

Dipartimento di Ingegneria Meccanica Università di Brescia

Dottorato di ricerca in Meccanica Applicata XIX ciclo

Controllo dei manipolatori in contatto con l'ambiente

Relazione sul A.A. 2004-2005

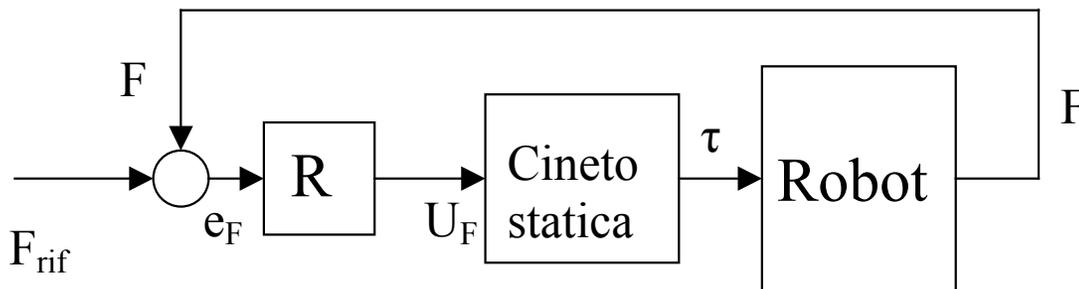
Giacomo Ziliani

Attività

- ★ Studio e sperimentazione delle diverse modalità di controllo di forza e in particolare confronto tra modalità esplicite ed implicite.
- ★ Sperimentazione di algoritmi ad apprendimento iterativo per la contornatura robotizzata di geometrie incognite
- ★ Collaborazione con ITIA-CNR per la definizione e realizzazione di un software comune per il controllo di robot interagenti con l'ambiente

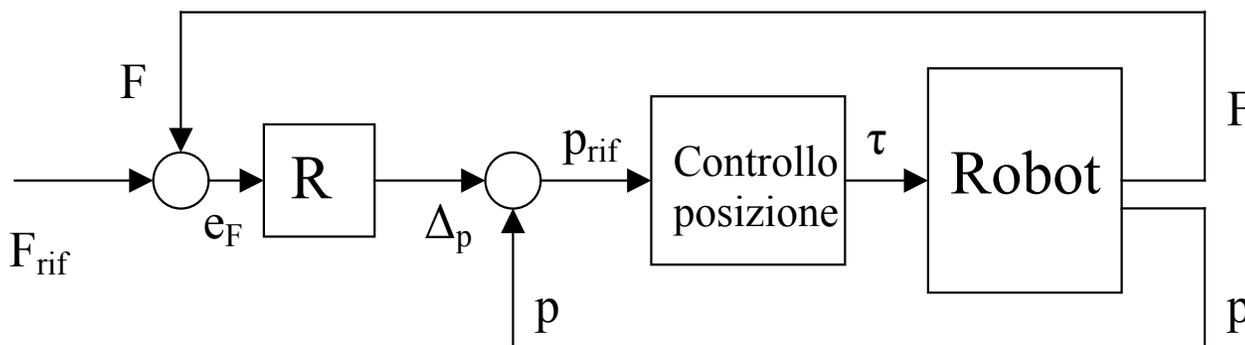
Controllo di forza

Esplicito: la forza esercitata dall'end-effector è controllata comandando direttamente la coppia ai giunti in base all'errore di forza misurato, e basandosi sulla cinetostatica del robot.



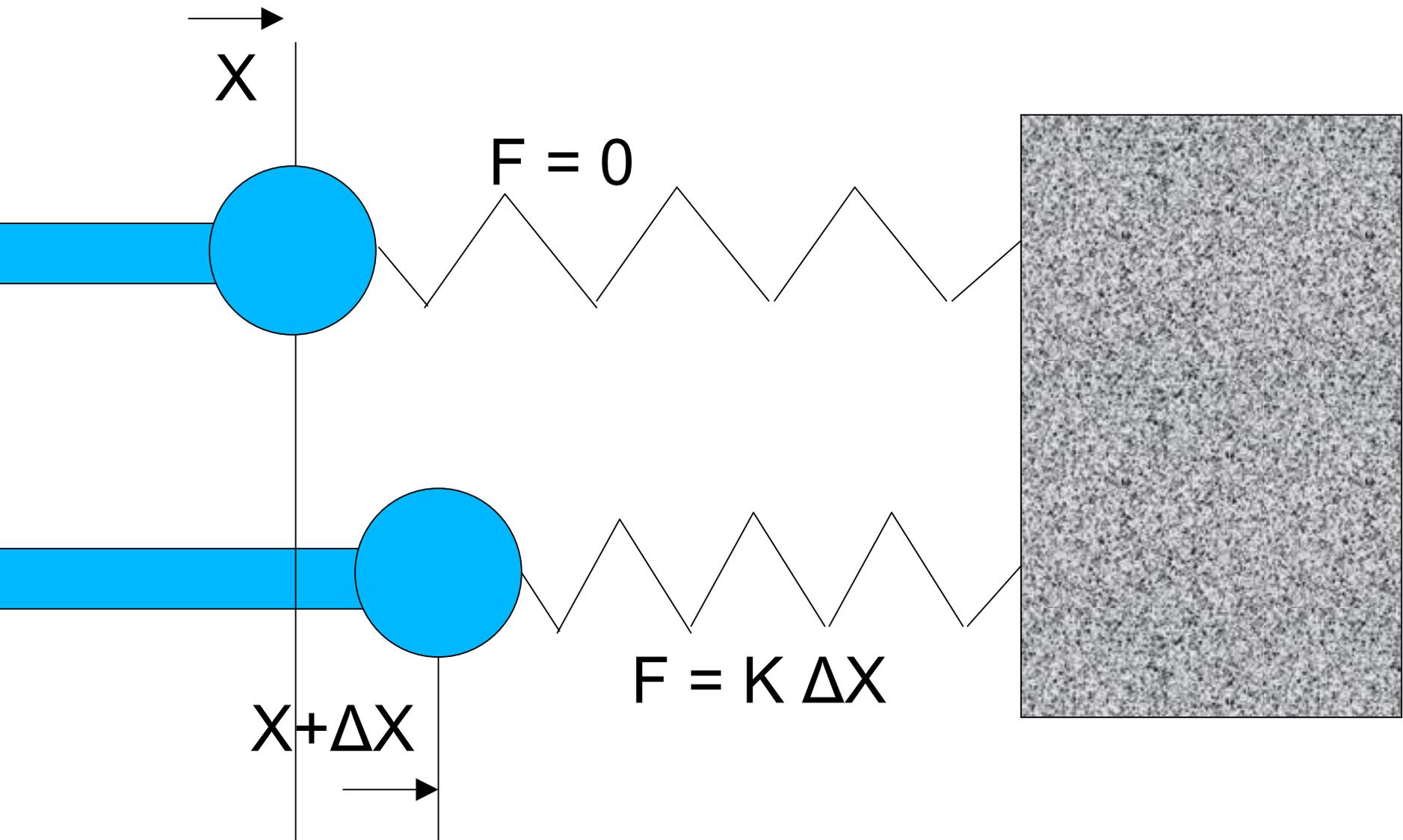
Sperimentato
il 1° anno

Implicito: la forza prodotta dal robot è generata indirettamente modificando la traiettoria di riferimento di un anello di posizione interno a quello di forza.

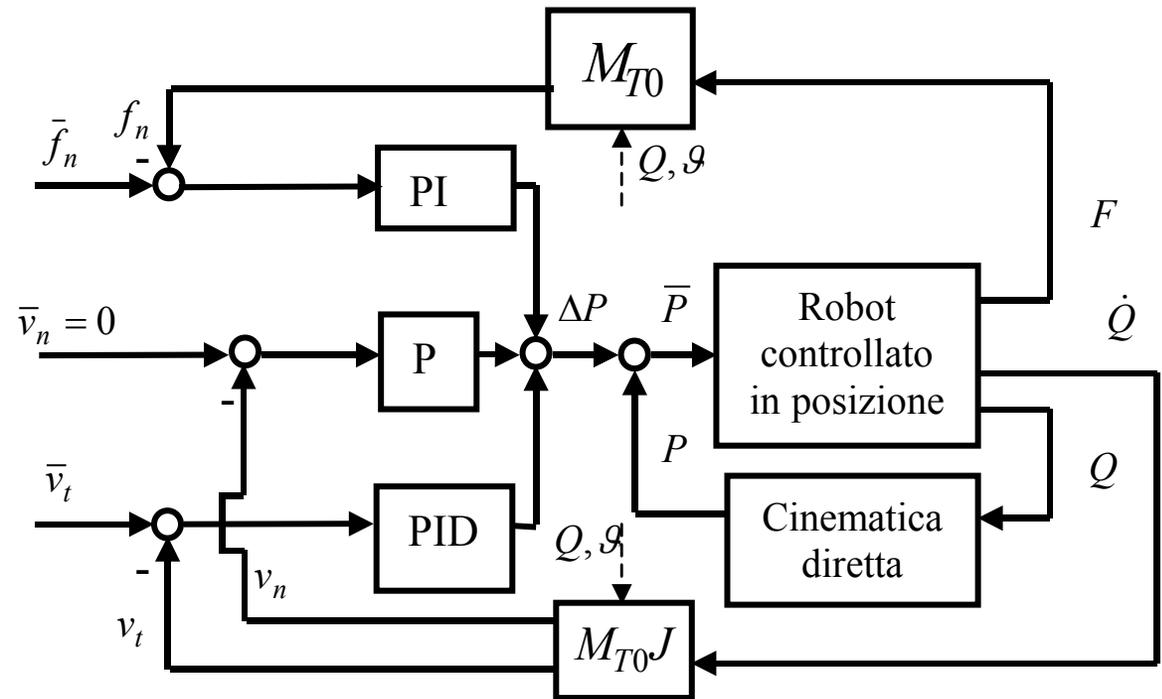
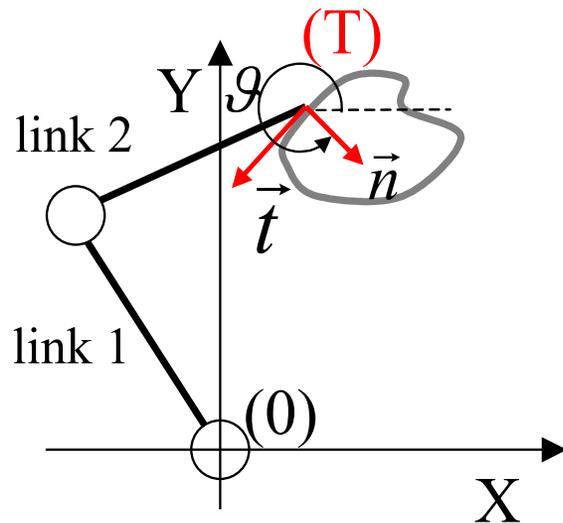


Interessante
per
applicazioni
industriali

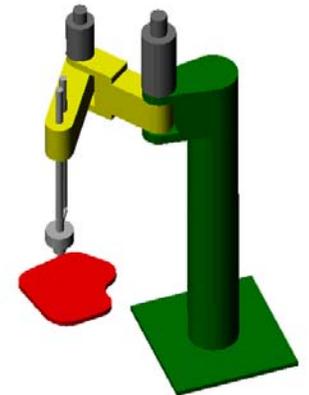
Banalizzando



Controllo Ibrido Forza/Velocità implicito

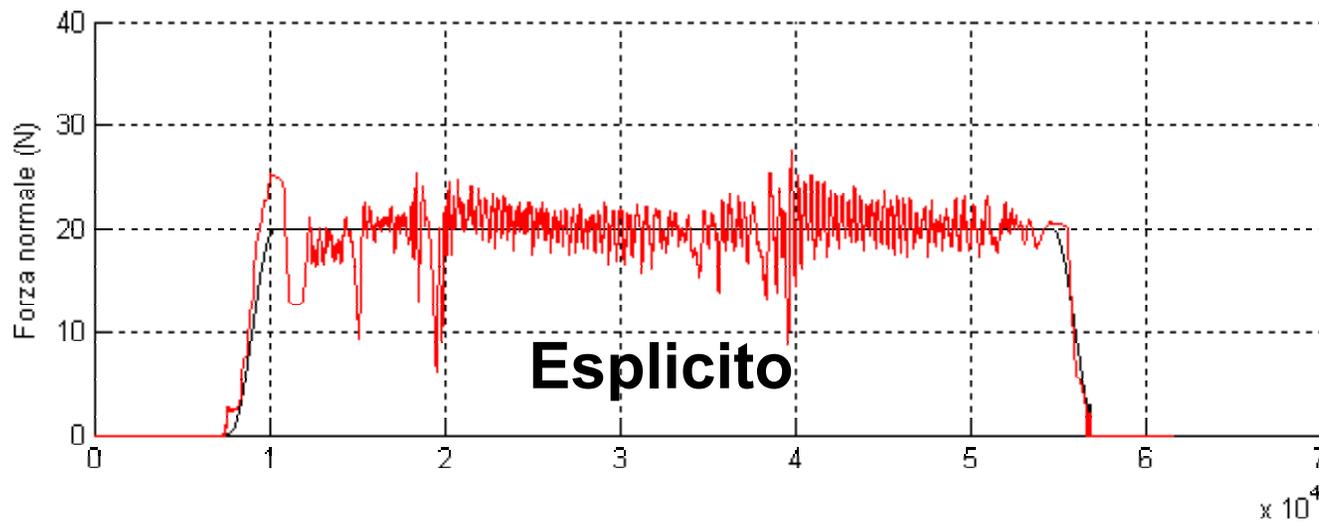
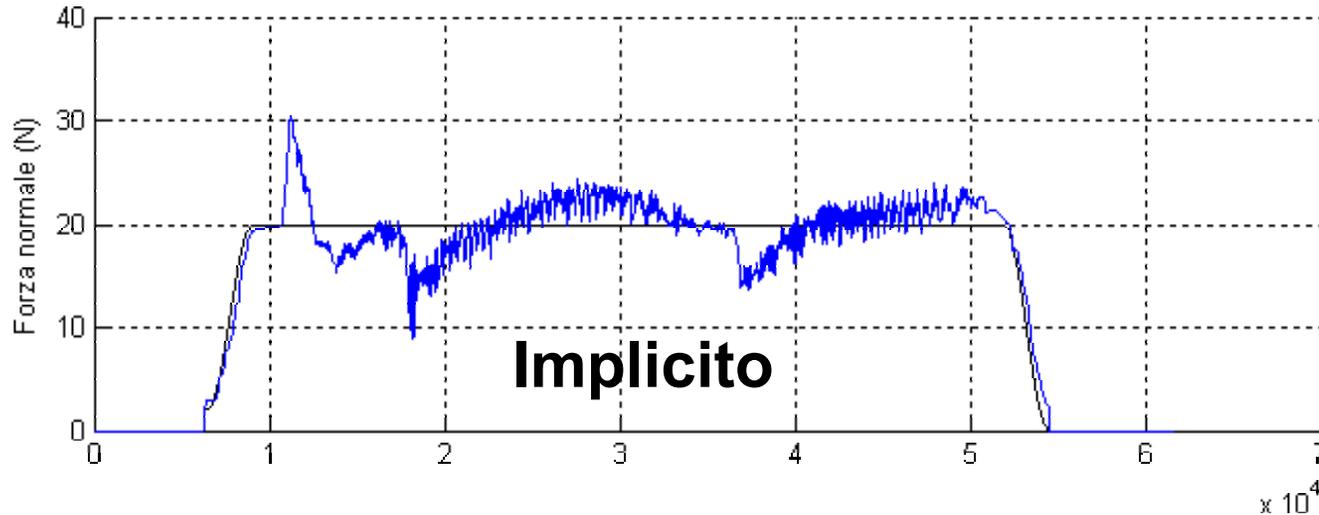


- Orientamento di (T) stimato tramite misurazione della forza (attrito trascurabile)
- Controllo di forza nella direzione normale e di velocità in quella tangenziale
- Controllo di posizione ai giunti
- Retroazione di velocità normale termine smorzante
- Compensazione dell'attrito ai giunti



Esempio: Tracciamento di una sagoma circolare

Fn	20N
Vt	20 mm/s
Ø	180 mm



Implicito vs. Esplicito complesso delle prove	
Fn Max	+3 %
Fn RMS	+22 %
Fn passa basso* RMS	+240 %
Fn passa alto* RMS	-30%
* Filtro a 0.25 Hz	

Controllo implicito risulta meno pronto ma anche meno soggetto a oscillazioni
maggiore possibilità di una taratura ottimale (12 parametri invece di 6)

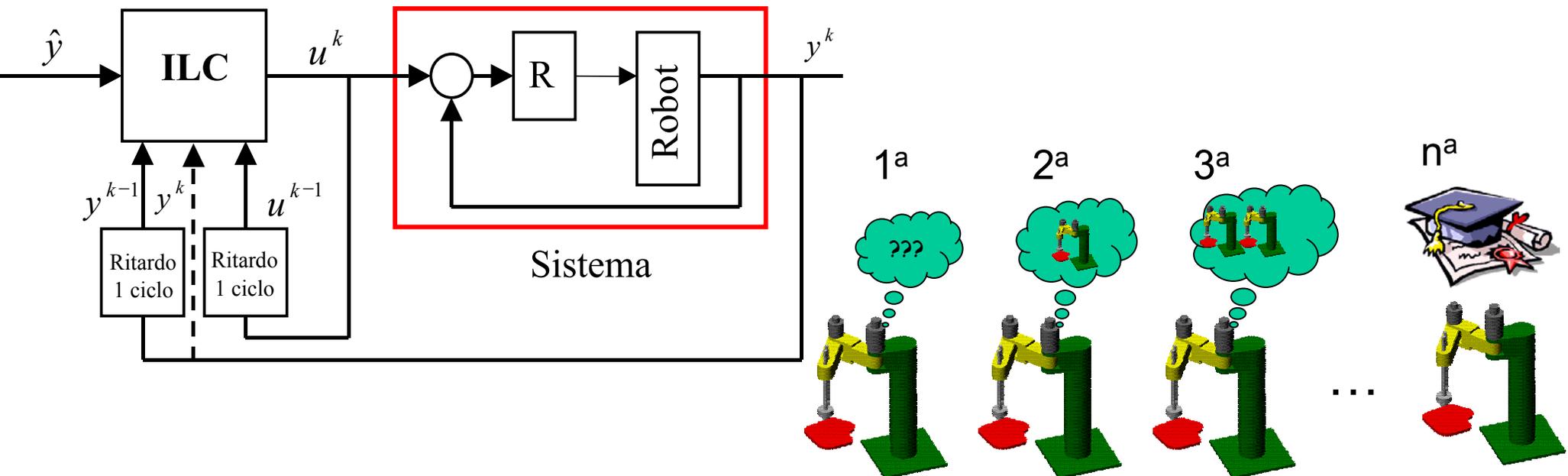
Iterative Learning Control (ILC)

Se il task è ripetitivo l'ILC permette di migliorare le prestazioni sfruttando in ogni ciclo le informazioni raccolte in quelli precedenti.

Idea base:

chiedo al robot un comportamento X ,
osservo che lui esegue $X - \Delta X$

la volta successiva per ottenere X , chiedo $X + \Delta X$



Requisiti per l'ILC

- compito ripetitivo
- condizioni operative identiche nei vari cicli
 - identico set point
 - identici attriti
 - identiche condizioni iniziali
 - ...
- possibilità di memorizzare e rielaborare set point ed errori d'esecuzione

ILC classico

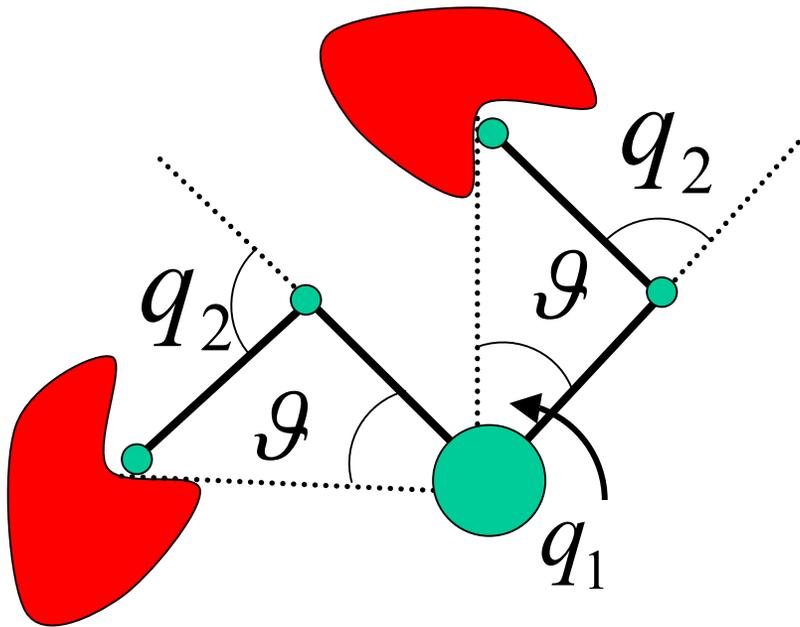
- **set point in funzione del tempo (es. controllo in traiettoria)**
- **sincronismo temporale tra cicli successivi**, le condizioni di esercizio in un istante t di un ciclo sono le medesime di tutti gli istanti t di qualsiasi ciclo

Contour tracking

- **Set point indipendenti dal tempo (di solito costanti)**
- **velocità percorso leggermente influenzato da attriti errori di stima profilo o altri fattori**
- **Nessun sincronismo temporale possibile**

È necessario individuare un meccanismo per associare condizioni di esercizio identiche in diversi cicli

Individuazione stato sistema



Robot SCARA

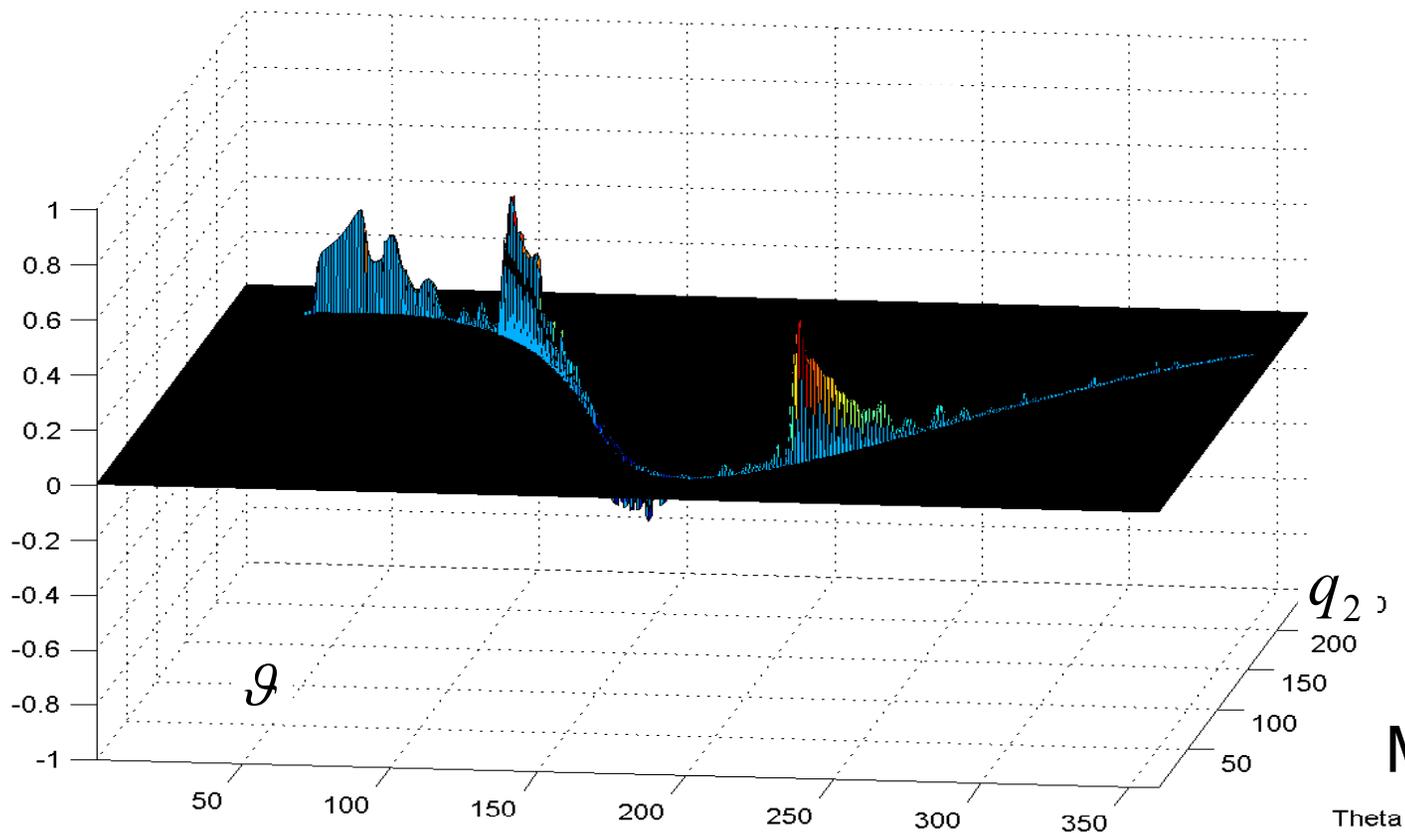
“simmetria radiale” rispetto a q_1

Set point costanti (velocità tangenziale, forza normale), condizioni operative identiche a parità di q_2, θ

condizioni identiche se q_2, θ coincidono (o sono simili)

ILC per il contour tracking

- Si percorre profilo
- si misura q_2, θ
- si memorizza set point e errore di forza
- si modifica set point in funzione dati ciclo precedente



Matrice di memoria

Accorgimenti per la memorizzazione

necessità di

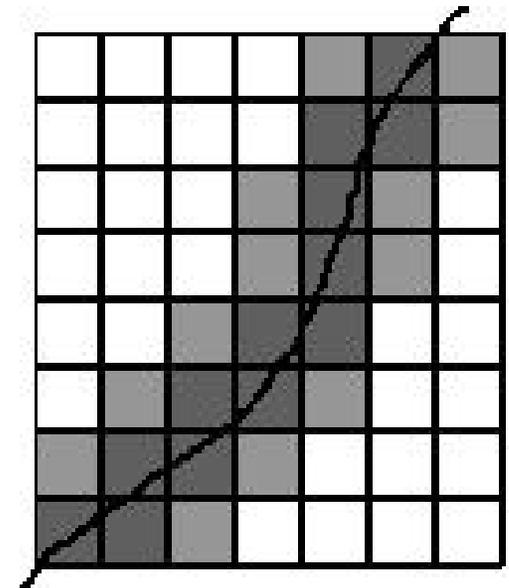
- ridurre dimensioni memoria
- mediare risultati di misure contigue
- compensare piccole variazioni percorso

Discretizzazione degli indici di memorizzazione

q_2 (140000 step di encoder) in 700 intervalli

\mathcal{J} in 360 intervalli di un grado

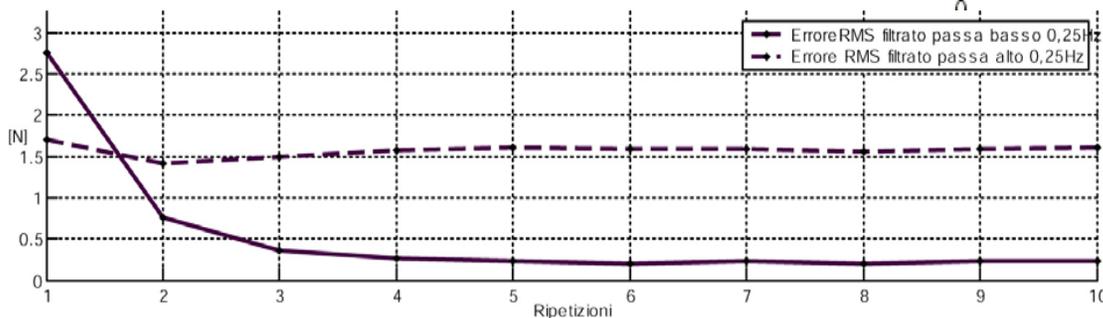
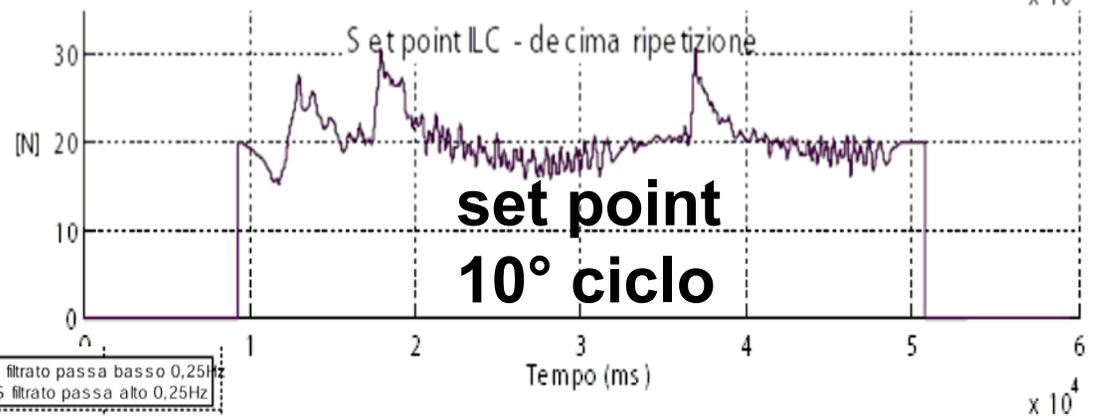
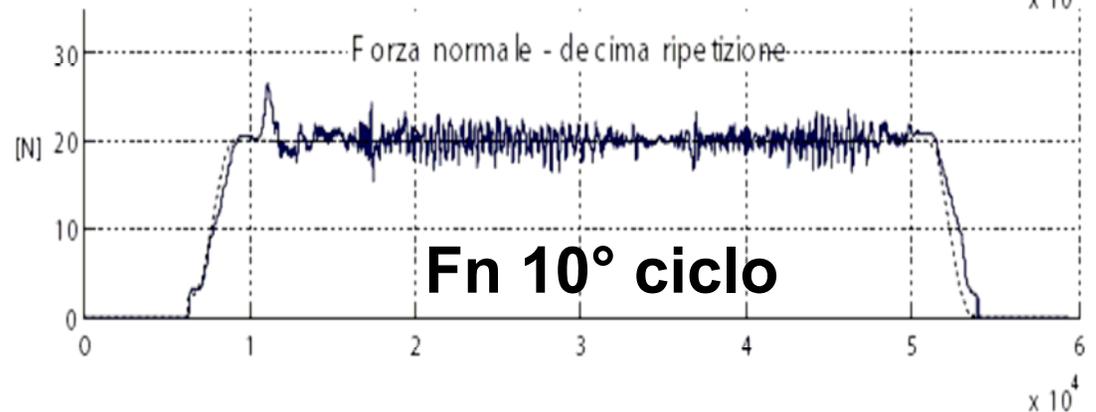
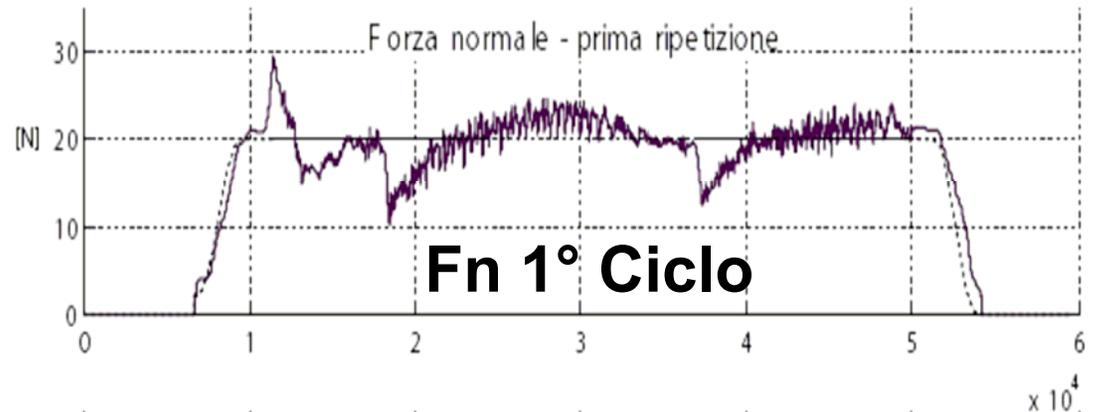
Interpolazione valori tra più celle attigue



Contornatura di una sagoma circolare

errore max. -22%
errore RMS -26%

ILC efficace per basse frequenze



Già efficace dopo 3-4 ripetizioni

Conclusioni

Senza apprendimento



45÷50 mm/s

Con apprendimento



90 mm/s

- 1) Realizzato un controllo ibrido per *contour tracking* attorno ad un controllo di posizione ⇒ prestazioni accettabili.



E' possibile basare sistemi di contornatura robotizzata su hardware commerciale

- 2) Sviluppato logica ad apprendimento efficace anche per condizioni NON rigorosamente ripetitive e che incrementa le prestazioni del controllo