



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO**

Dipartimento
di Ingegneria
e Scienze Applicate

Sistemi meccatronici II

**Progetto
Interfaccia Aptica
Introduzione al progetto e primi
obiettivi**

Magistrale Meccanica

RELATORI

Prof. Paolo Righettini

SEDE

Kilometro Rosso

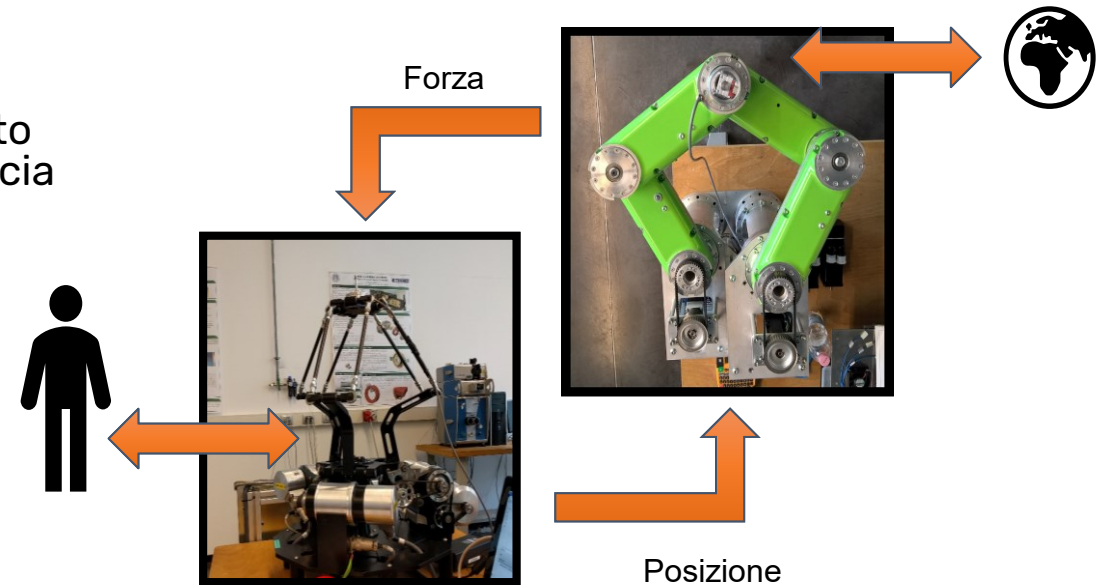
DATA

07/04/2020

Introduzione interfacce aptiche



- **Sono dispositivi robotici**
 - studiati per interagire direttamente con l'operatore umano
- Hanno funzionalità di indurre in quest'ultimo la **percezione di forze**
 - relativa ad esempio al contatto con un oggetto, a seguito di posizioni/velocità che ha imposto pilotando l'interfaccia stessa
- **L'operatore impone movimenti per mezzo dell'interfaccia**
 - Questi movimenti possono essere utilizzati per pilotare macchinari o strumenti
 - Comunicano sui canali cinestetico e tattile dell'uomo
- **Il sistema pilotato dall'interfaccia**
 - Reale (come il caso precedente)
 - Virtuale (simulato per mezzo di un software)
 - Un opportuno algoritmo converte i comandi dell'interfaccia in segnali di retroazione in forza



Introduzione interfacce aptiche



- **Possono essere di due tipi**

- passive

- sono in grado di programmare la **dissipazione** di energia, funzione del tempo o della posizione, ad esempio attraverso dei **freni**
 - le forze percepite dall'operatore sono realizzate dalle forze dissipative (sempre opposte al movimento)

- Attive

- utilizzano **attuatori** per **introdurre energia** nel sistema
 - Le forze percepite dall'operatore sono regolate per mezzo degli attuatori e possono quindi avere un verso indipendente dalla condizione di moto imposta

- Attive retroazionate

- Come le precedenti con un sensore di forza che per la lettura diretta della forza esercitata dall'operatore

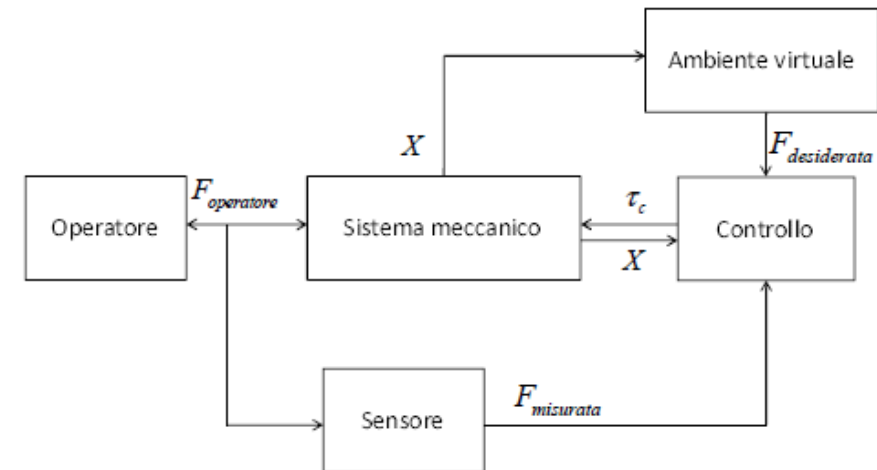
- **Un dispositivo aptico deve essere progettato per leggere e scrivere da e verso la mano umana**



Introduzione interfacce aptiche



- **L'ambiente virtuale è un algoritmo che**
 - in relazione allo stato imposto (posizione e velocità)
 - fornisce una forza che deve essere percepita dall'operatore
 - F desiderata o F ambiente
- **La figura presenta lo schema di un'interfaccia attiva e retroazionata**
 - Con ambiente virtuale
 - La retroazione è data da un sensore di forza
- **Il sistema meccanico rappresenta il dispositivo**
- **Sono presenti gli elementi salienti**
 - Controllore
 - Ambiente virtuale
 - Sensore di forza
 - operatore

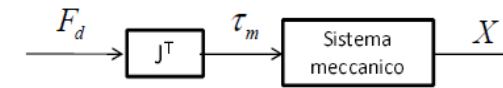


Principali schemi di controllo



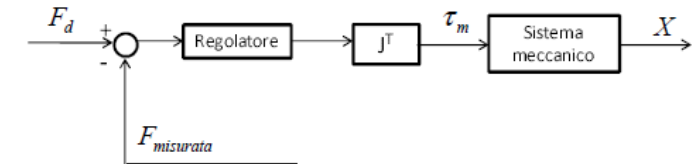
- **Non retroazionate**

- Per mezzo di relazioni cinematiche
- J^t rappresenta l'inverso dei rapporti di trasmissione generalizzati
- La forza desiderata viene trasformata nelle coppie da applicare al dispositivo



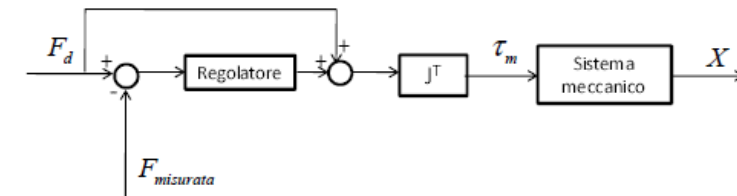
- **Retroazionate**

- Relazioni cinematiche + controllore



- **Retroazionate con componenti di feed-forward**

- Relazioni cinematiche + controllore + feedforward



Principali tipologie di controllo



- **Forza desiderata (ambiente)**

- Impedenza Z_d definisce una relazione fra forza e velocità dei giunti dell'interfaccia
- Fa riferimento all'impedenza meccanica: relazione fra forza e velocità
In cui i coefficienti rappresentano massa, smorzamento e rigidità

$$\frac{F(s)}{\dot{X}(s)} = Z_d(s)$$

$$Z_d(s) = M_d s + B_d + \frac{K_d}{s}$$

- **Controllo in impedenza**

- La coppia ai giunti dipende direttamente dall'errore in forza fra quella desiderata e la forza operatore

- **Controllo in ammettenza**

- L'errore in forza definisce il setpoint di posizione/velocità dei giunti. Il controllore di posizione dei giunti calcolerà la coppia necessaria per seguire questo setpoint

- **Ibrido posizione-forza**

- utilizzano sia le posizioni che le forze applicate

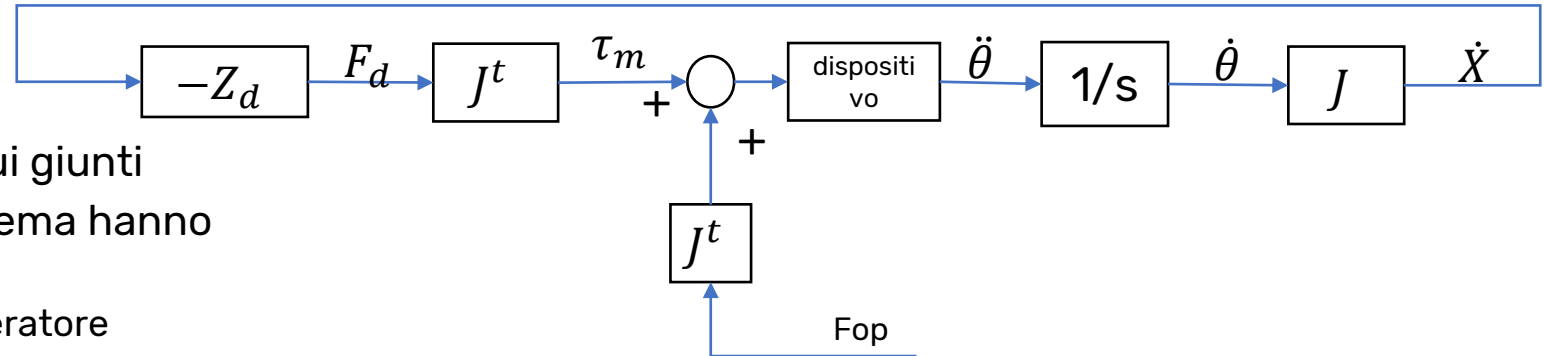


Controllo in Impedenza



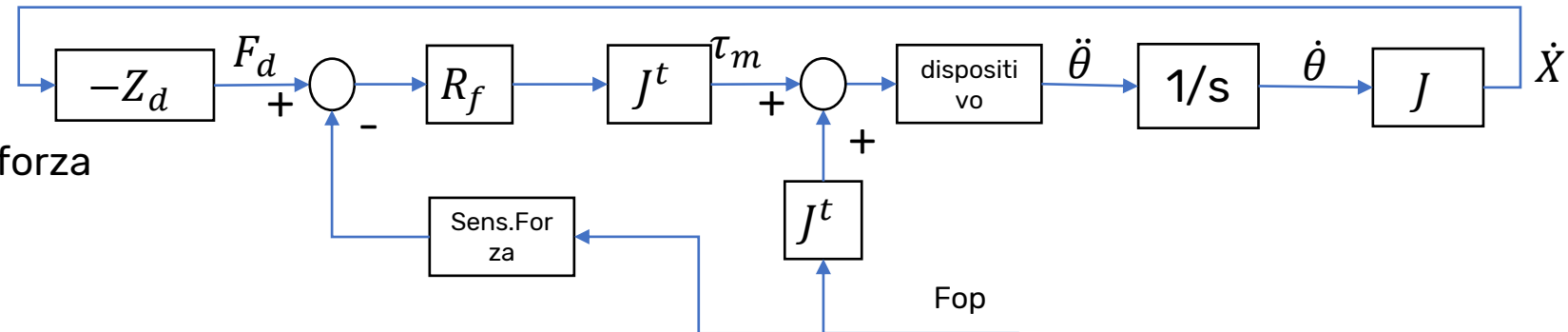
- **Ad anello aperto**

- La forza calcolata viene proiettata direttamente sui giunti
- Le coppie applicate al sistema hanno due origini
 - Forza introdotta dall'operatore
 - Coppia generata dagli attuatori



- **Ad anello chiuso sulla forza**

- Il segnale di coppia è proporzionale all'errore di forza
- È necessario un sensore di forza

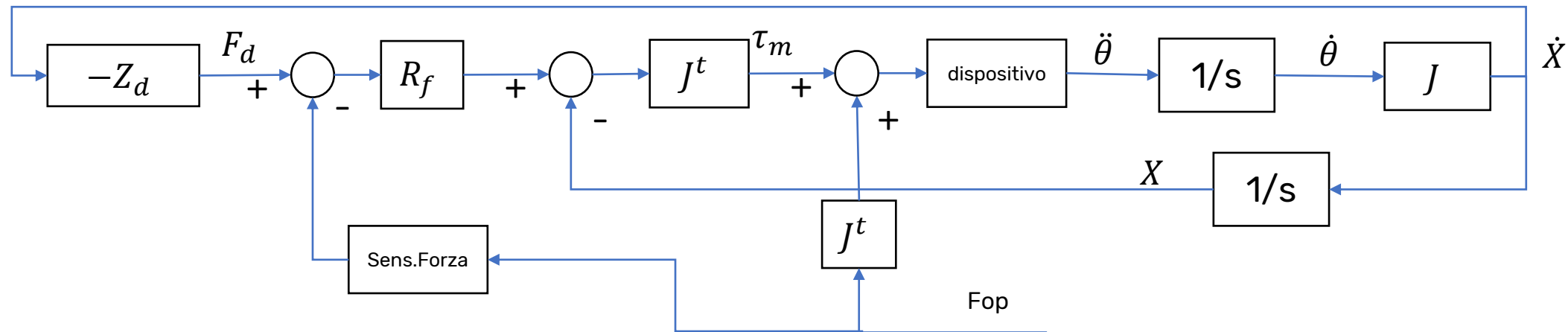


Controllo in ammettenza



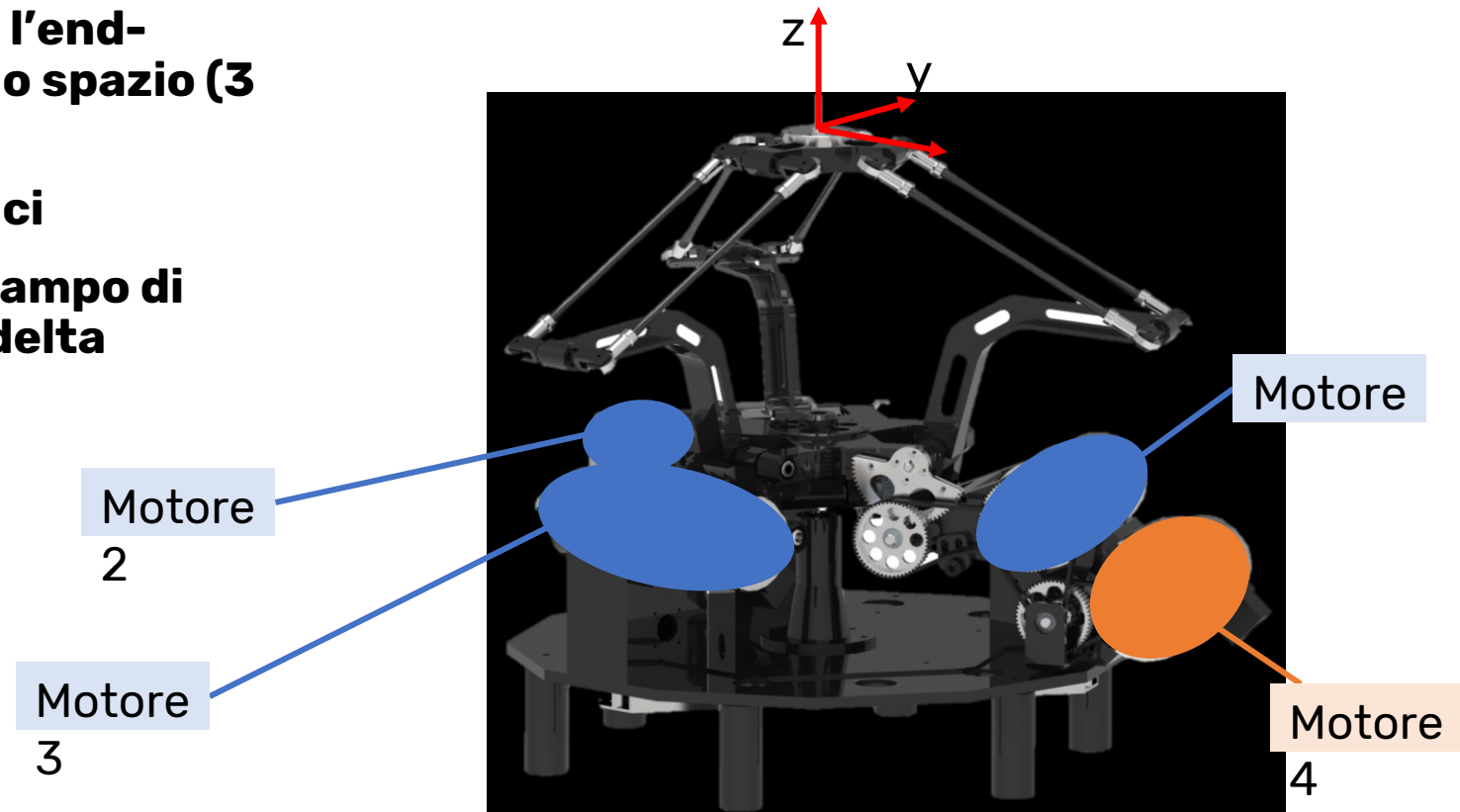
- **Controllo di ammettenza con retroazione di posizione**

- Anello interno di posizione all'end-effector
- Anello esterno in forza
- È necessario un sensore in forza



Configurazione interfaccia

- Il dispositivo consente di traslare l'end-effector lungo le tre direzioni nello spazio (3 g.d.l.).
- E' dotato di quattro motori elettrici
- Questo permette di estendere il campo di funzionamento della struttura a delta



Configurazione interfaccia

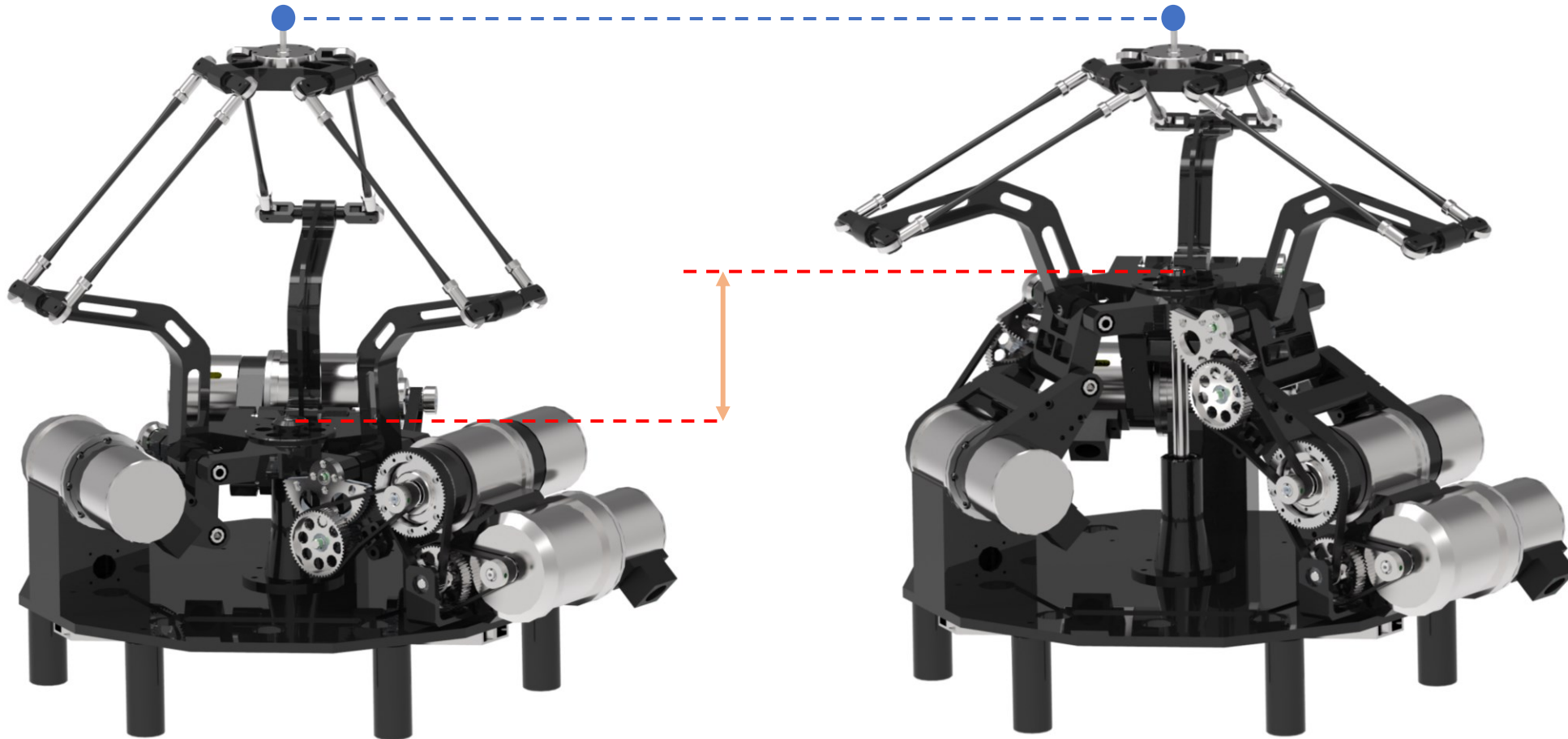
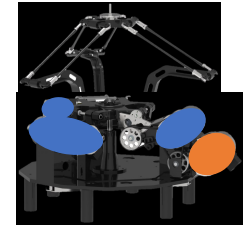


Struttura Delta:
Meccanismo a cinematica
parallela composto da 3
bracci attuati

Meccanismo inferiore:
Composto da tre
manovellismi di tipo
deviato



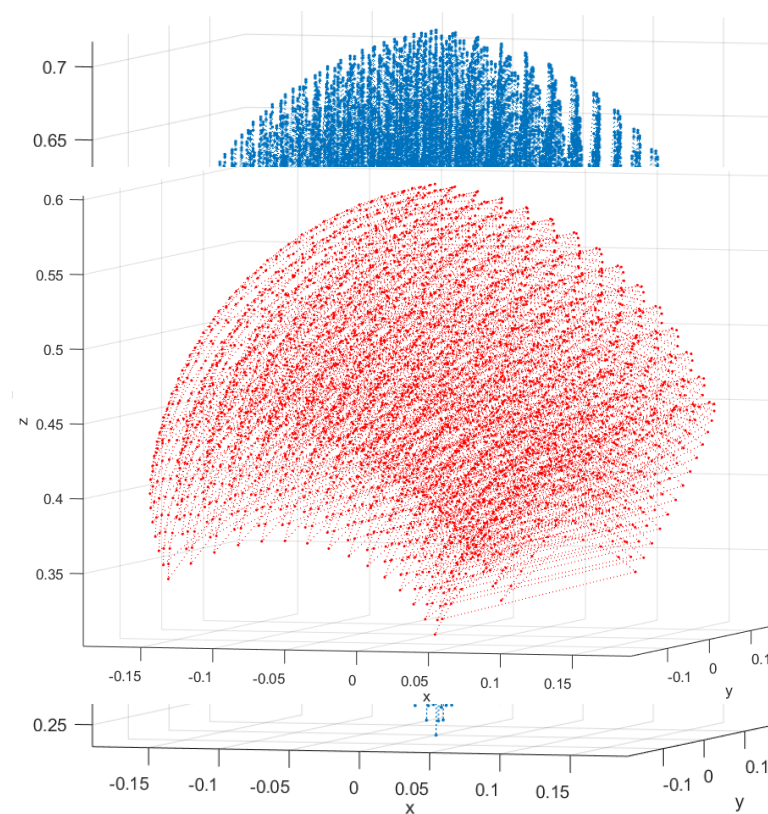
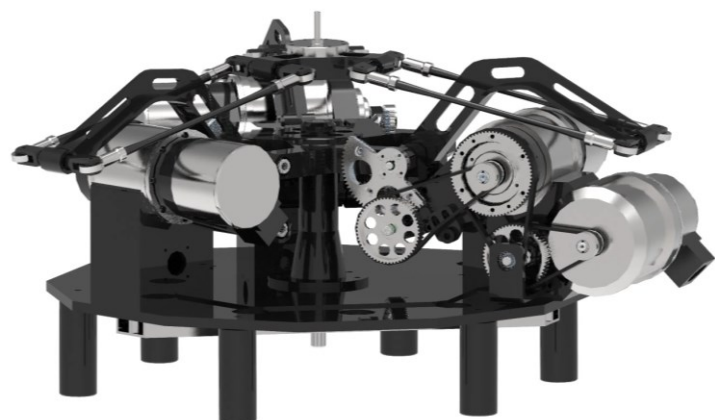
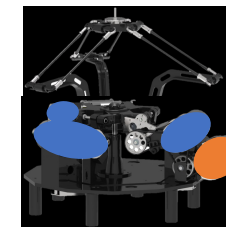
Configurazione interfaccia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO

Dipartimento
di Ingegneria
e Scienze Applicate

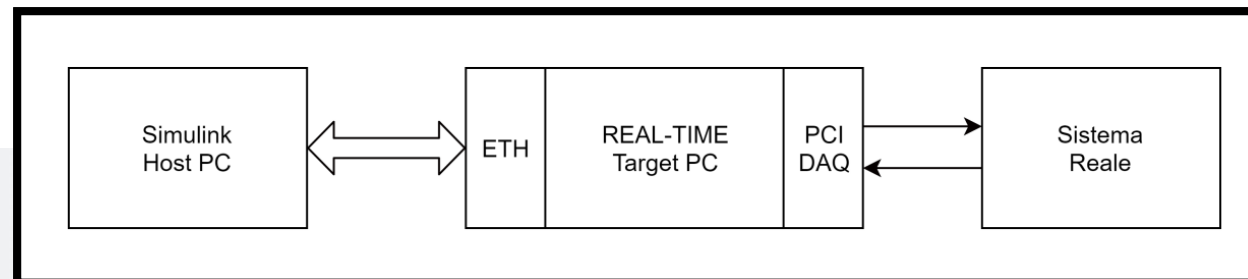
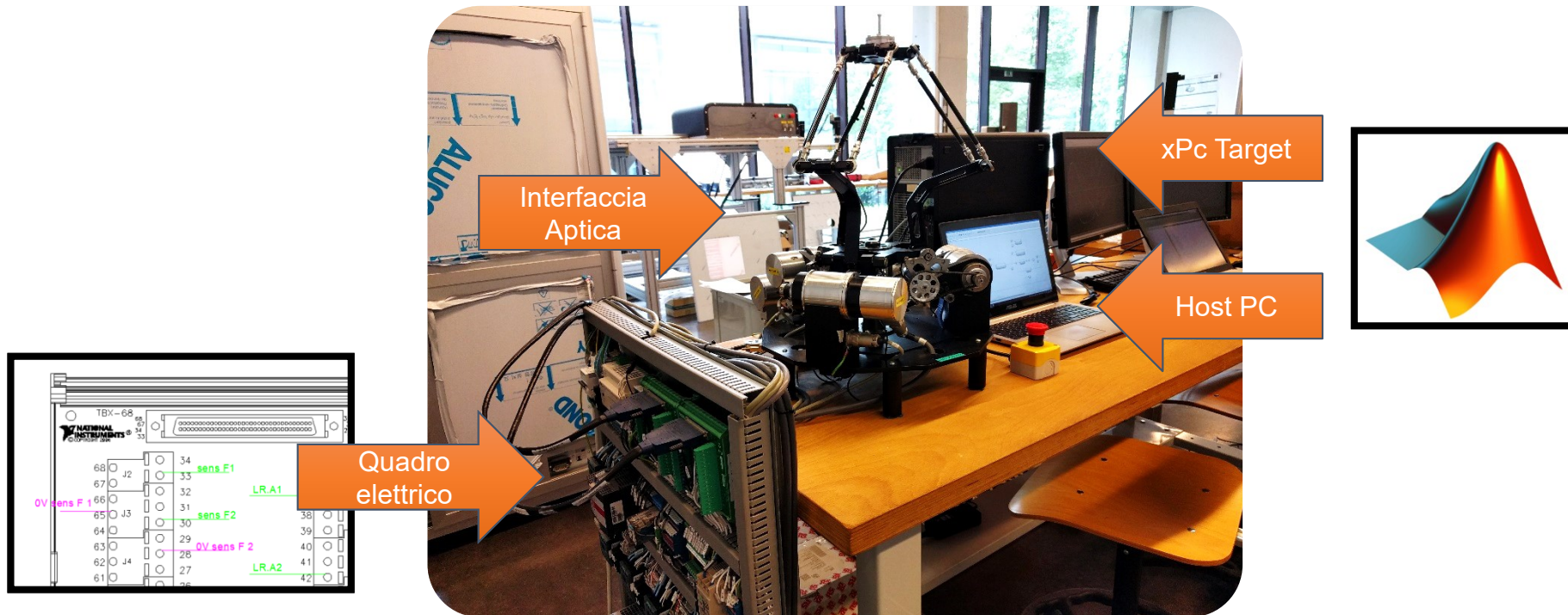
Configurazione interfaccia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO

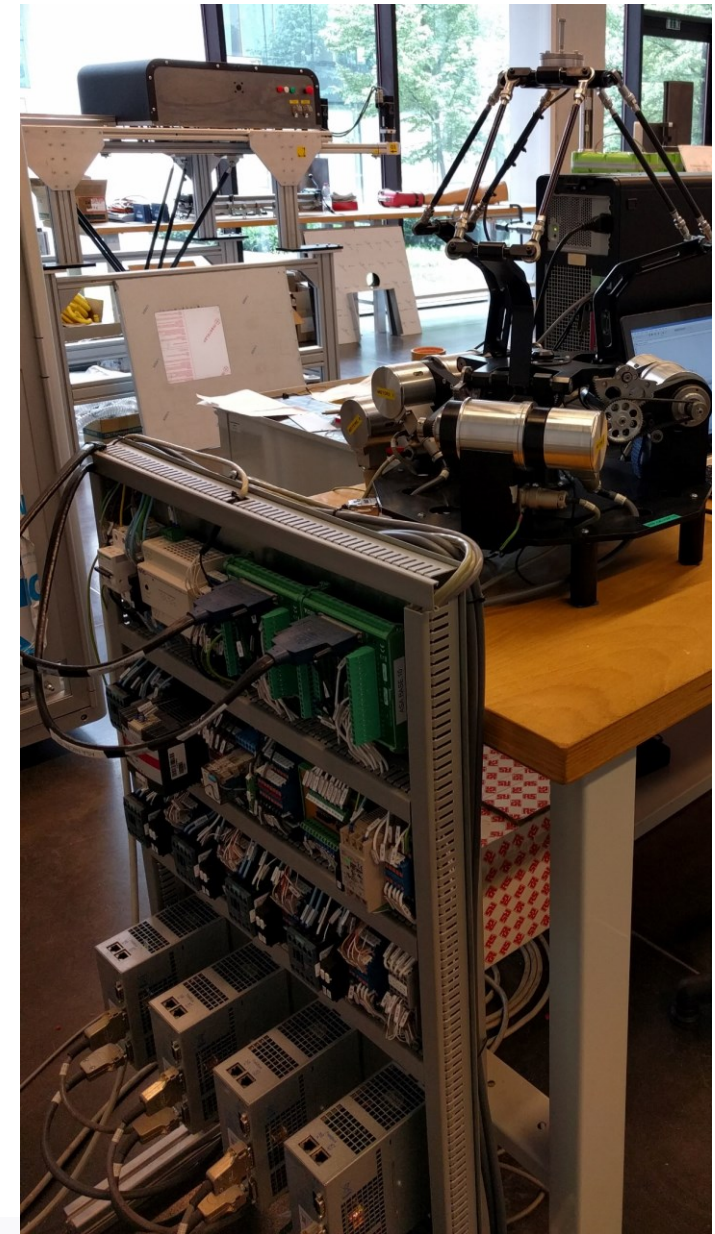
Dipartimento
di Ingegneria
e Scienze Applicate

Configurazione della parte sperimentale



Configurazione interfaccia

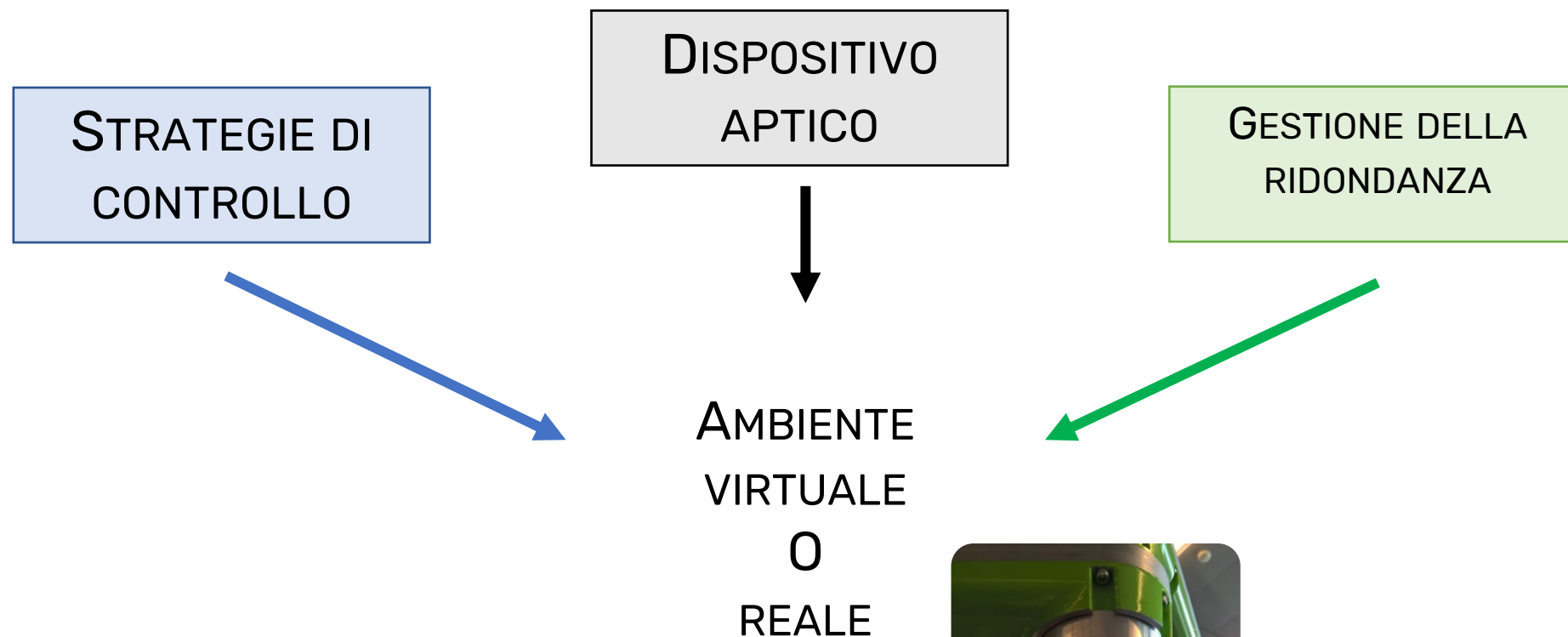
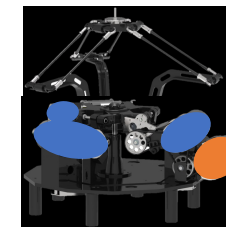
- Ogni motore ha un resolver
- Il resolver viene convertito in segnale encoder dagli azionamenti
- Gli azionamenti sono configurati in coppia
- Il sensore di forza permette di leggere le forze lungo tre direzioni



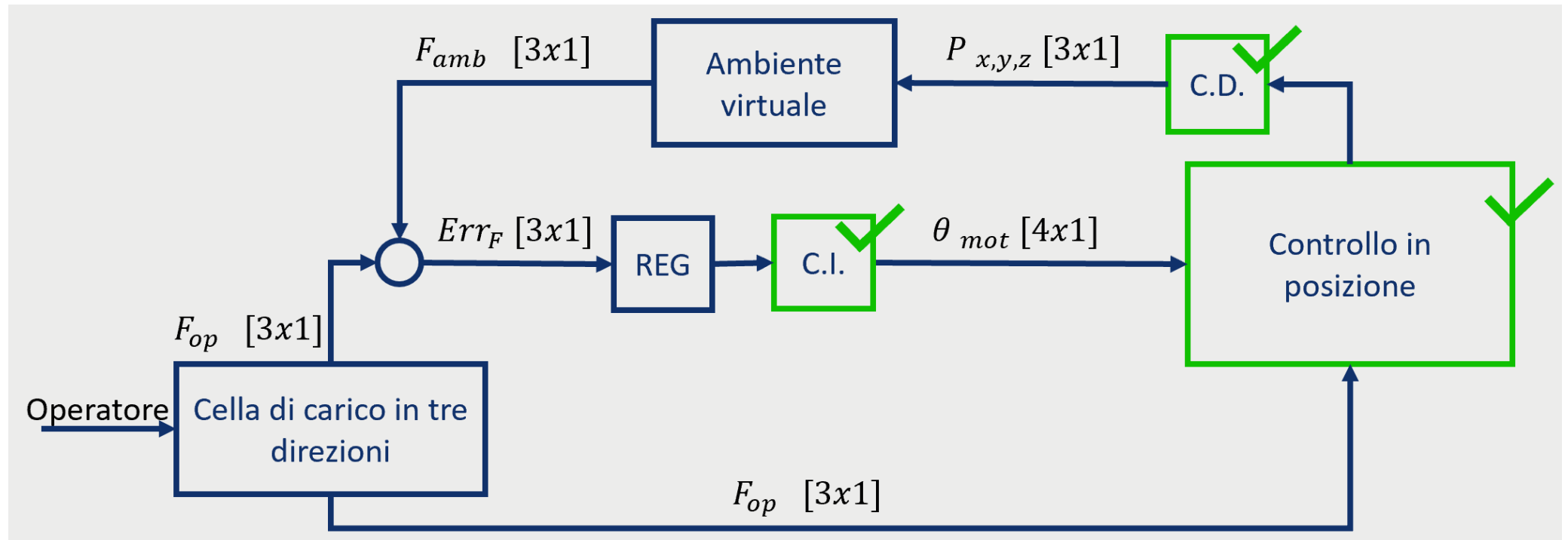
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO

Dipartimento
di Ingegneria
e Scienze Applicate

Tematiche di interesse



Schema controllo in ammettenza



Sviluppo del progetto



- **Il progetto è diviso in 3 passi principali**
- **Simulazione**
 - Modello cinematico e dinamico del dispositivo
 - Sviluppo sistema di controllo della posizione e di gestione della ridondanza
 - Sviluppo sistema di controllo in forza (in ammettenza)
- **Sviluppo della parte sperimentale**
 - Validazione della strategia di controllo in posizione
 - Validazione del controllo in forza
 - Definizione dell'ambiente virtuale o reale per la generazione delle forza desiderata
- **Analisi e confronto del sistema rispetto alle simulazioni**
 - Test del sistema nel suo complesso



Sviluppo del progetto



- **Avvicinamento alla tematica per mezzo di un sistema ad 1 dof**

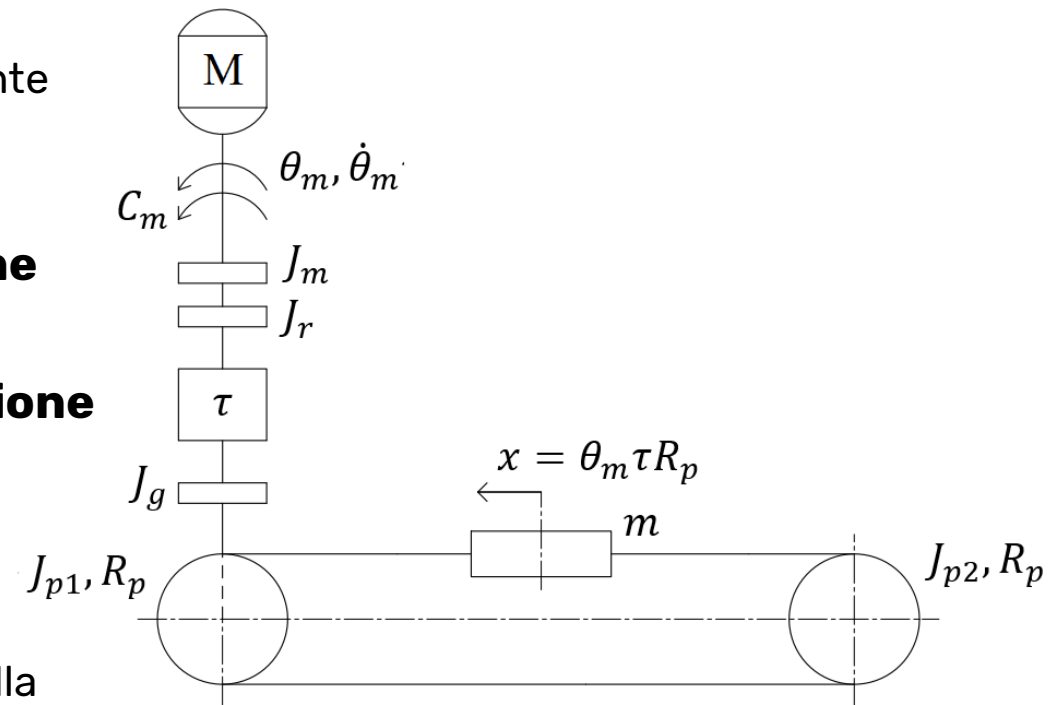
- Interfaccia aptica lineare
- modello rigido
- Si sostituisce negli schemi a blocchi visti precedentemente $J = \tau$ e $J^t = \tau$
- Introdurre un regolatore di forza proporzionale o PI

- **Come primo passo definire il controllore di posizione**

- Utilizzare la tecnica di posizionamento dei poli

- **Introduzione di elementi che avvicinano la simulazione al caso sperimentale**

- Quantizzazione del segnale di posizione
- Discretizzazione dei segnali (aggiornamento periodico dei segnali alla frequenza di campionamento)
- valutazione/stima della velocità a partire dalla misura della posizione



Prossimi Obiettivi



- **Modello di interfaccia aptica ad 1 dof**
 - Il modello è lineare e semplice
 - Analisi degli schemi a blocchi
- **Progetto del sistema di controllo in posizione con il metodo di posizionamento dei poli**
 - Questo servirà per il controllo in ammettenza
- **Introduzione dei limiti del sistema reale nel modello simulink**
 - Risoluzione degli encoder (4096 passi giro)
 - Rumore sui segnali di forza
- **Calcolo della velocità a partire dal segnale di posizione**
 - Filtri passabasso e/o filtro di Kalman
- **Valutazione delle prestazioni attese**
- **Schema a blocchi del regolatore in forza in ammettenza**
 - Rf puramente proporzionale

