



Università degli Studi di Padova
Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale

DIM-G
ROBOTICS

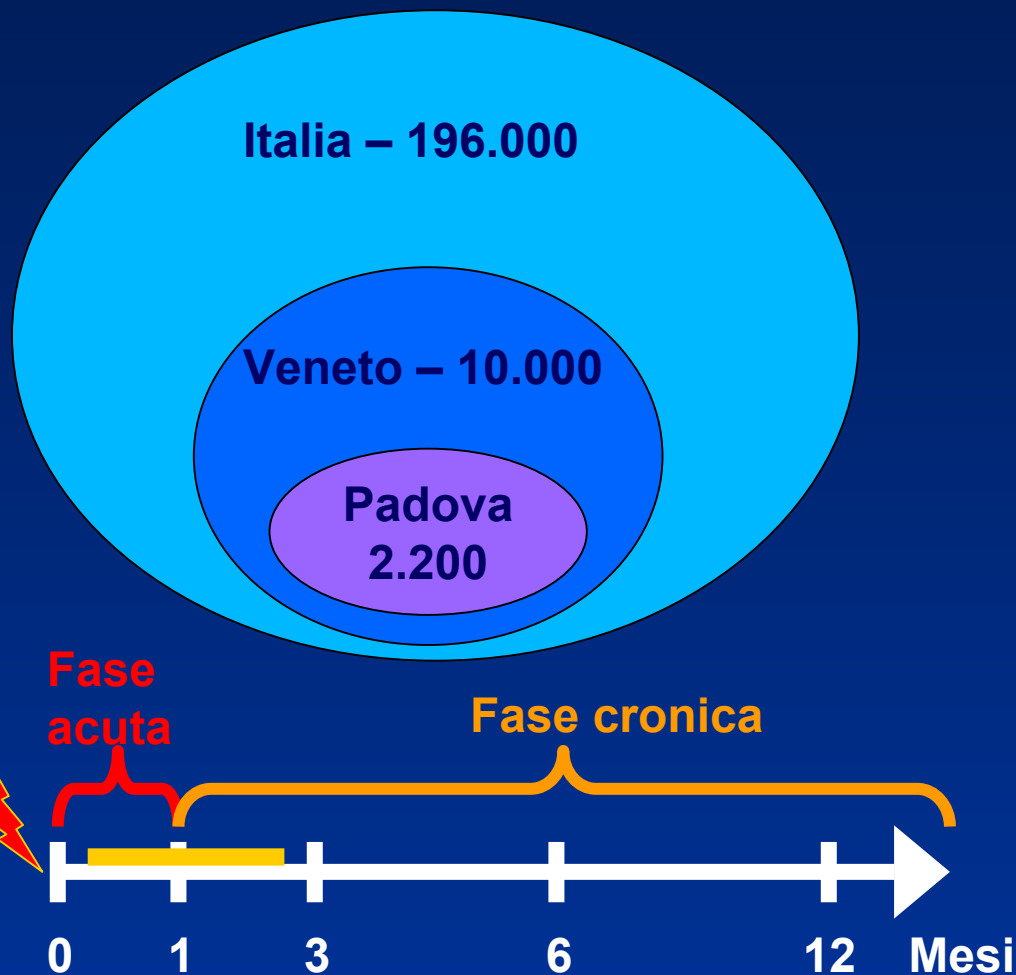
Corso di Dottorato in Meccanica Applicata alle Macchine - XIX Ciclo
Presentazione Finale

Interfaccia aptica a 5 gdl per la riabilitazione degli arti superiori

Tutore: Prof. Ing. Aldo Rossi

Dottorando: Mattia Andreolli

Neuroriabilitazione post-stroke



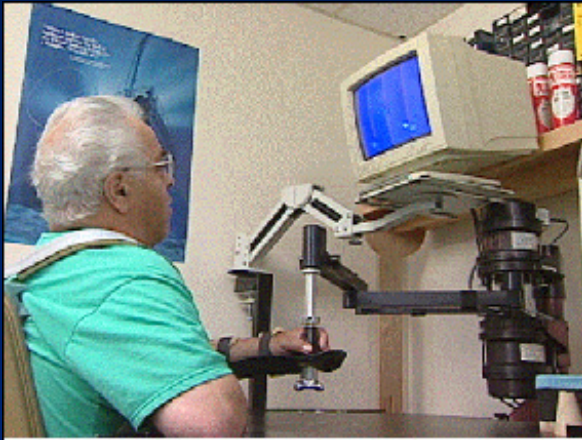
L'ictus colpisce quasi 200.000 persone all'anno, di età media 74 anni

La riabilitazione dovrebbe essere intrapresa prima possibile, in fase intensiva **almeno 3 ore al giorno**

Una mobilitazione intensiva produce un miglioramento (**riorganizzazione attività cerebrale**)

Il recupero maggiore si può avere **entro i primi 3-6 mesi** dopo l'ictus

Robot per neuroriabilitazione



MIT-Manus
1995

MIME
1999



**Arto
Superiore**



Gentle/S
2001

REHAROB
2003



Nerebot



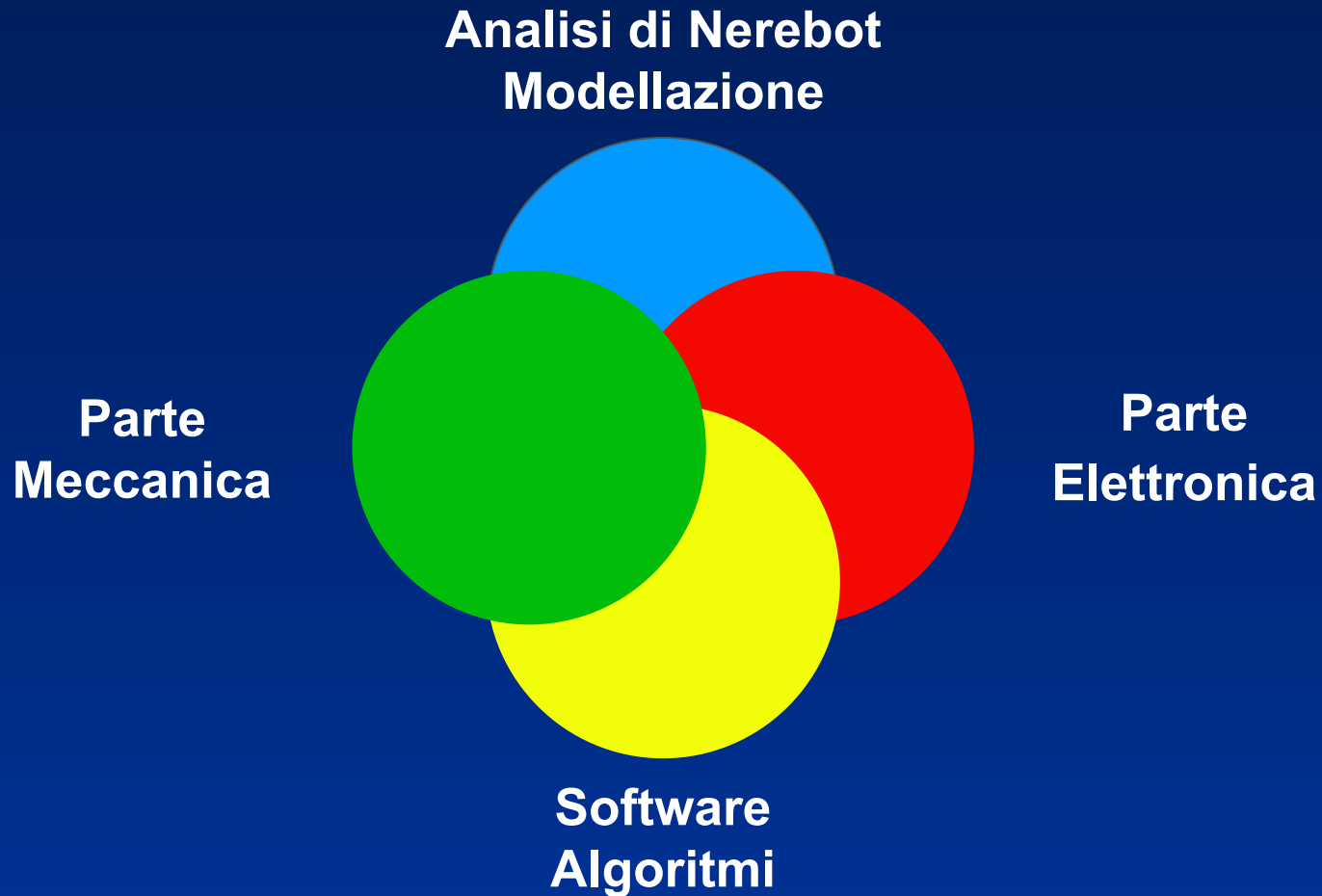
Obiettivi del lavoro

Realizzare un nuovo prototipo

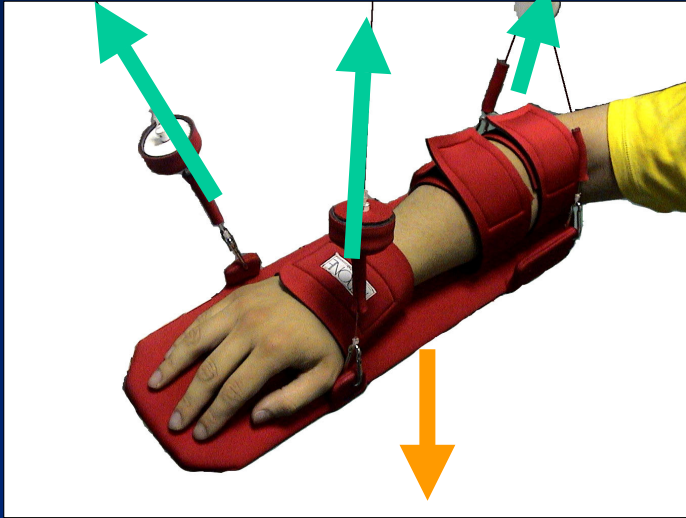
- Aumentare lo spazio di lavoro
- Ridurre le regolazioni manuali
- Migliorare la trasportabilità



Articolazione del lavoro



1.1 Modellazione sistema cavi – ortesi-braccio



- Braccio umano modellato come una struttura cinematica a 5 gdl (3 spalla + 2 gomito)

- Punti di minimo potenziale relativamente a 5 variabili di giunto α

$$\Pi_{tot} = g \sum_{i=1}^n m_i h_i + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m k_j \Delta l_j^2$$

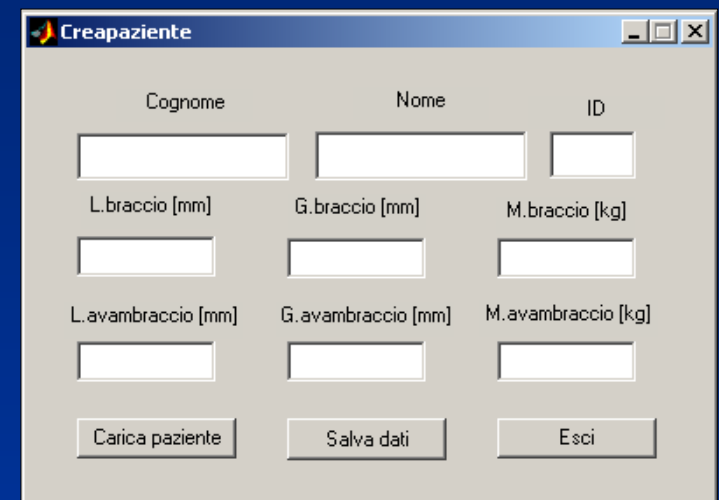
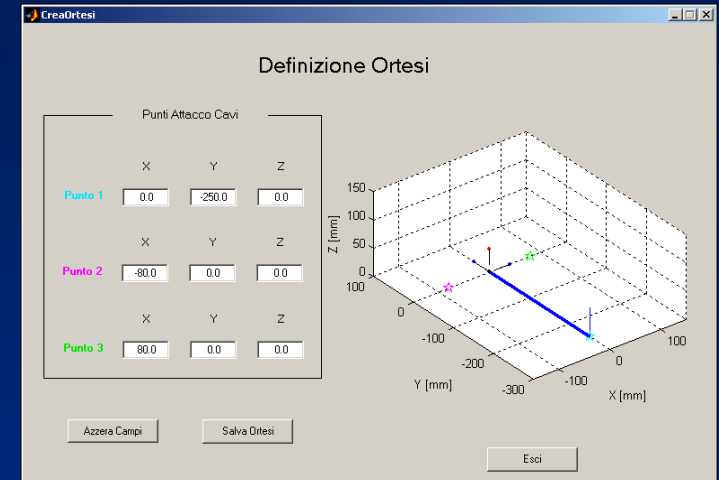
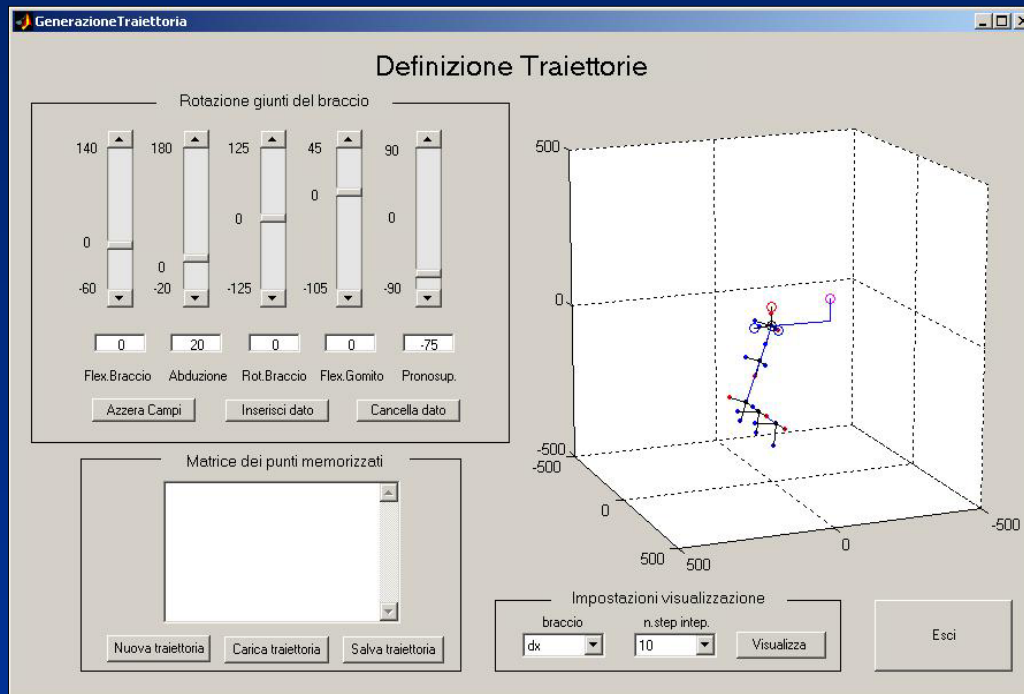
$$\Pi_{tot} = f(c, l_0, \alpha)$$

$$\frac{\partial \Pi_{tot}}{\partial \alpha} = 0$$

- Funzione MatLAB **fminsearch**

1.2 Software di simulazione

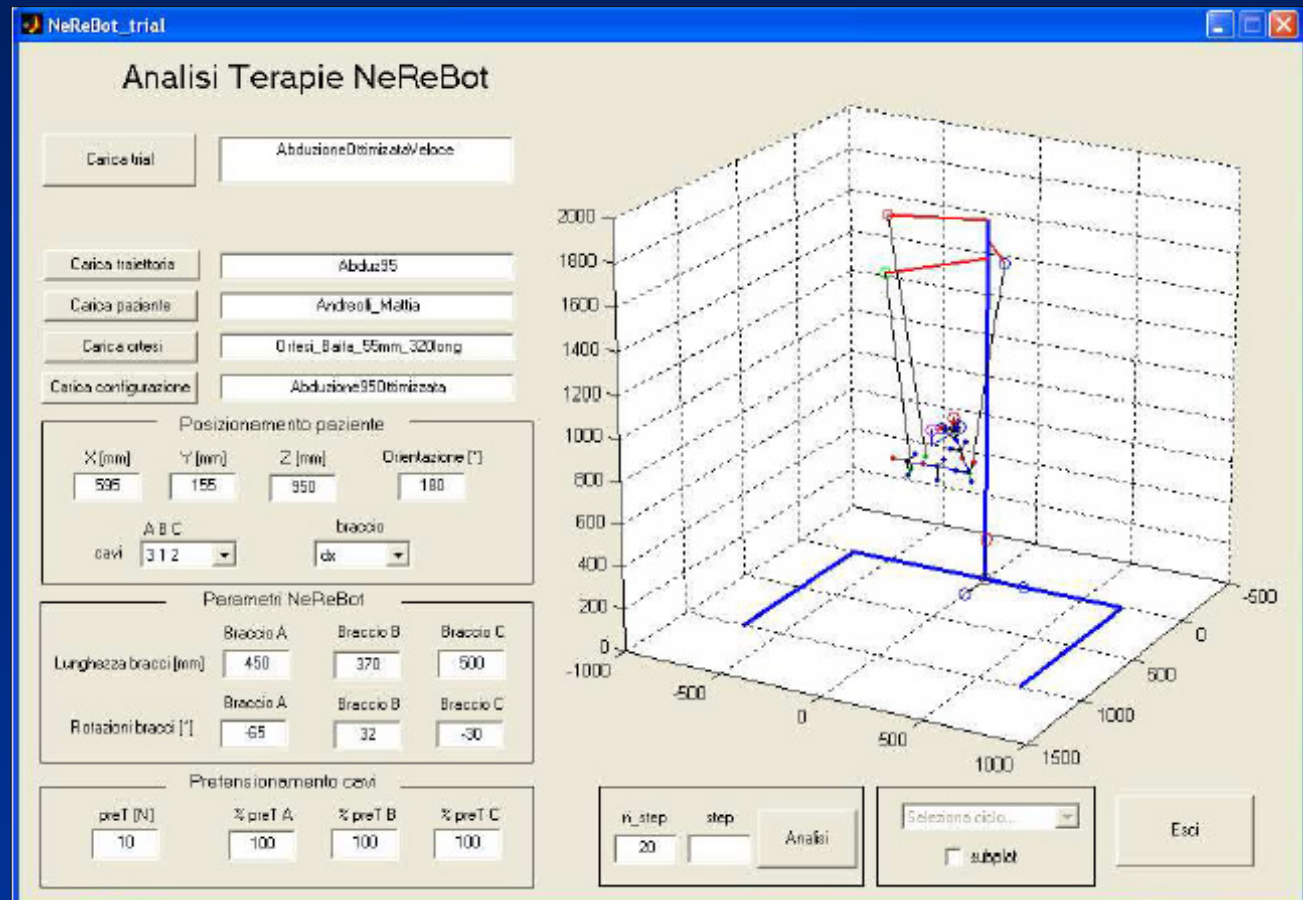
Interfacce utente



1.2 Software di simulazione

Interfacce utente

Simulazioni
parametriche
(variando c)



1.3 Terapie ottimizzate

Ottimizzate le configurazioni **c** in base alle terapie

	A[°]	A[mm]	B[°]	B[mm]	C[°]	C[mm]	X[mm]	Y[mm]	Z[mm]	θ [°]
Abduzione da seduto	-65	450	32	370	-30	500	600	150	1010	185
Abduzione da disteso	-74	500	48	450	-38	680	550	330	1300	180
Flessione del gomito	-85	450	60	370	-15	470	420	130	1010	180
Estensione verticale	-66	450	24	550	0	650	800	500	1010	180
Pronosupinazione	-40	400	15	370	-15	610	500	100	1010	180
2 abduzioni e 1 estensione	-54	440	24	370	-30	480	500	105	1010	180
2 flessioni e 1 abduzione	-54	440	24	370	-30	450	450	100	1010	180

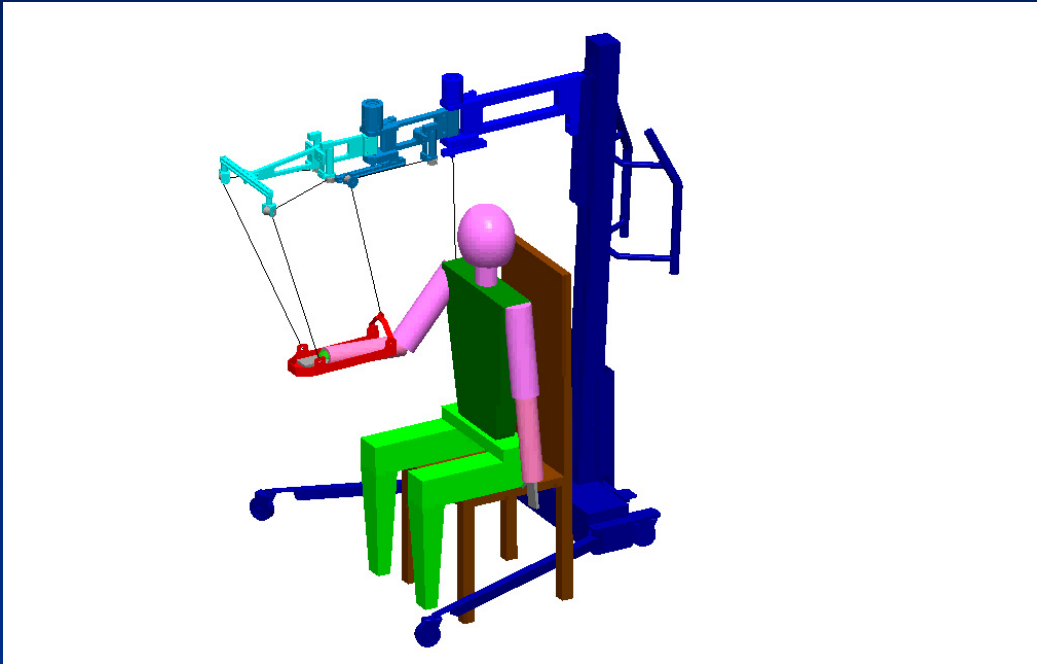
1.3 Terapie ottimizzate

Ottimizzate le configurazioni **c** in base alle terapie

Problema: raramente usate dai medici e fisioterapisti

Soluzione: configurazione non fissa ma mobile in funzione della traiettoria impostata

2.1 Maribot



- Macchina a cavi
- Struttura seriale a 2 g.d.l.
- Movimento anche su piano orizzontale
- 3 cavi per l'ortesi
- Sensori di forza
- Ingombri e massa ridotti

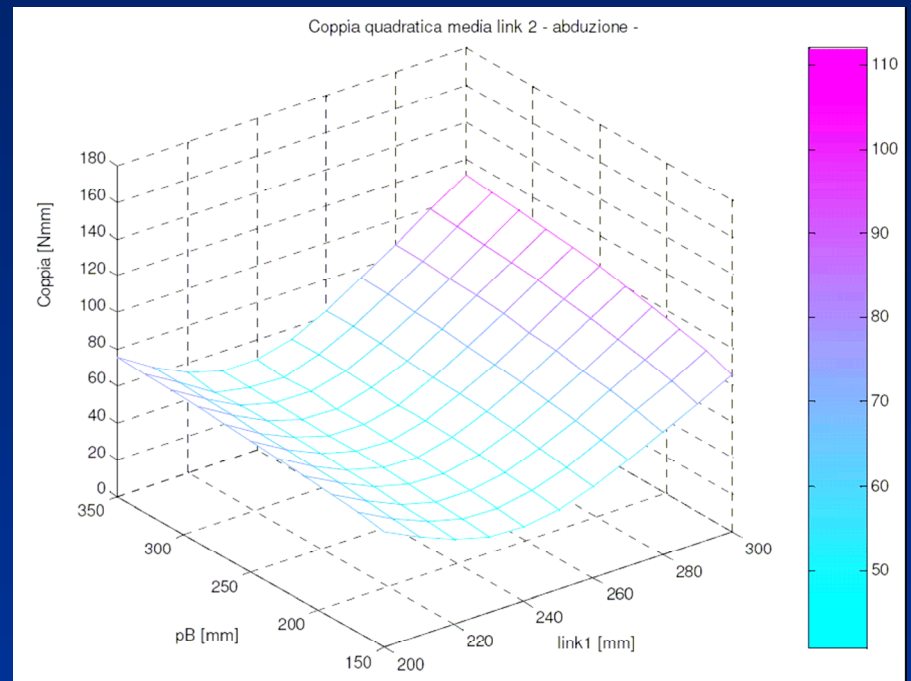
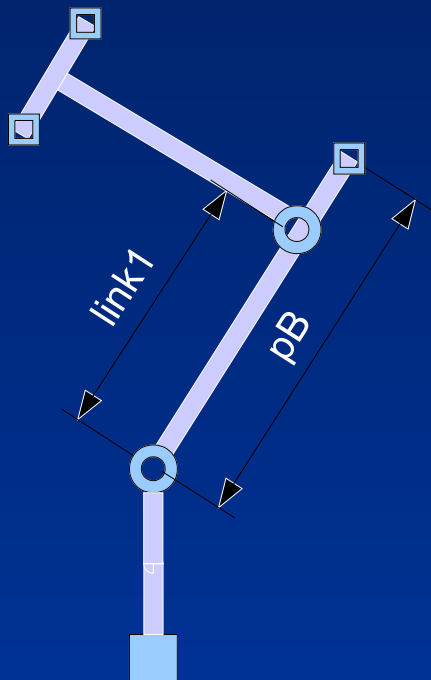
2.2 Dimensionamento funzionale

$$\Pi_{tot} = f(c, l_0, \alpha)$$

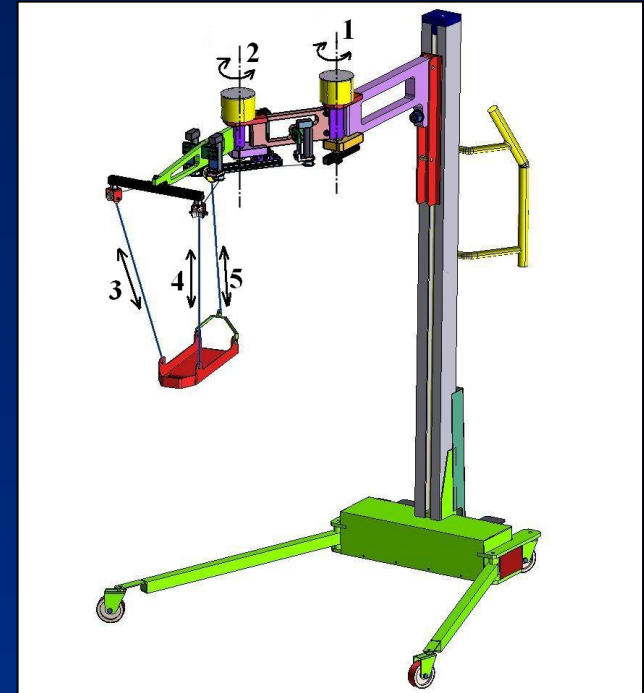
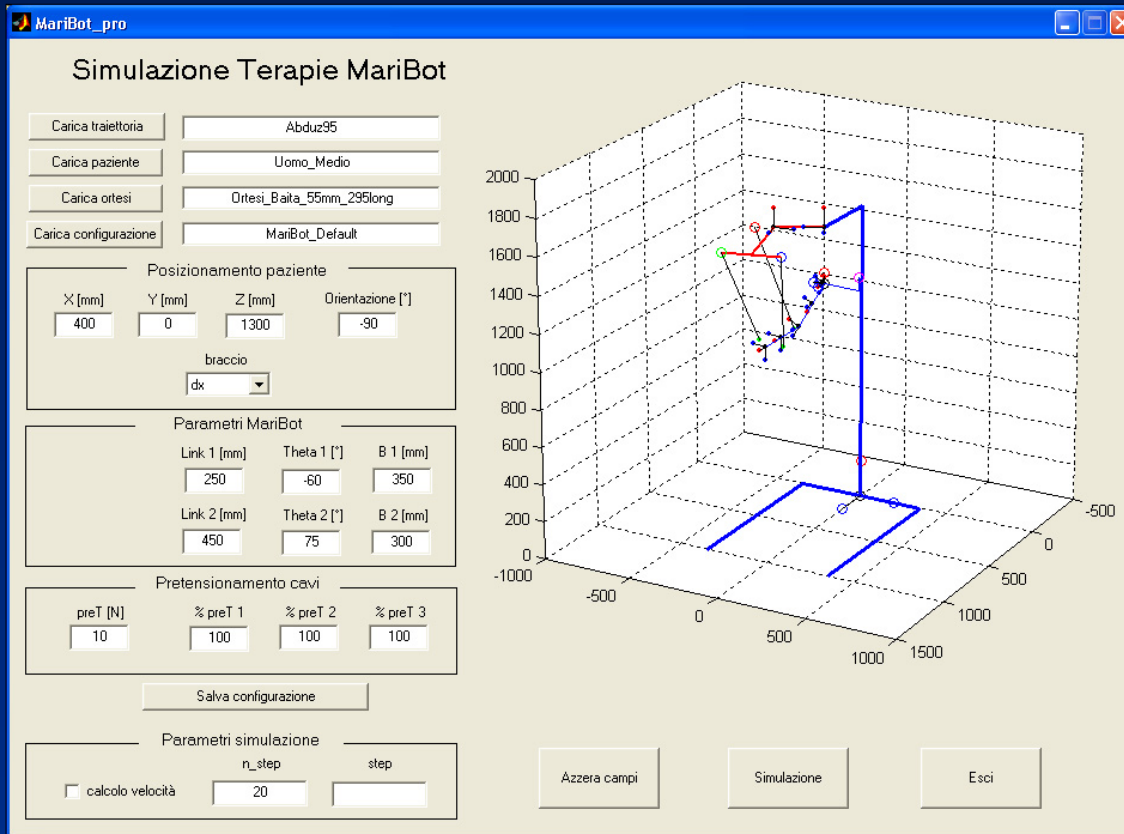
c non è fisso

- Punti acquisiti
- Dimensioni link
- Posizione passacavi

$$\frac{\partial \Pi_{el}}{\partial \theta_{link}} = 0$$

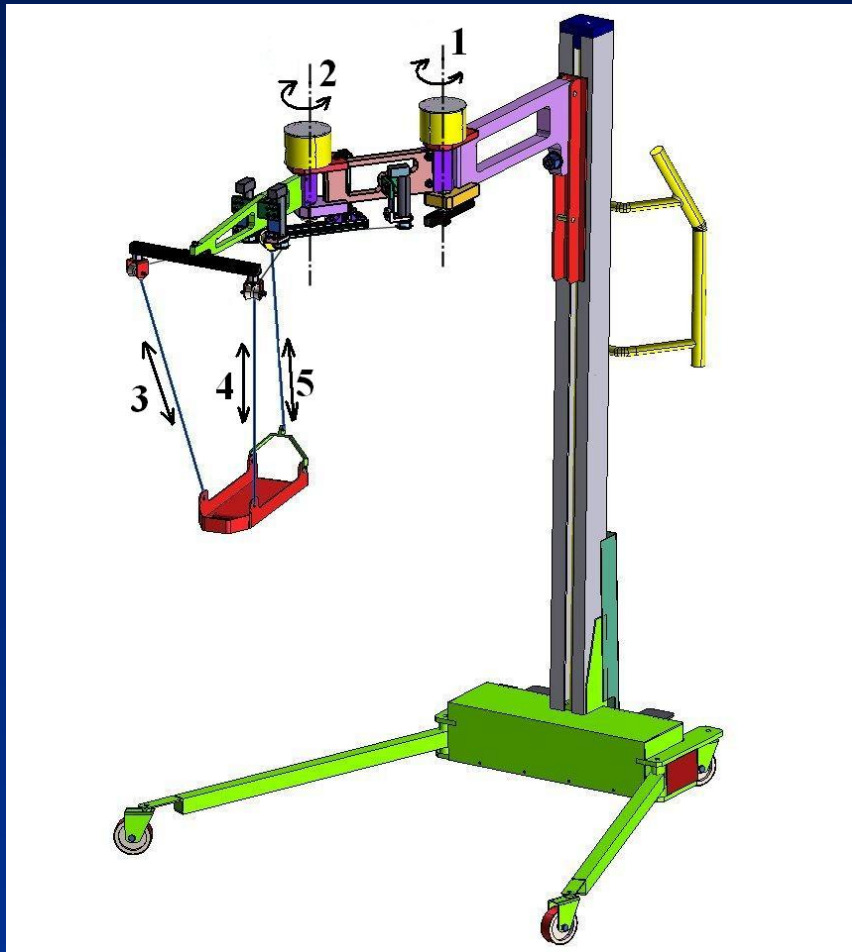


2.3 Dimensionamento funzionale



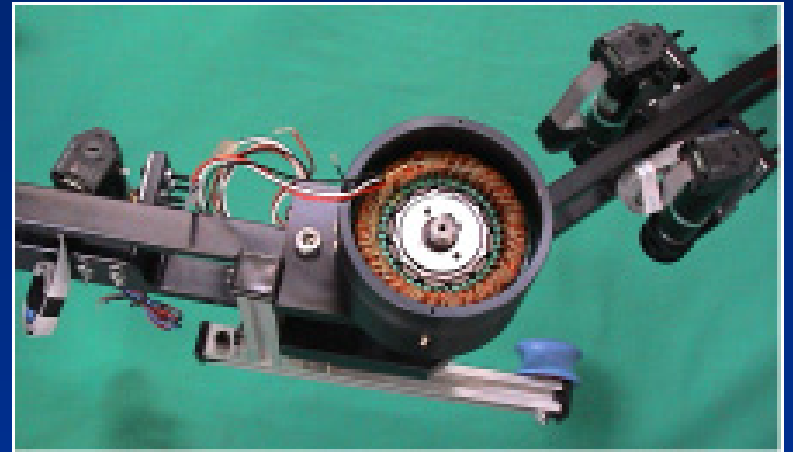
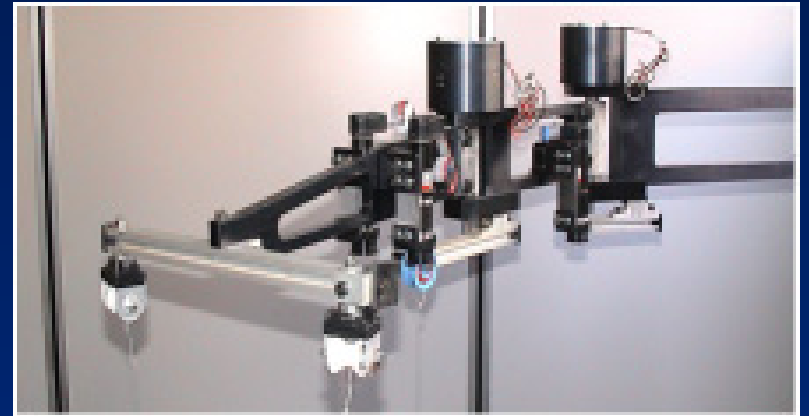
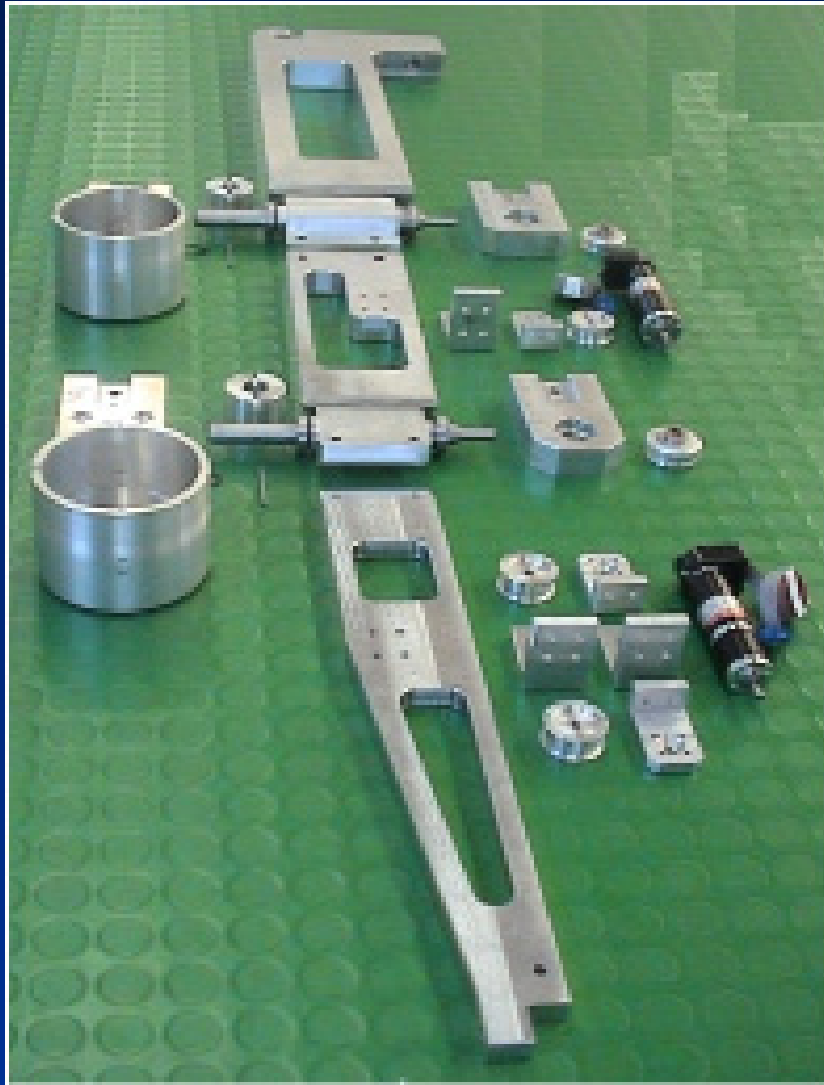
Dimensionamento dei link, posizione del passacavo del gomito e dei passacavi anteriori

2.4 Progettazione esecutiva

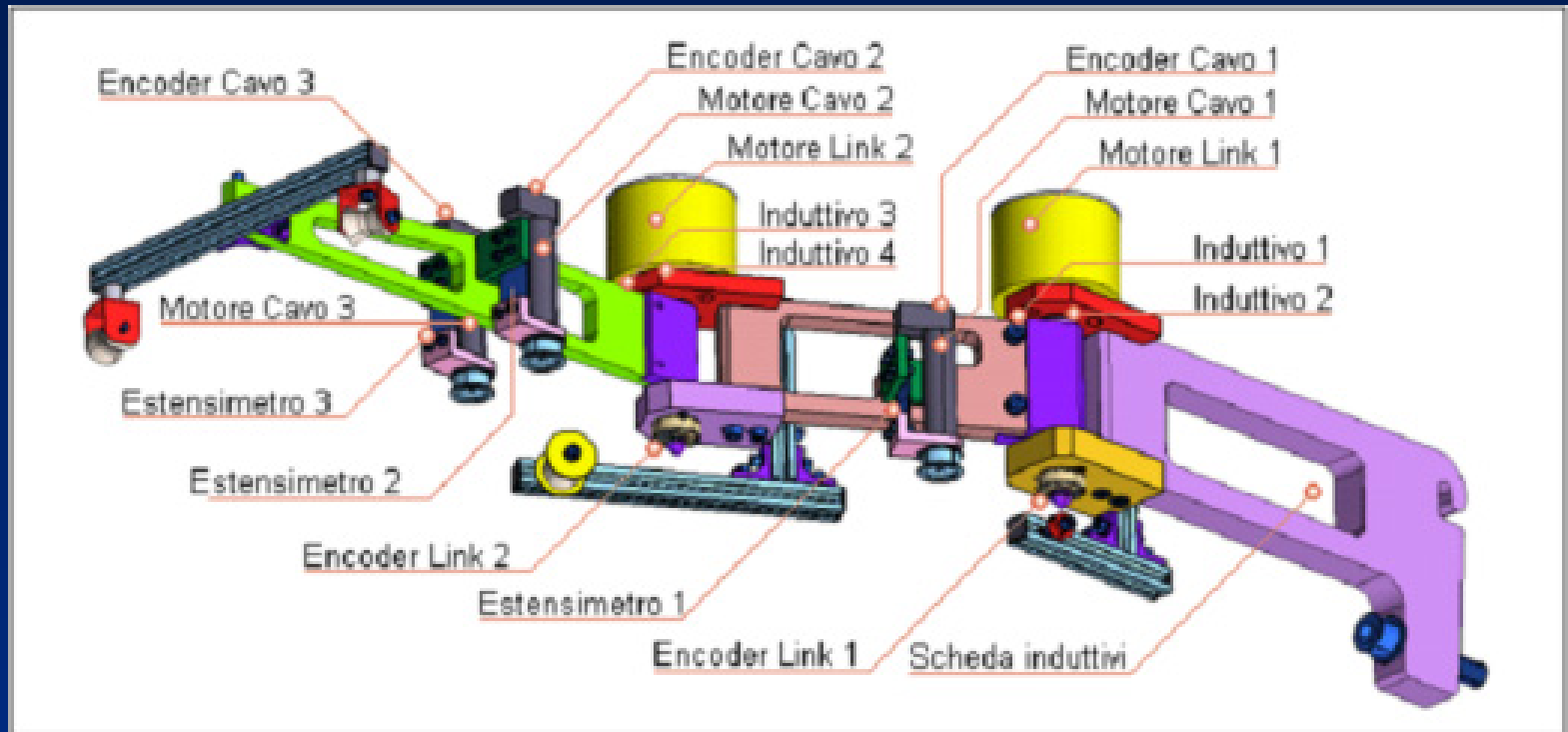


- Riduzione complessità dei componenti
- Soluzione problematiche di assemblaggio
- Scelta dei materiali
- Valutazione coppie motori link

2.6 Realizzazione

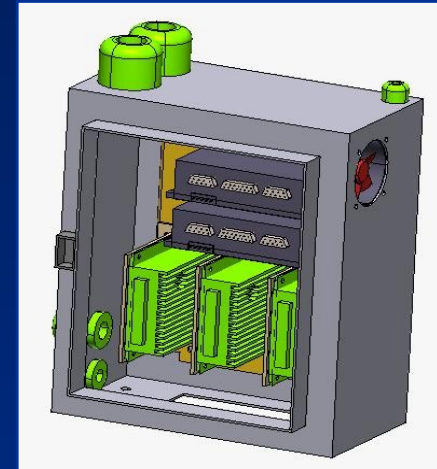
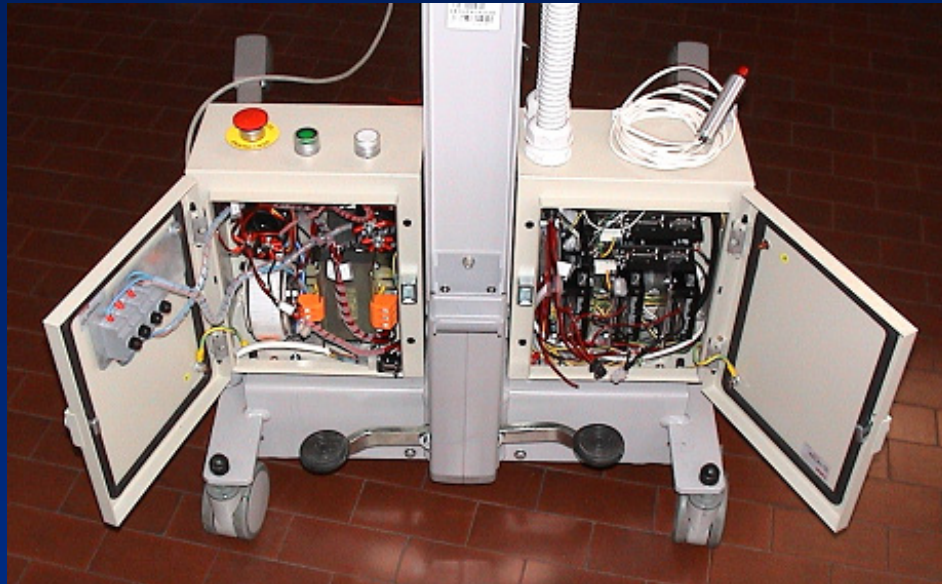
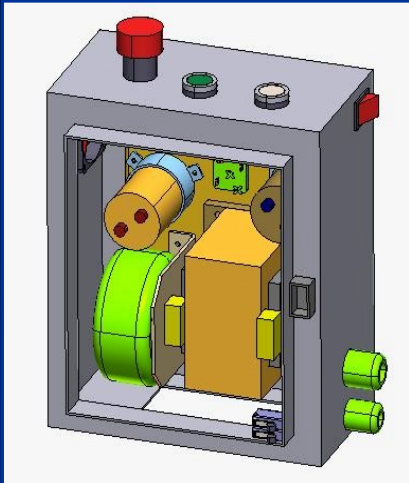


3.1 Sensoristica



- 5 Encoder rotativi
- 3 Estensimetri
- 4 Sensori induttivi
- 4 Switch meccanici di fine corsa

3.2 Quadri di alimentazione e di potenza

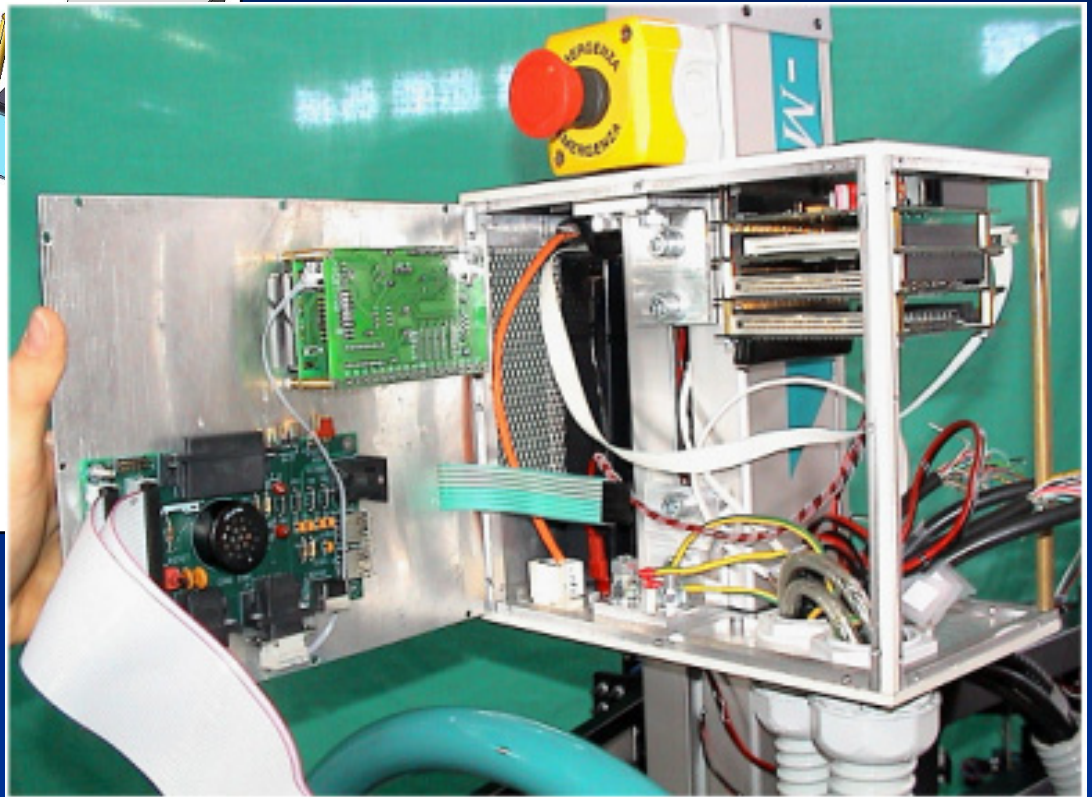
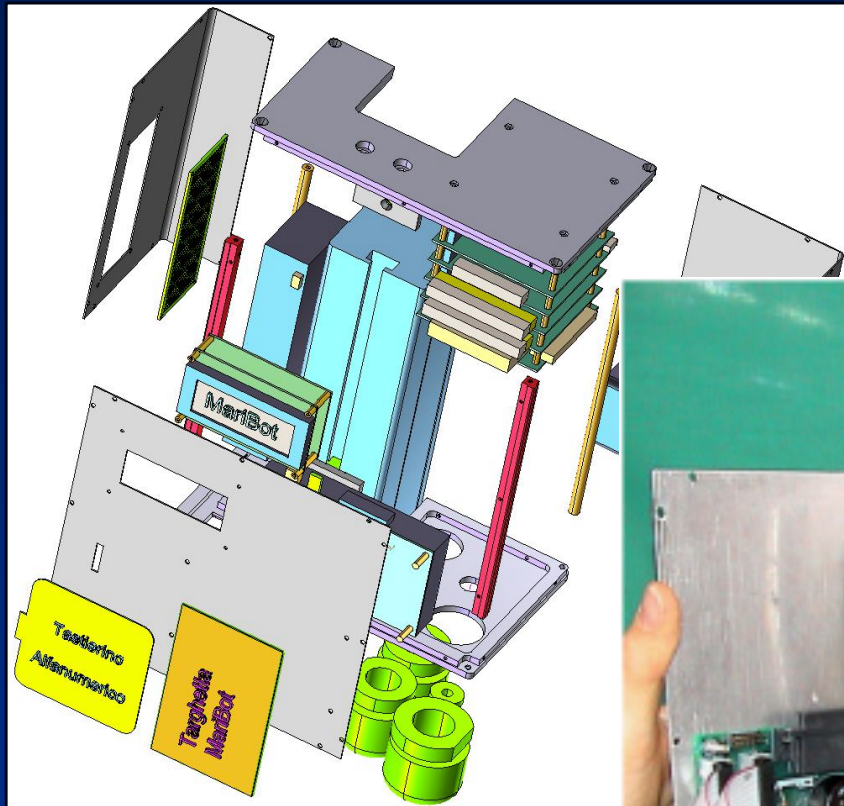


Doppia alimentazione

- 30 Vdc per i motori link
- 22 Vdc per i motori cavi

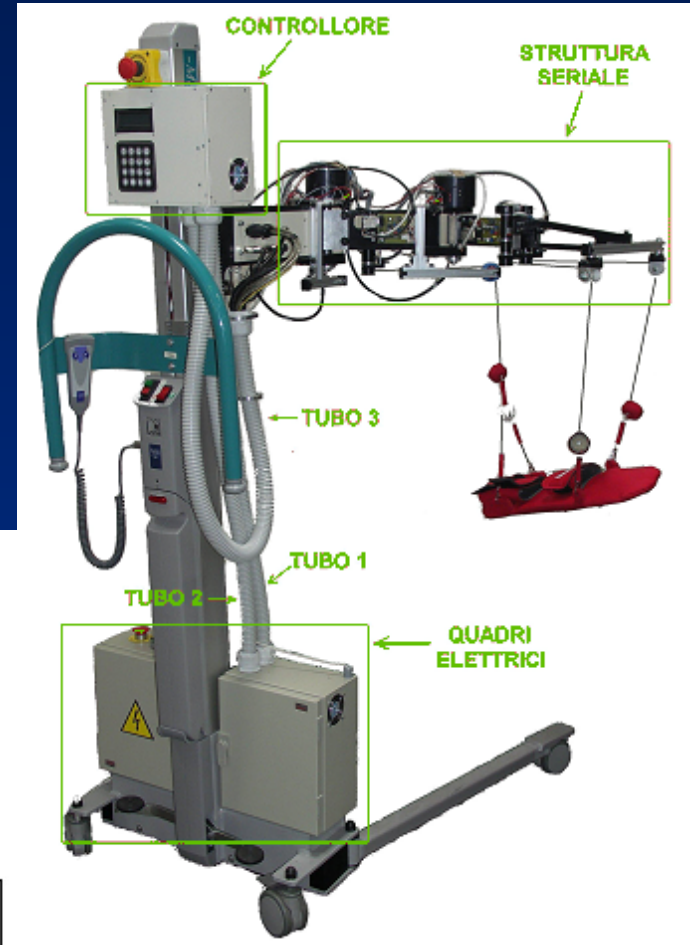
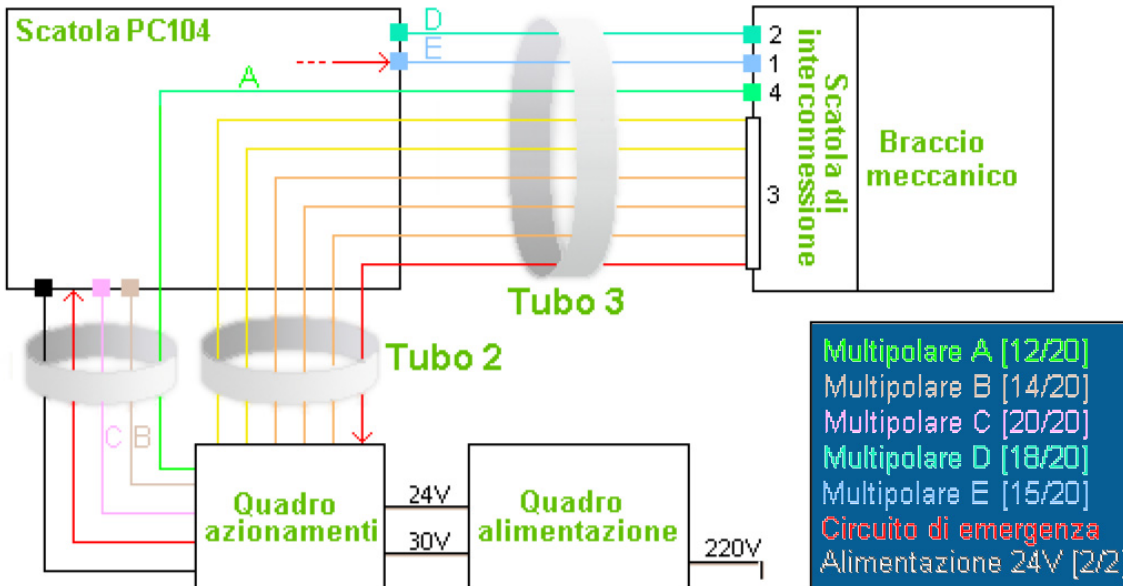
- Gestione emergenze
- Gestione Marcia

3.3 Quadro Controllore Pc104



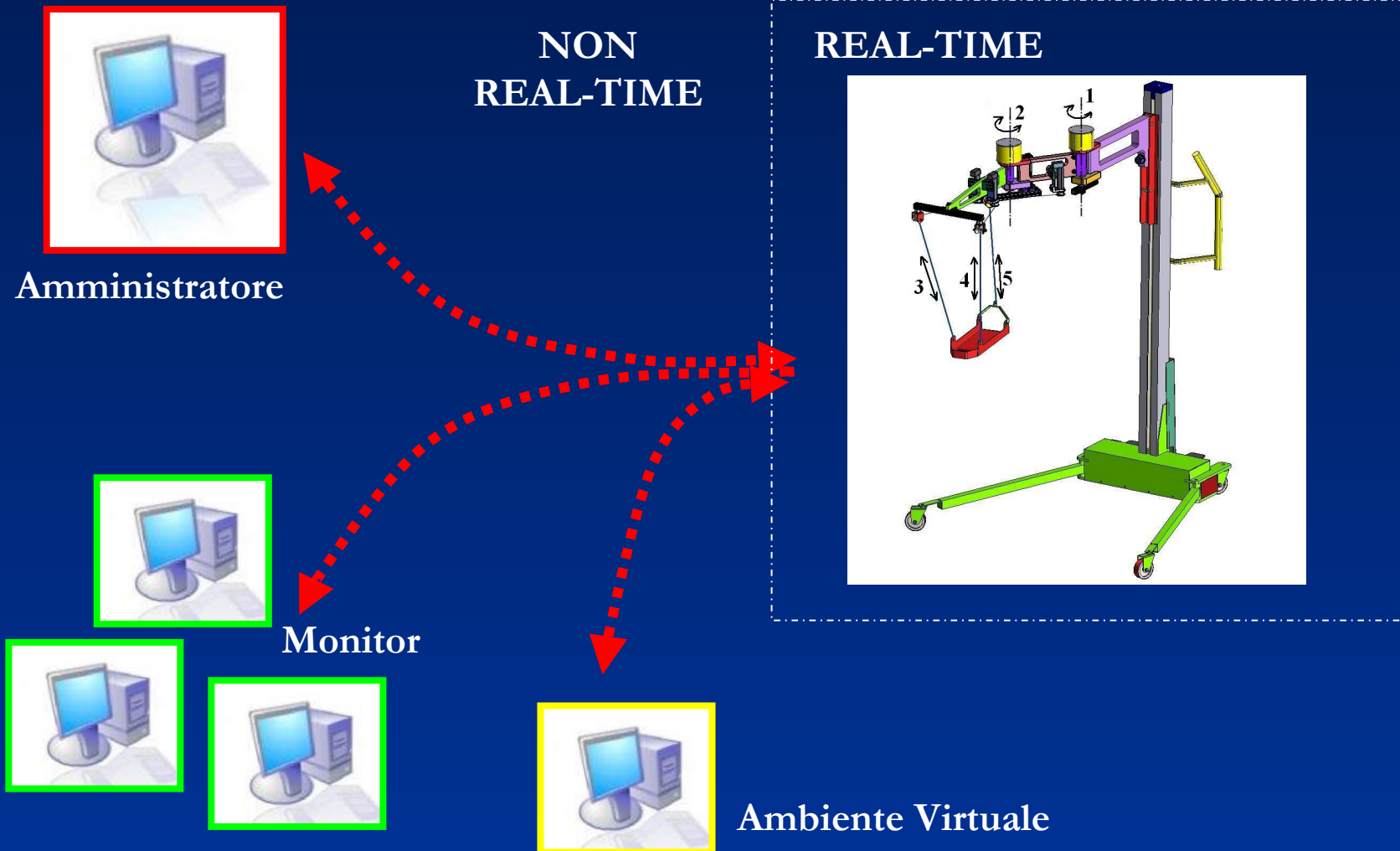
3.4 Cablaggio

- Cablaggio parallelo
- Scatola di interconnessione
- Problematiche

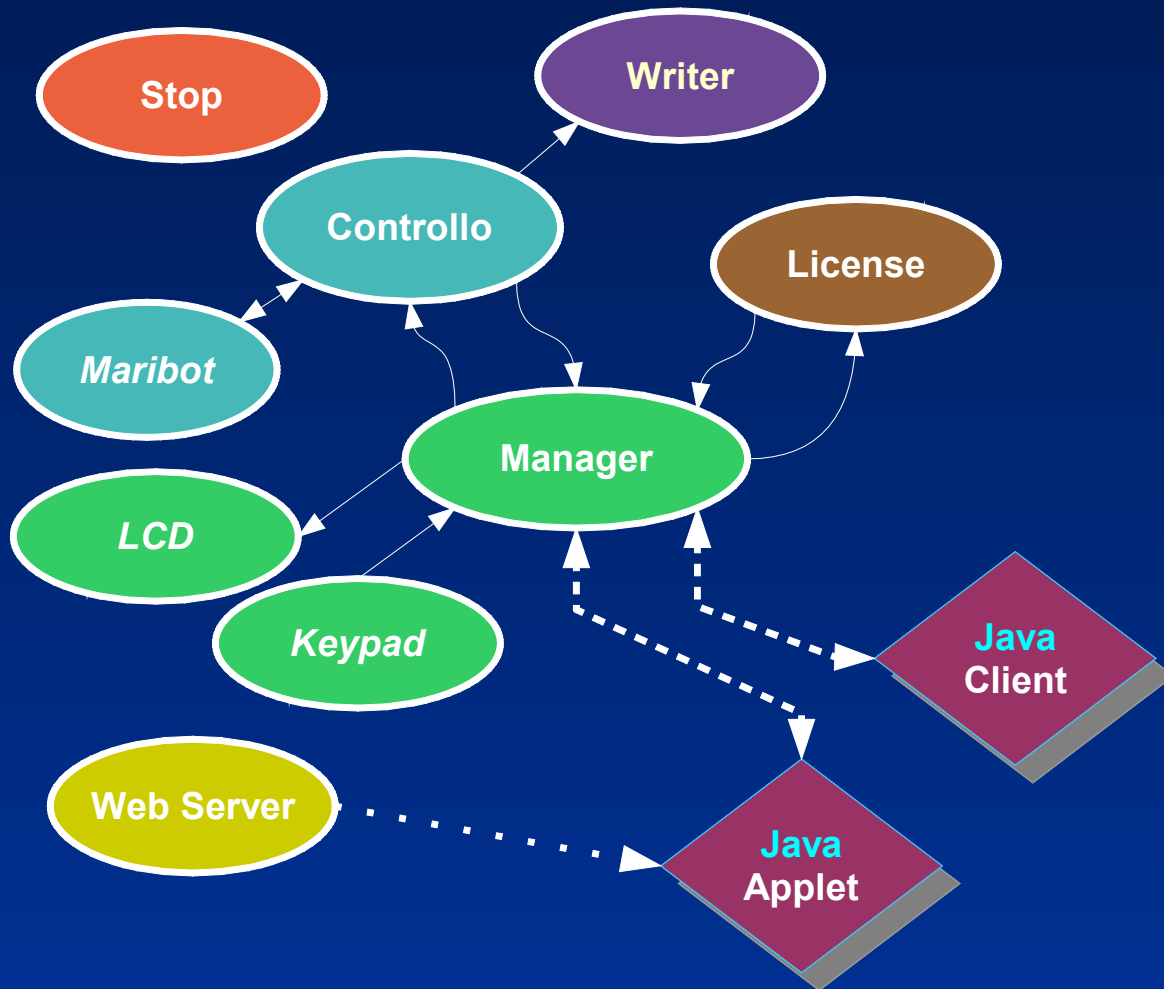


➔ **82 connessioni**

4.1 Architettura software



4.2 Task in Real-Time



Suddivisione in
task autonomi

IPC con pipe,
queue e socket

Comunicazione
esterna via TCP

4.4 Pianificazione traiettorie 1

I punti vengono presi direttamente nello spazio dei giunti (*tecnica ad insegnamento*)

Occorre allora determinare l'ingresso di riferimento $q(t)$ per l'algoritmo di controllo

Requisiti per le traiettore

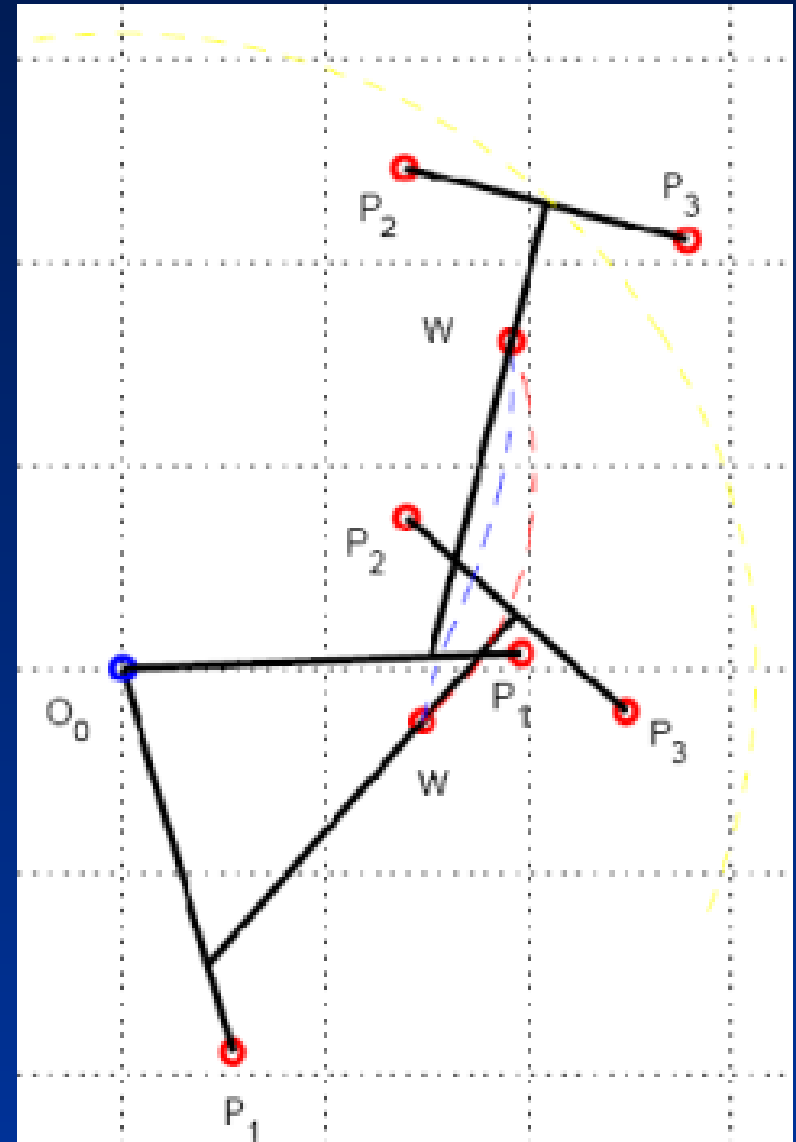
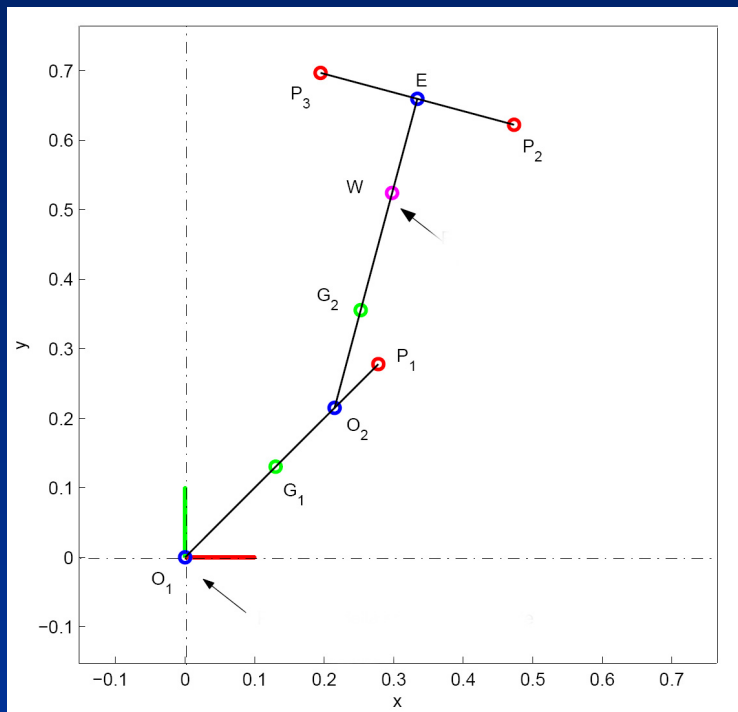
- Corrette per I fini terapeutici
- Facilmente implementabili
- Accelerazioni nulle all'inizio e alla fine di ogni tratto
- Funzioni e derivate continue

Per i motori cavi si usa un'interpolazione cubica (spline), con derivata nulla nei punti acquisiti

4.5 Pianificazione traiettorie 2

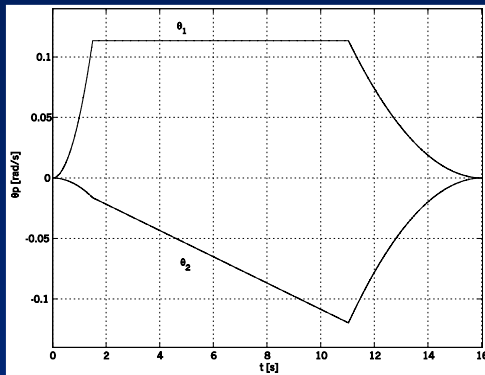
Il profilo trapezoidale di velocità per entrambi i link NON è soddisfacente

Pianificate traiettorie migliori nello spazio operativo e approssimate



4.6 Pianificazione traiettorie 2

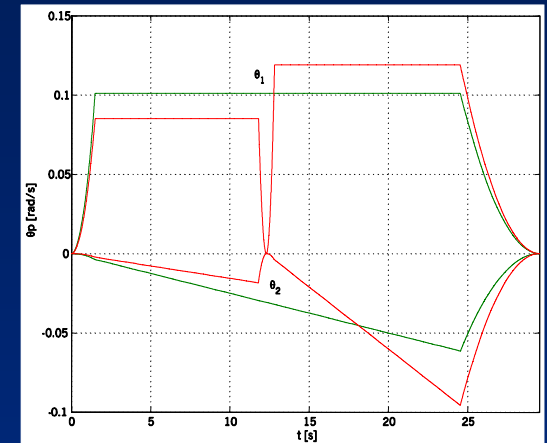
Velocità angolari link



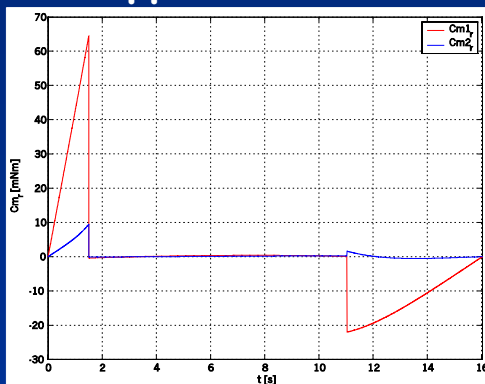
Traiettorie
trapezoidali e
triangolari

Fase di apertura e
fase di chiusura

Velocità angolari link P-P

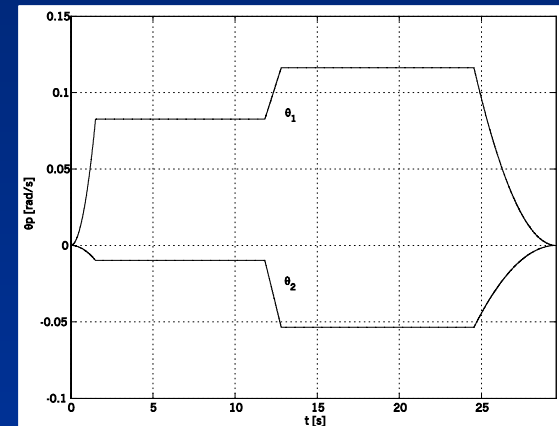


Coppie Attuatori



Da moto punto-
punto si passa a
moto su percorso
assegnato

Velocità angolari link Perc



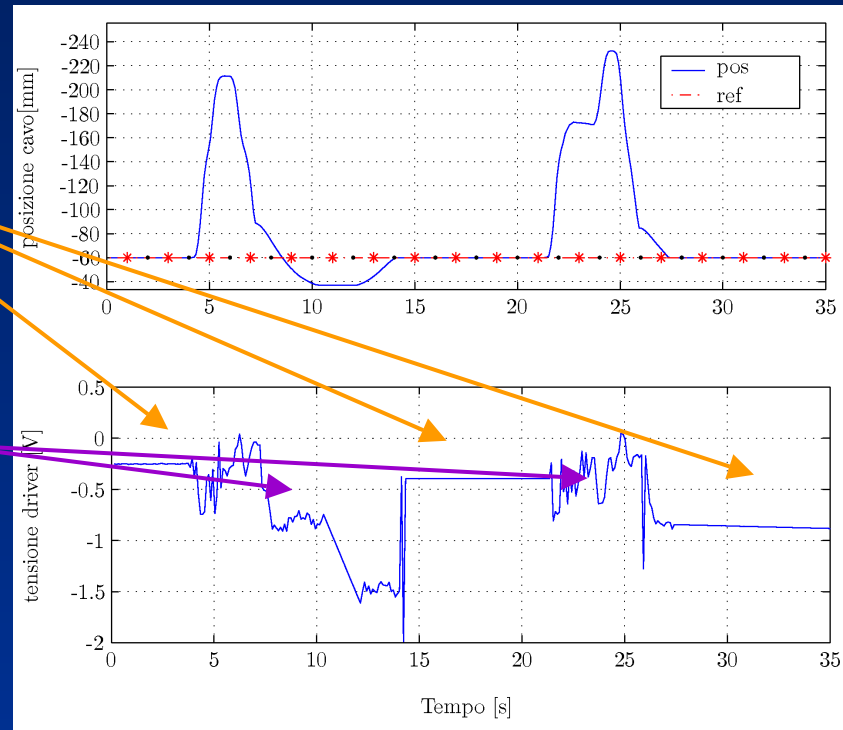
4.7 Algoritmi di controllo

A - fase di terapia

- PD sui motori link (controllo di posizione)
- PID alternato per motori cavi, con controllo:

➤ di posizione

➤ di forza (tensione)

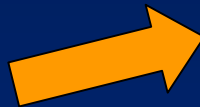


4.8 Algoritmi di controllo

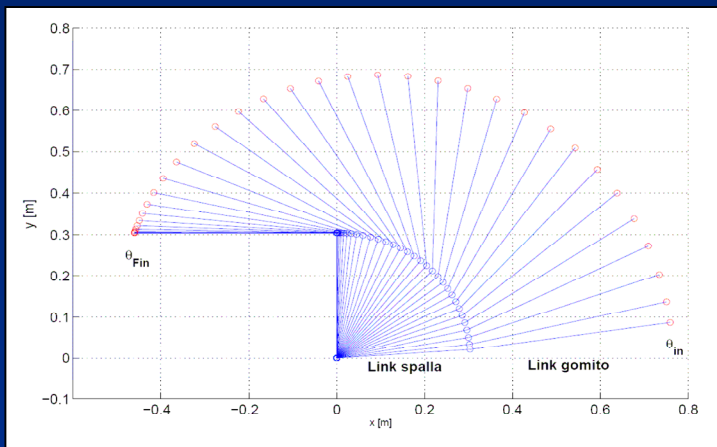
B - fase di apprendimento

Cavi: PID di forza

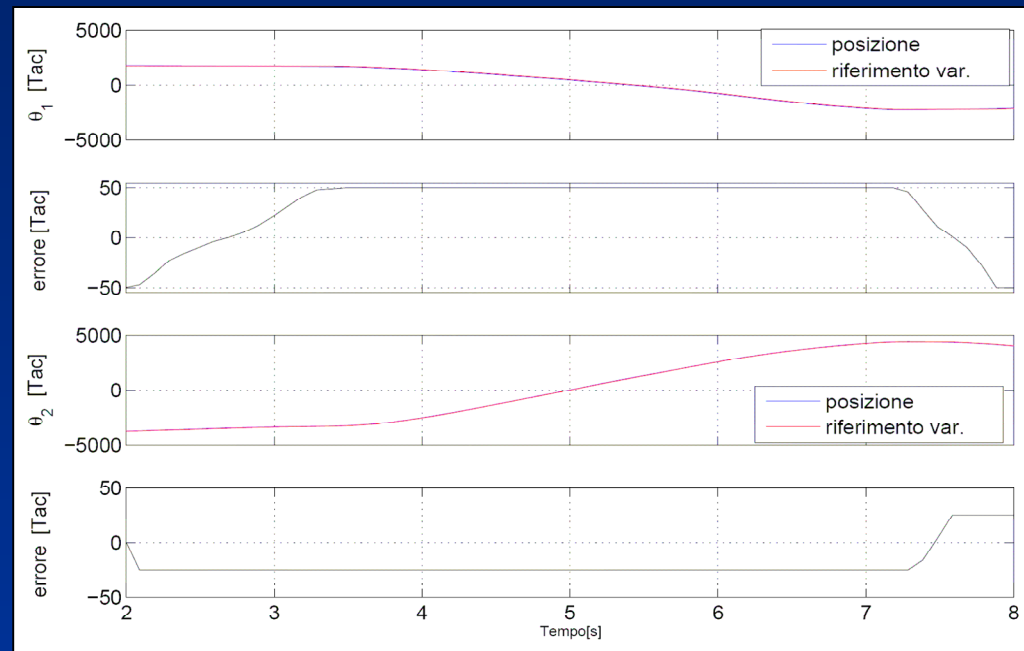
Link: motori spenti



PD di posizione con riferimento
che asseconda i movimenti del
braccio indotti dal terapeuta



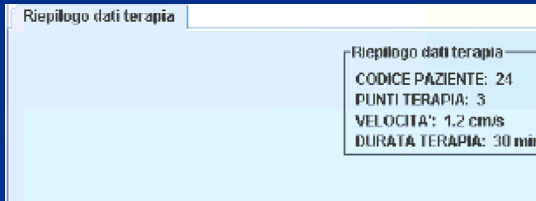
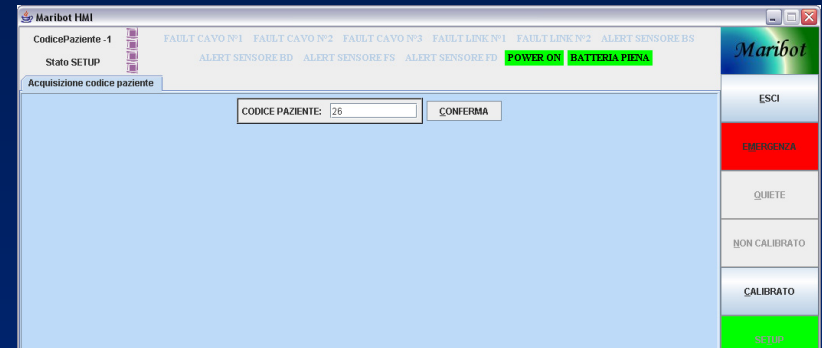
Il riferimento segue la posizione



4.9 Interfaccia utente

Programma in Java
Multithread

- Lettura dati da rete
- Controllo connessione
- Grafici e storico



Conclusioni e sviluppi



- Realizzato Maribot, robot a 5 gdl per la riabilitazione degli arti superiori
- Software facilmente adattabile a progetti analoghi

Futuri sviluppi

- Necessità di sperimentazione ospedaliera
- Nuovo prototipo con cablaggio semplificato (bus di campo)