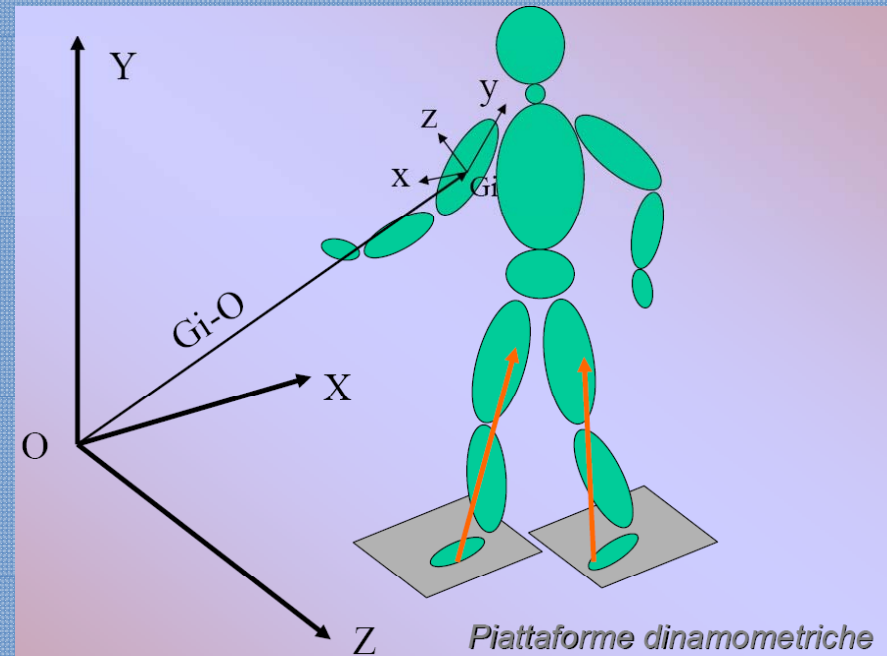
Abbiamo la cinematica (angoli articolari)



Pedane di Forza



Cinetica articolare
(Forze e Momenti articolari
→ Potenze prodotte o assorbite)



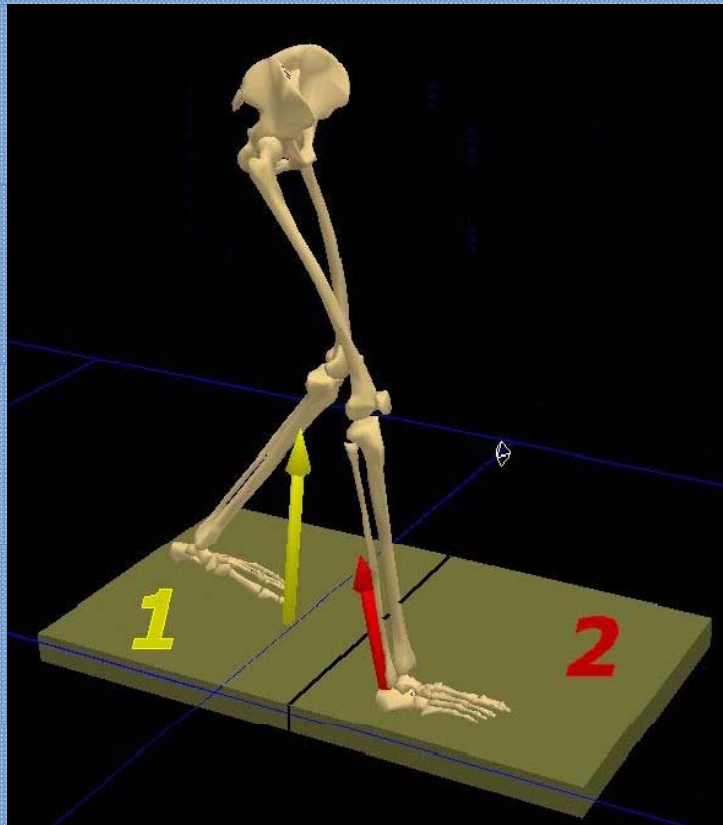
Problema dinamico inverso

Posizione
+
Forze
Esterne

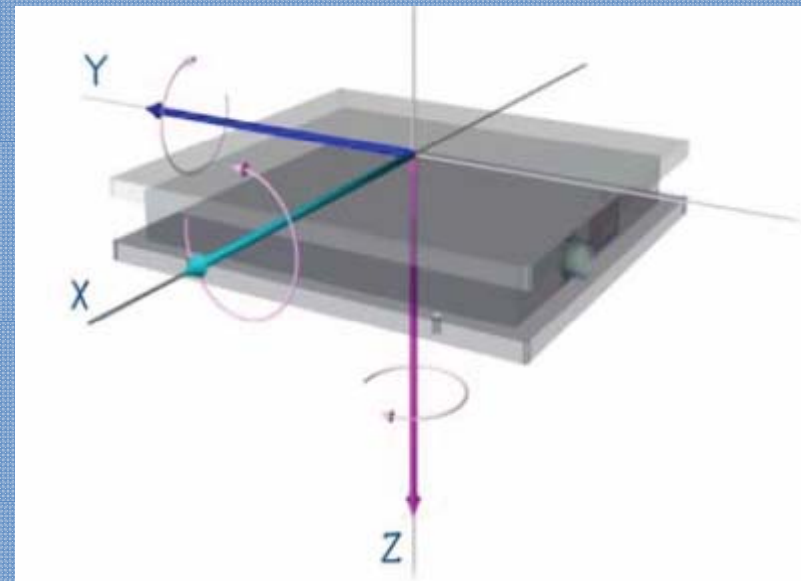
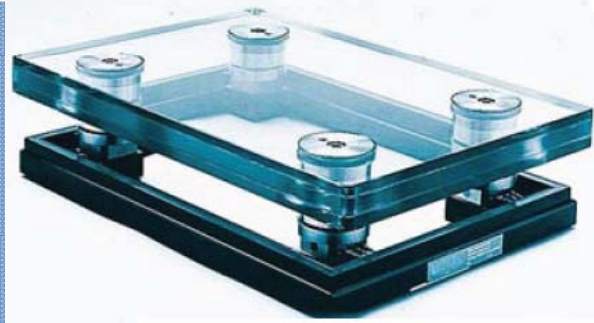


Forze
articolari

FORZE DI REAZIONI ESTERNE



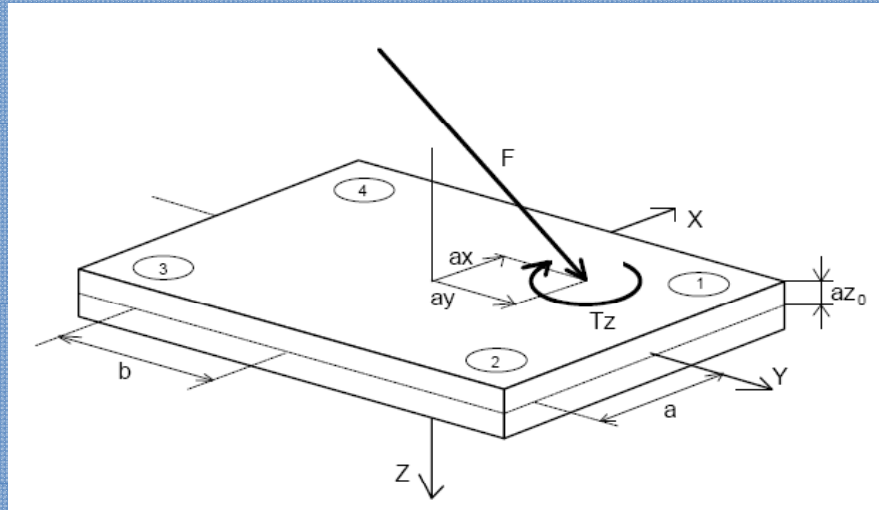
Piattaforme di forze o dinamometria



- Esistono due tipi di pedane:
- 3 Componenti (Analisi Statica)
 - 6 Componenti (Analisi Dinamica)**

In Laboratorio

2 Pedane Kistler a 6 componenti



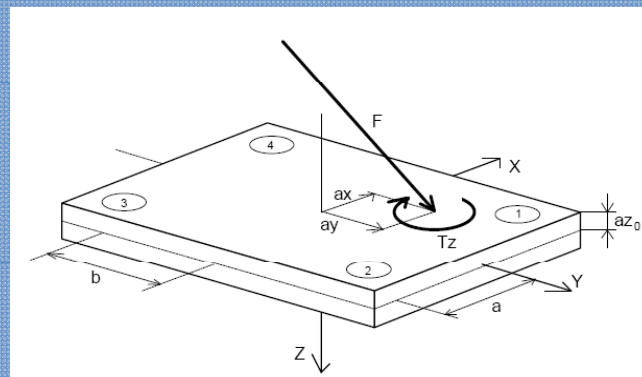
Force plate output signals

Channel Description

- f_{x12} 1 Force in X-direction measured by sensor 1 + sensor 2
- f_{x34} 2 Force in X-direction measured by sensor 3 + sensor 4
- f_{y14} 3 Force in Y-direction measured by sensor 1 + sensor 4
- f_{y23} 4 Force in Y-direction measured by sensor 2 + sensor 3
- $f_{z1} \dots f_{z4}$ 5 ... 8 Force in Z direction measured by sensor 1 ... 4

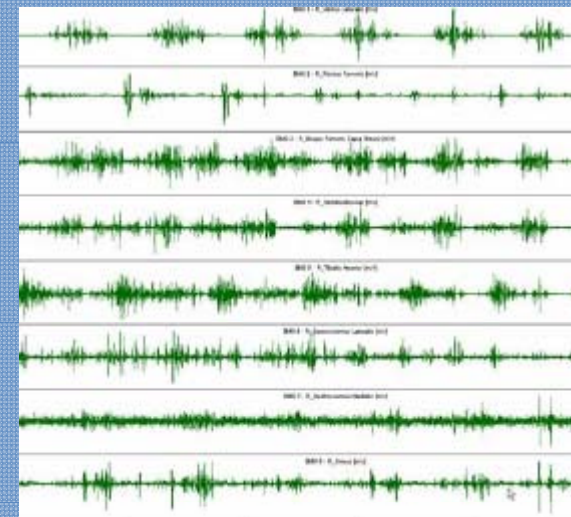
In Laboratorio

| Parameter | Calculation | Description |
|-------------------------|--|---|
| F_x | = $f_{x12} + f_{x34}$ | Medio-lateral force 1) |
| F_y | = $f_{y14} + f_{y23}$ | Anterior-posterior force |
| F_z | = $f_{z1} + f_{z2} + f_{z3} + f_{z4}$ | Vertical force |
| M_x | = $b * (f_{z1} + f_{z2} - f_{z3} - f_{z4})$ | Plate moment about X-axis |
| M_y | = $a * (-f_{z1} + f_{z2} + f_{z3} - f_{z4})$ | Plate moment about Y-axis |
| M_z | = $b * (-f_{x12} + f_{x34}) + a * (f_{y14} - f_{y23})$ | Plate moment about Z-axis |
| M_x' | = $M_x + F_y * a_{z0}$ | Plate moment about top plate surface |
| M_y' | = $M_y - F_x * a_{z0}$ | Plate moment about top plate surface |
| A_x | = $-M_y' / F_z$ | X-Coordinate of force application point (COP) |
| A_y | = M_x' / F_z | Y-Coordinate of force application point (COP) |
| T_z | = $M_z - F_y * a_x + F_x * a_y$ | Free moment, Vertical torque, "Frictional" torque |
| COF_x | = F_x / F_z | Coefficient of Friction x-component |
| COF_y | = F_y / F_z | Coefficient of Friction y-component |
| COF_{xy} | = $\sqrt{COF_x^2 + COF_y^2}$ | Coefficient of Friction absolute |



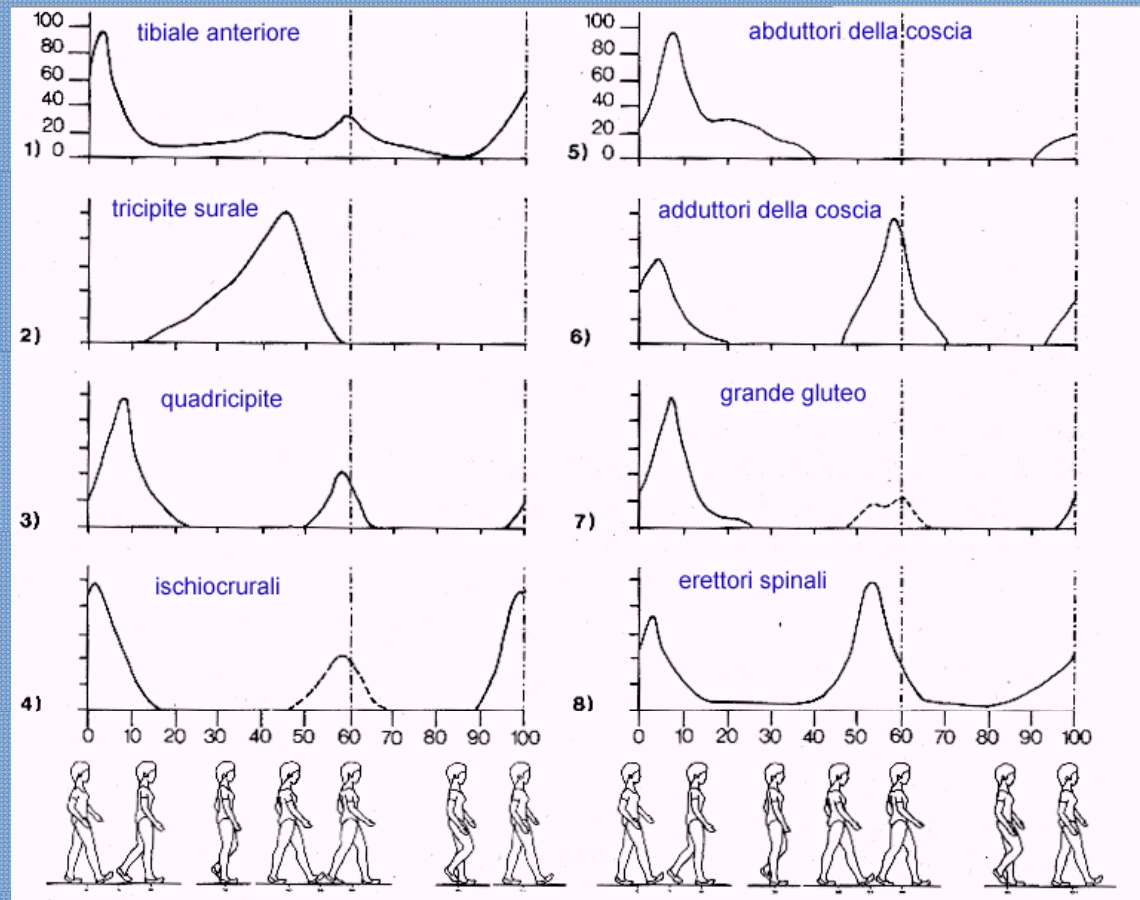
ANALISI FUNZIONALE

EMG Elettromiografia dinamica (di superficie)



ATTIVITA' MUSCOLARE

Studio degli istanti di attivazione muscolare durante il movimento



ATTIVITA' DI LABORATORIO

Attività orientata alla clinica (effetti della riabilitazione):

- Gait Analysis (Neurologico ed Ortopedico)

Ricerca orientata alla metodologia riabilitativa:

- Stretch Reflex (Soggetti Neurologici Ipertonici)

Sportivi:

- Fioretto (Creazione di Librerie del movimento)
- Calcio (Cambi di Direzione)
- Ciclismo (Studio delle asimmetrie nella pedalata)



Congresso Internazionale AIFI 9-10 Ottobre – Messina



**Valutazione della soglia di comparsa dello Stretch Reflex in
soggetti emiplegici post stroke con iperattività allo
stiramento dei muscoli flessori del polso e delle dita**

- Studio Pilota -

A. Ravaschio*, M. Migliorini*, P.Lippi**, A.Guidi*, L.Grimaldi*

* Laboratorio di Bioingegneria Osp. San Francesco, U.O.R.R.F. usl2 Lucca

** UORF, usl3 Pistoia

Introduzione

Scala di Ashworth³ strumento valutativo classico

Iperattività allo stiramento definita come:

“disordine motorio caratterizzato da un’alterazione della soglia allo stiramento velocità dipendente”¹

Correlazione tra iperattività e velocità di stiramento
(sano vs patologico²) Sano > 250°/s

1] Lance J.W., The control of muscle tone, reflexes and movement: Robert Waterberg Lecture, Neurology, 30 (1980) 1303-1313

2] Levin M.F., Feldman A.G., The role of stretch reflex threshold regulation in normal and impaired motor control: Brain Research 1994; 657:23-40

3] Sloan R.L. et al, Inter-rater reliability of modified Ashworth Scale for spasticity in hemiplegic patients. In J Rehabil Res 1992; 15:158-61

Soggetti Reclutati

- 6 Soggetti (5 U, 1 D)
- Esiti da stroke (10 -50 mesi)
- Età media: 54.8 anni

| Soggetto | Anno | Mesi dall'evento | Lato colpito |
|----------|------|------------------|--------------|
| A | 1950 | 21 | SX |
| B | 1957 | 27 | SX |
| C | 1944 | 10 | SX |
| D | 1944 | 31 | SX |
| E | 1970 | 50 | DX |
| F | 1954 | 50 | DX |

Materiale e metodi

- Valutazione della velocità soglia

Imposizione di stiramenti ripetuti a velocità crescente da 0 a 180°/s

- Macchinario

- Grandezze Misurate

EMG (Flessori del carpo e delle dita)

Posizione Angolare del polso



Terapia

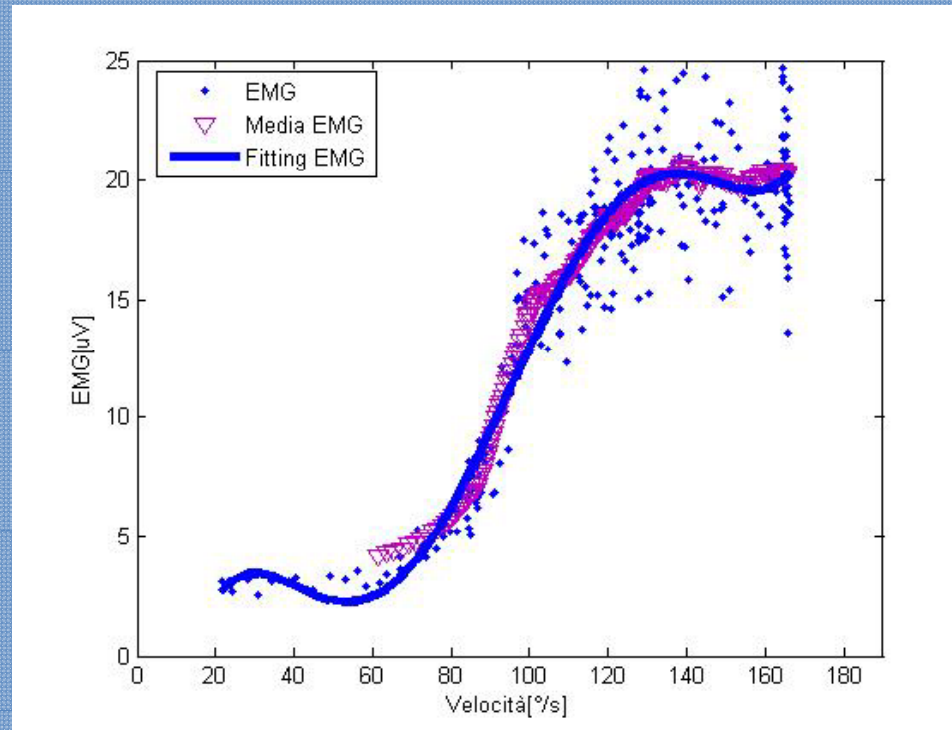
- 20 minuti di mobilizzazione passiva del polso alla velocità soglia rilevata nella acquisizione Pre.

Dati (Soggetto A)

- Soggetto A
 - Maschio, 54 anni
 - Cronico, 21 mesi dall'evento (ictus ischemico)
 - Emiparesi Sinistra
 - Stiffness elevata del polso e delle dita
 - Punteggio Scala di A. 4

Dati

- Acquisizione pre - valutazione soglia

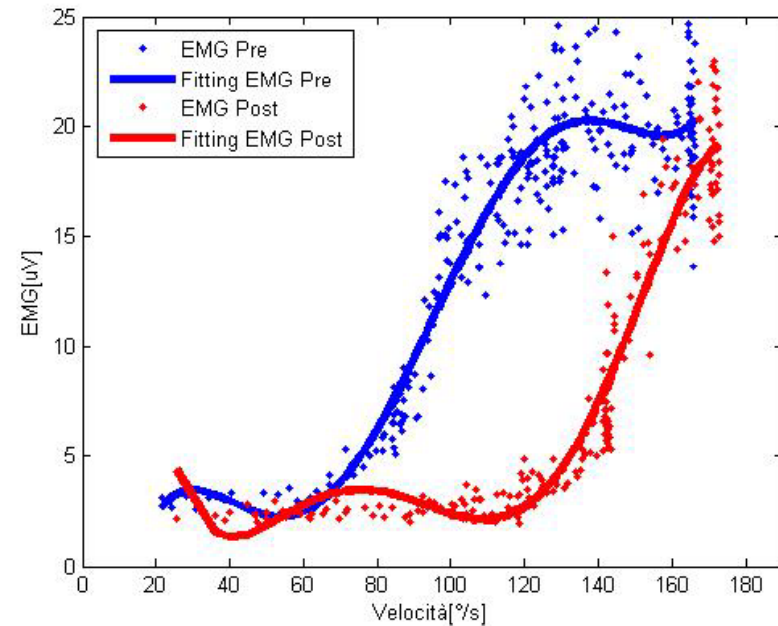


- Aquisizione post

- Scala finale 2

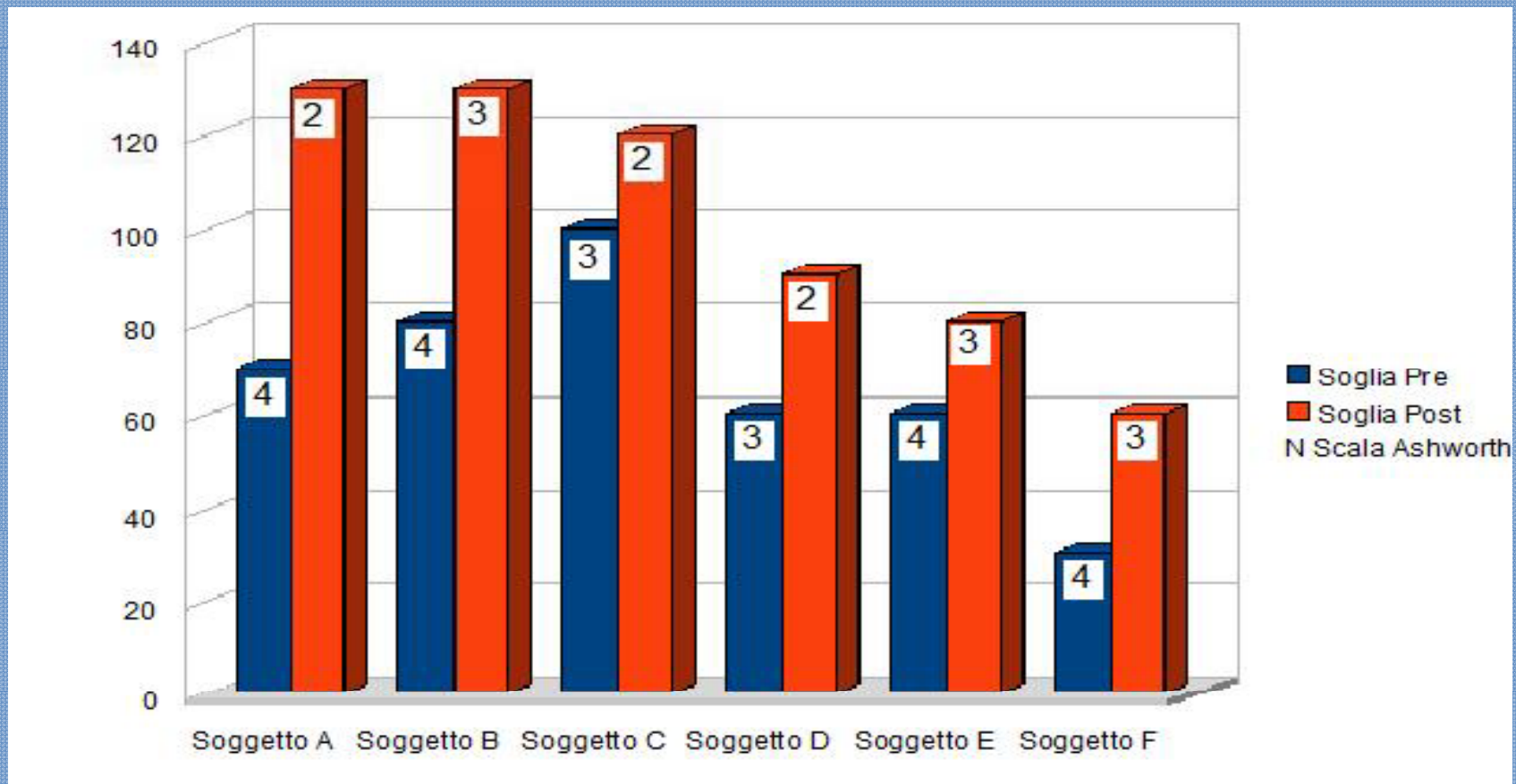
- Evidenza clinica

- < rigidità della mano
- acquisizione di un leggero movimento di grasping (mai avuto)



Dati (Tutti i Soggetti)

Tutti i casi (barre) + scala di Ashworth (numero).



ATTIVITA' DI LABORATORIO

Attività orientata alla clinica (effetti della riabilitazione):

- Gait Analysis (Neurologico ed Ortopedico)

Ricerca orientata alla metodologia riabilitativa:

- [Stretch Reflex](#) (Soggetti Neurologici Ipertonici)

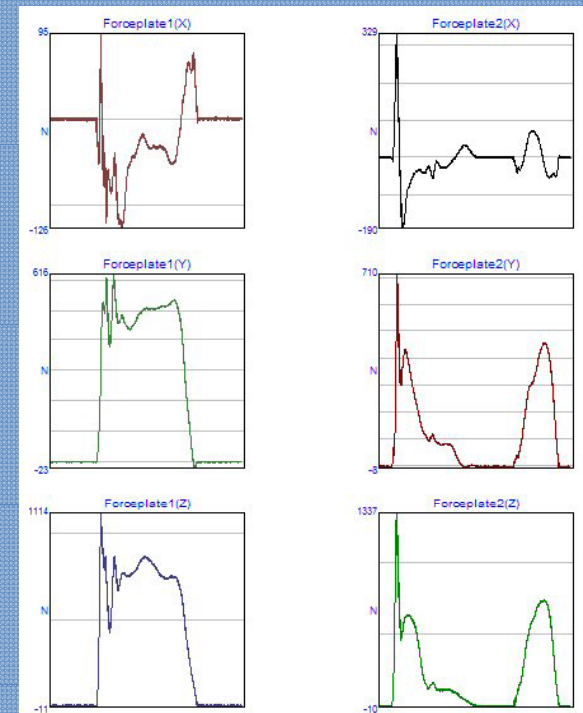
Sportivi:

- Fioretto (Creazione di Librerie del movimento)
- [Calcio](#) (Cambi di Direzione)
- Ciclismo (Studio delle asimmetrie nella pedalata)

Analisi del movimento nello sportivo

Cambio di direzione durante una partita

Studio delle forze in gioco durante un cambio di direzione



Migliorare la preparazione atletica mediante lo sviluppo di protocolli specifici

Proposta di tesi

Analisi comparativa computerizzata del cammino:

- Realizzazione di un software in grado di analizzare più trial di Gait Analysis ed individuare le differenze più significative.

That's all Folks !!!

Ing. Andrea Ravaschio

Laboratorio di Analisi del Movimento

Osp. San Francesco

Via dei Frati 1, 55051 Barga (LU)

Tel. 0583-729.348

E-mail: a.ravaschio@yahoo.it