



Dipartimento di Ingegneria Meccanica Università di Brescia

Dottorato in Meccanica Applicata, XIX Ciclo

Giacomo Ziliani

Dipartimento di Ingegneria Meccanica

Università di Brescia

Dottorato in Meccanica Applicata

XIX CICLO

***Controllo di Manipolatori Industriali
Interagenti con l'Ambiente***

GIACOMO ZILIANI

Tutor e coordinatore

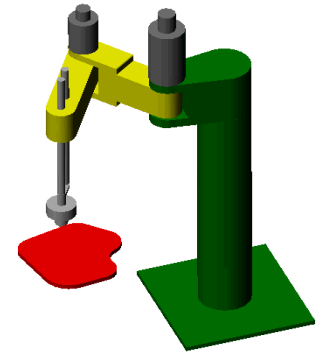
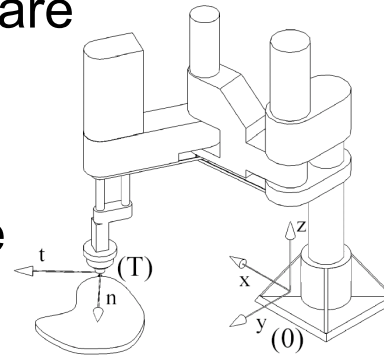
Ch.mo prof. Giovanni Legnani



Contour tracking

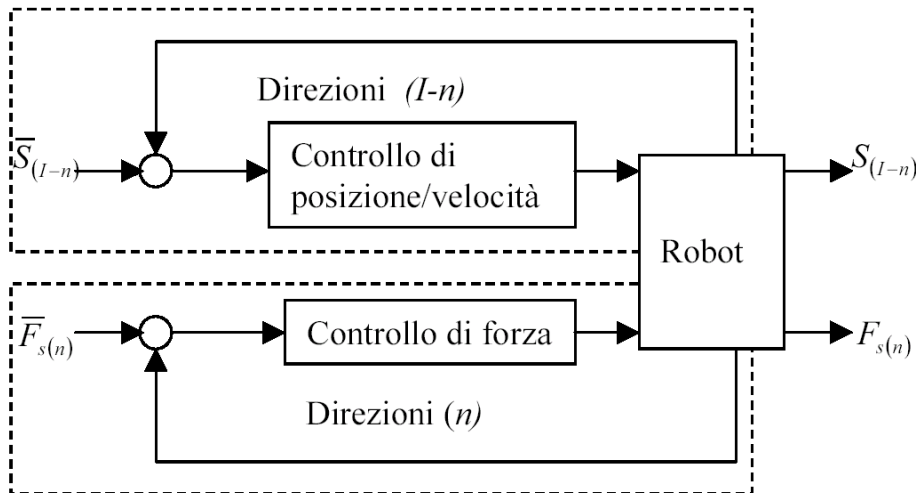
Contornatura robotizzata di un profilo planare incognito

Un sensore di forza fissato all'end effector fornisce le informazioni per stimare on-line l'orientamento della superficie.



Viene richiesto di mantenere costanti la forza normale e la velocità tangenziale.

Controllo ibrido forza e velocità



Applicazioni pratiche

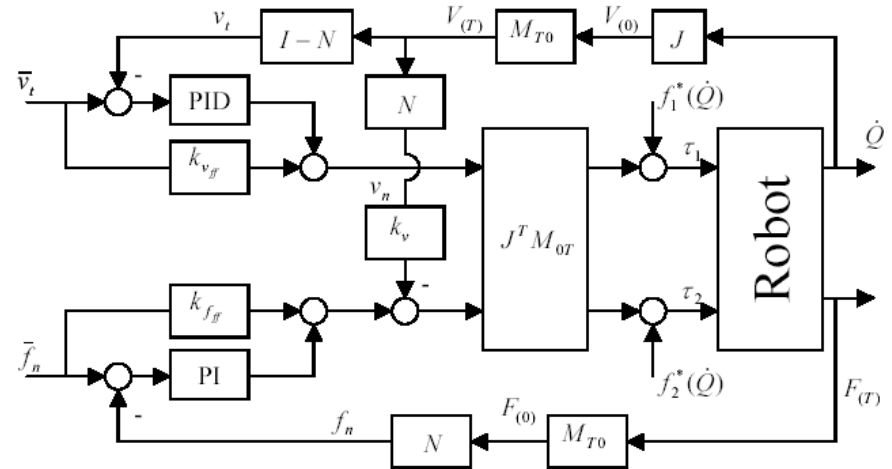
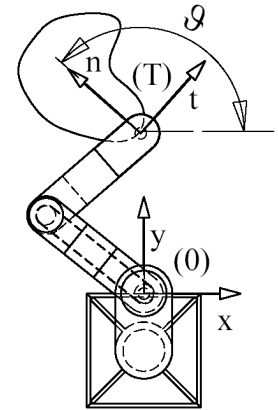
- Rilevamento di profili
- Sbavatura robotizzata
- Molatura
- Incollaggio
- Calibrazione cinematica...



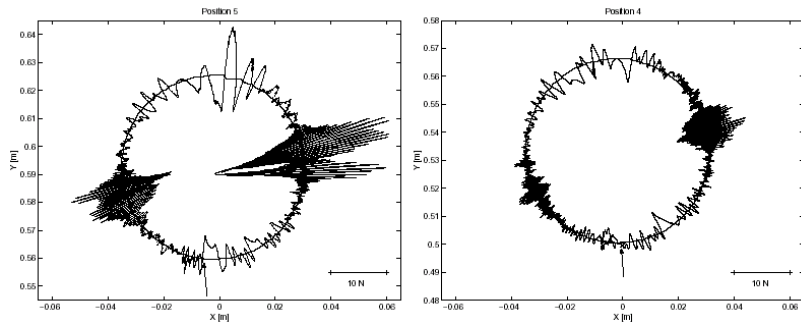


Controllo Esplicito

La forza è controllata comandando direttamente le coppie ai giunti basandosi sulle relazioni cinetostatiche.

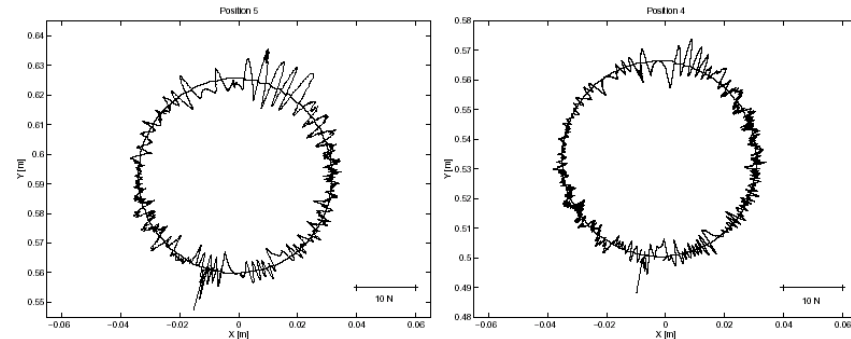


Grosse oscillazioni dipendenti dalla configurazione e direzione di forza



Gain scheduling: guadagno variabile in funzione della massa equivalente del robot

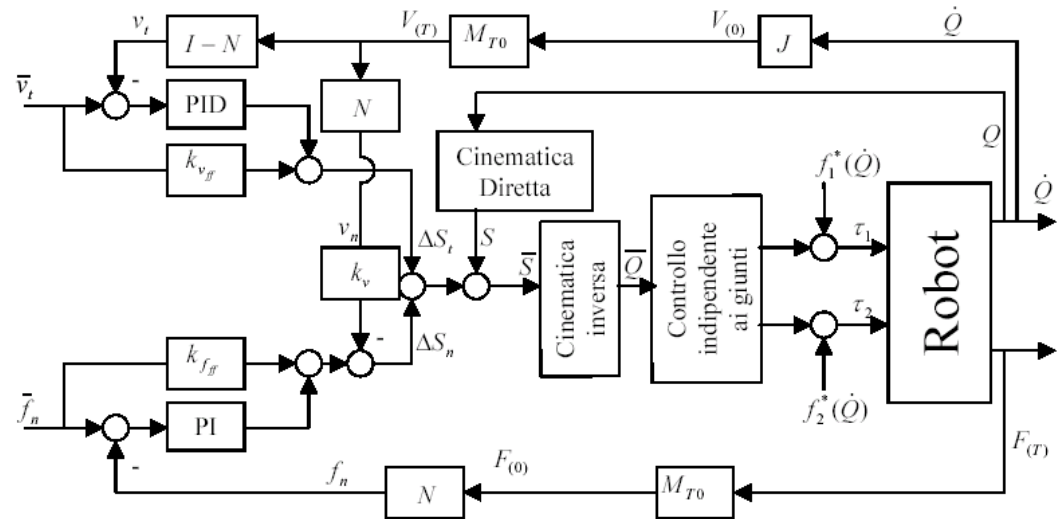
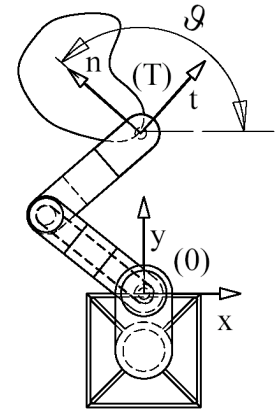
$$k_p = k_{p,min} + (m_{eq} - m_{eq,m}) \frac{k_{p,max} - k_{p,min}}{m_{eq,M} - m_{eq,m}}$$





Controllo Implicito

La forza è controllata modificando la traiettoria di riferimento per un controllo di posizione interno.



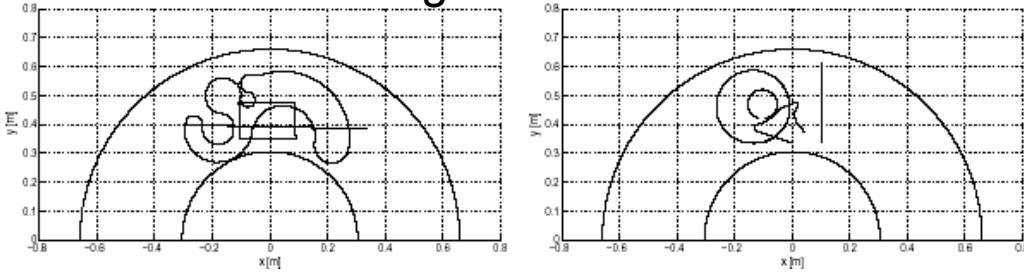
Facile implementazione

- Applicabile a robot controllati in posizione
- Robustezza ai disturbi (soprattutto attrito)
- Non richiede compensazioni raffinate

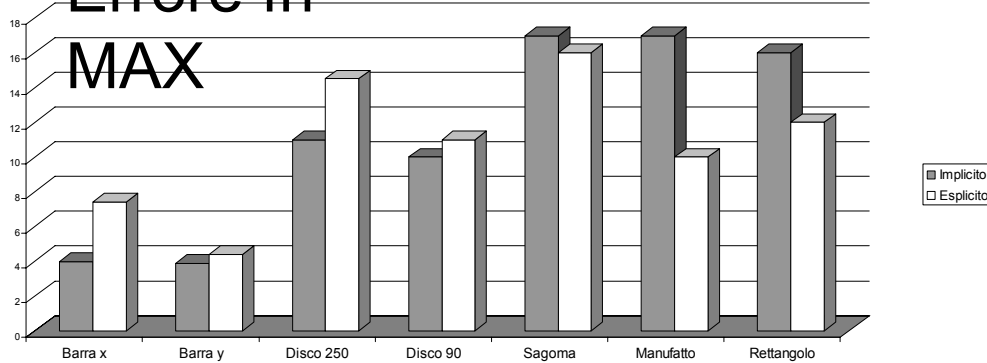


Implicito vs Esplicito

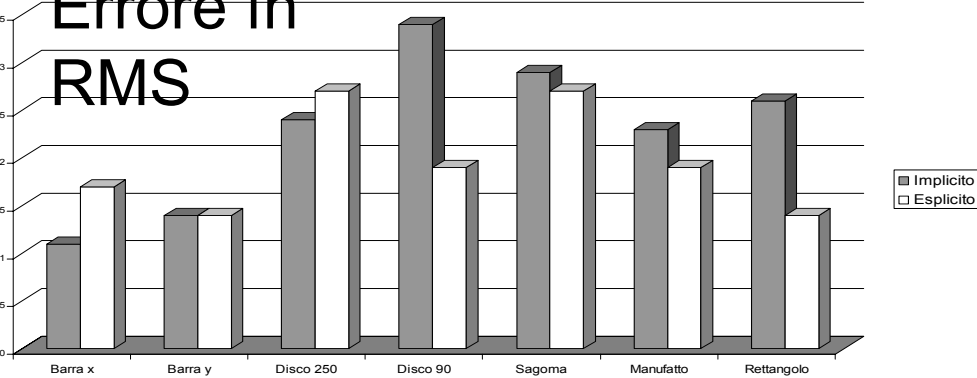
Contornatura di geometrie differenti



Errore fn MAX

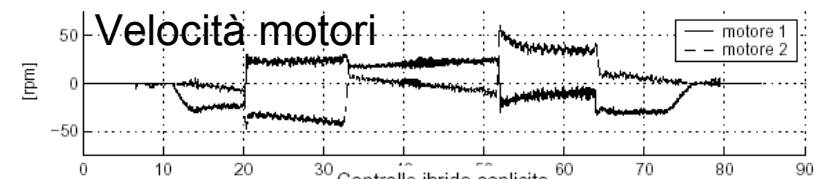
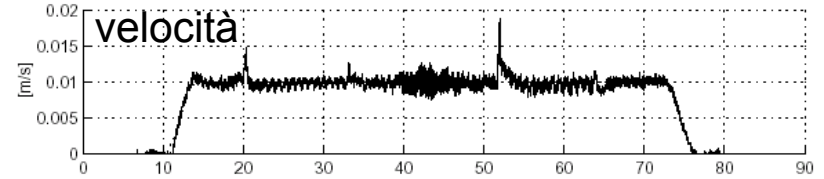
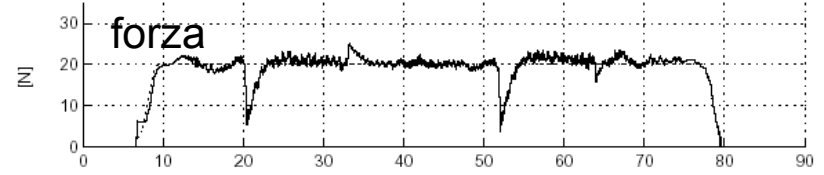


Errore fn RMS

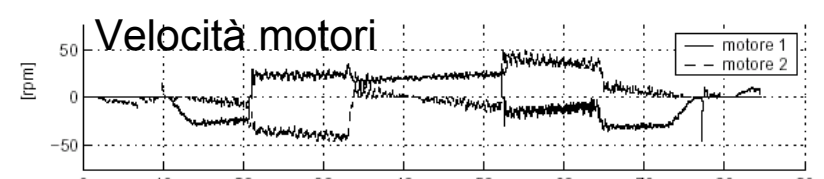
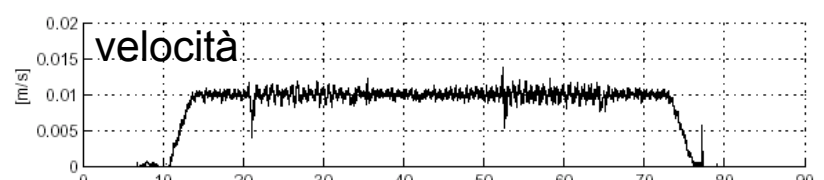
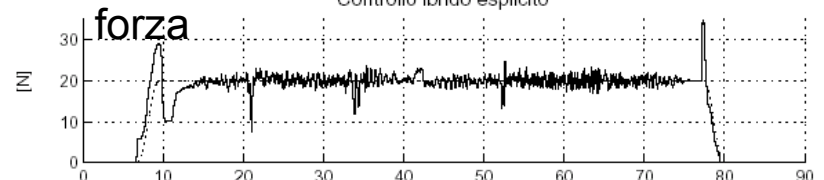


Rettangolo

Controllo ibrido implicito



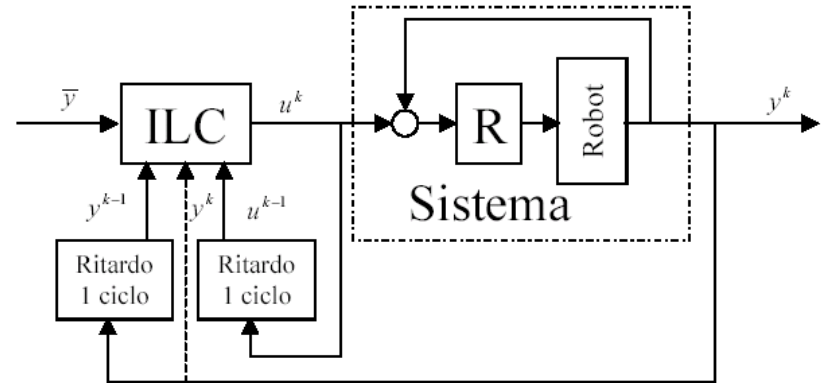
Controllo ibrido esplicito



Tempo [s]



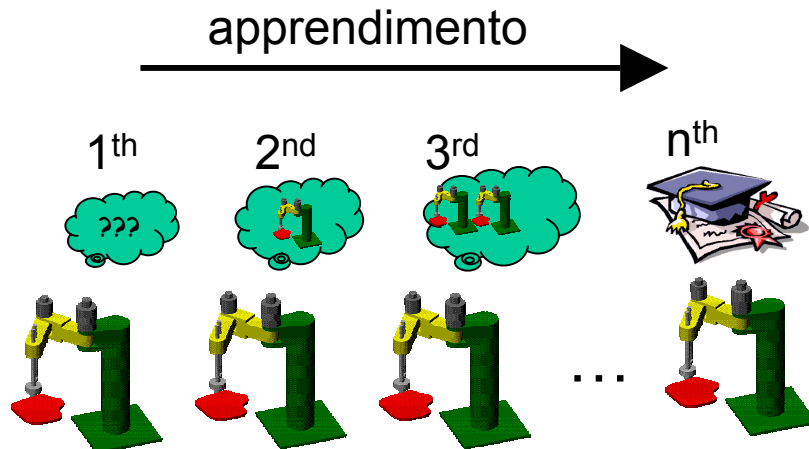
Se task ripetitivo ILC migliora le prestazioni utilizzando le informazioni delle ripetizioni precedenti



Intuitivamente:

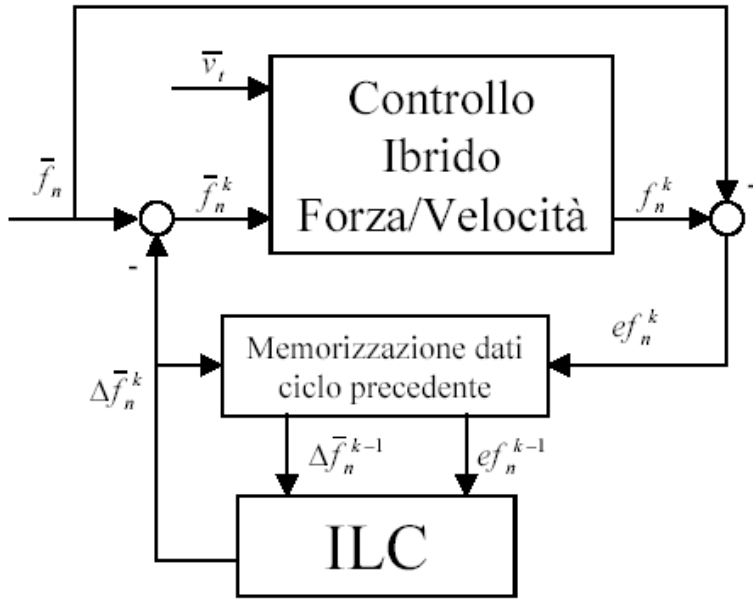
Se y è set-point e $y - \Delta y$ è l'uscita al primo ciclo

Al ciclo successivo per ottenere y il set point sarà $y + \Delta y$





ILC controllo di forza



\bar{f}_n set-point di forza normale

$\bar{f}_n^k = \bar{f}_n - \Delta \bar{f}_n^k$ set-point modificato dall'ILC

$\Delta \bar{f}_n^k = \Delta \bar{f}_n^{k-1} + g \cdot e_{f_n}^{k-1}$ modifica dell'ILC

ILC classico

Set point in funzione del tempo (rif. posizione)

Sincronizzazione temporale

Stesse condizioni operative negli stessi istanti di tutte le ripetizioni

Contour tracking

Set point non funzione del tempo (costante)

Velocità di contornatura e il punto iniziale di tracciamento può variare.

Il tempo non può sincronizzare le stesse condizioni operative tra cicli successivi

Nuovi parametri di memorizzazione

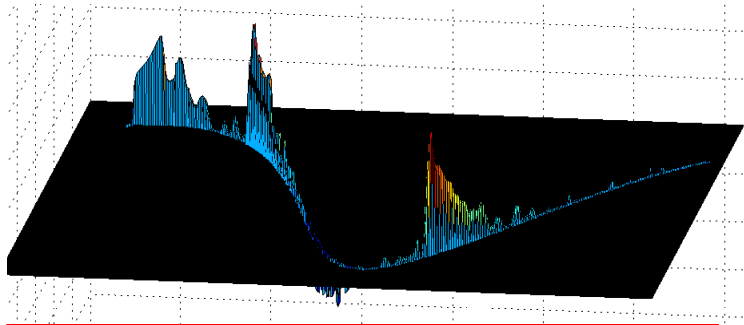


Parametri di memorizzazione

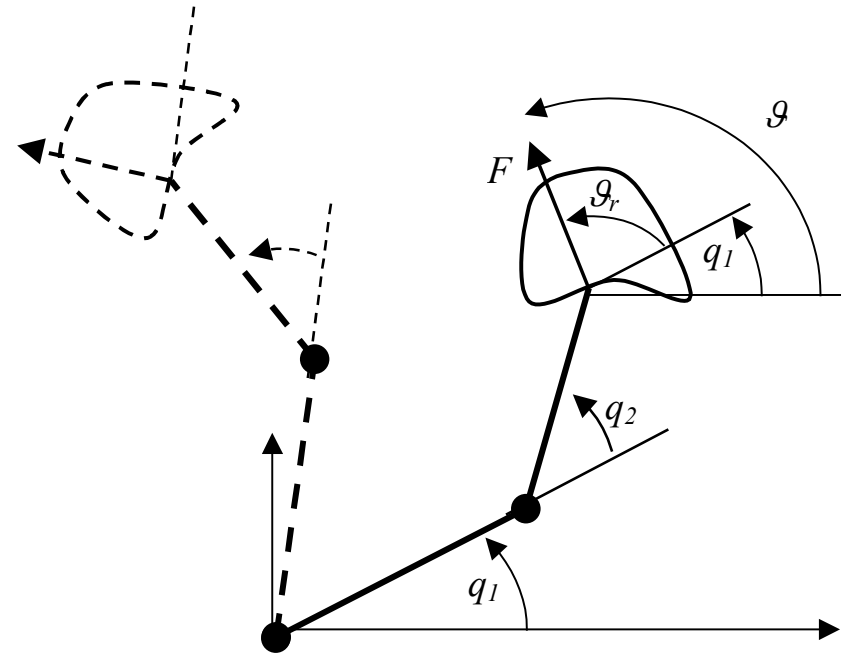
Il robot SCARA è simmetrico rispetto a q_1

Se i set point di forza e di velocità sono costanti, si hanno stesse condizioni operative per medesimi valori di q_2 e \mathcal{G}_r dove $\mathcal{G}_r = \mathcal{G} - q_1$

Matrice di memoria

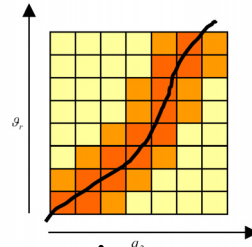


I dati necessari all'apprendimento sono memorizzati in funzione di q_2 and \mathcal{G}_r



Accorgimenti per la memorizzazione

- Discretizzazione dei parametri
- Interpolazione dei dati
- Salvataggio del integrale dei dati memoria perché i dati istantanei variano nel tempo di permanenza in una cella.





ILC Esperimenti

Disco 250 mm

esplicito

implicito

Forza normale alla prima ripetizione

Forza normale alla prima ripetizione

1^a ripetizione

1^a ripetizione

Set point modificato dall'ILC alla decima ripetizione

Set point modificato dall'ILC alla decima ripetizione

Set point

Set point

Forza normale alla decima ripetizione

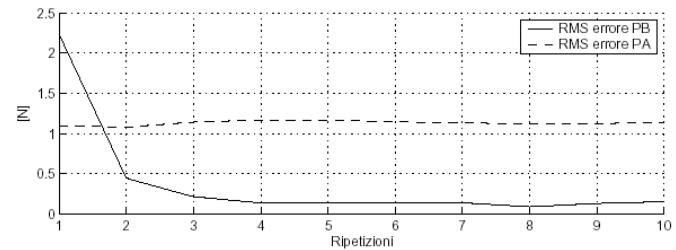
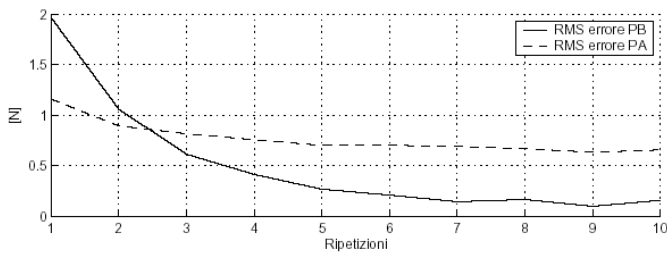
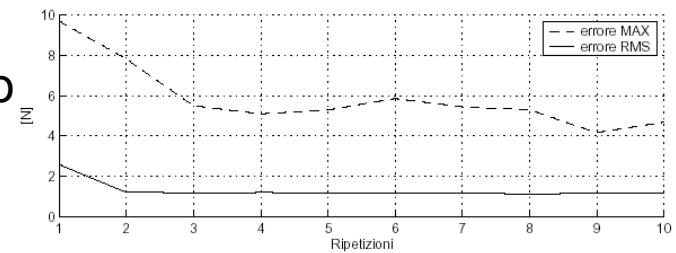
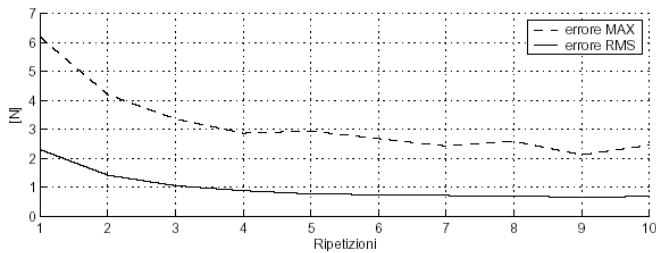
Forza normale alla decima ripetizione

10^a ripetizione

10^a ripetizione

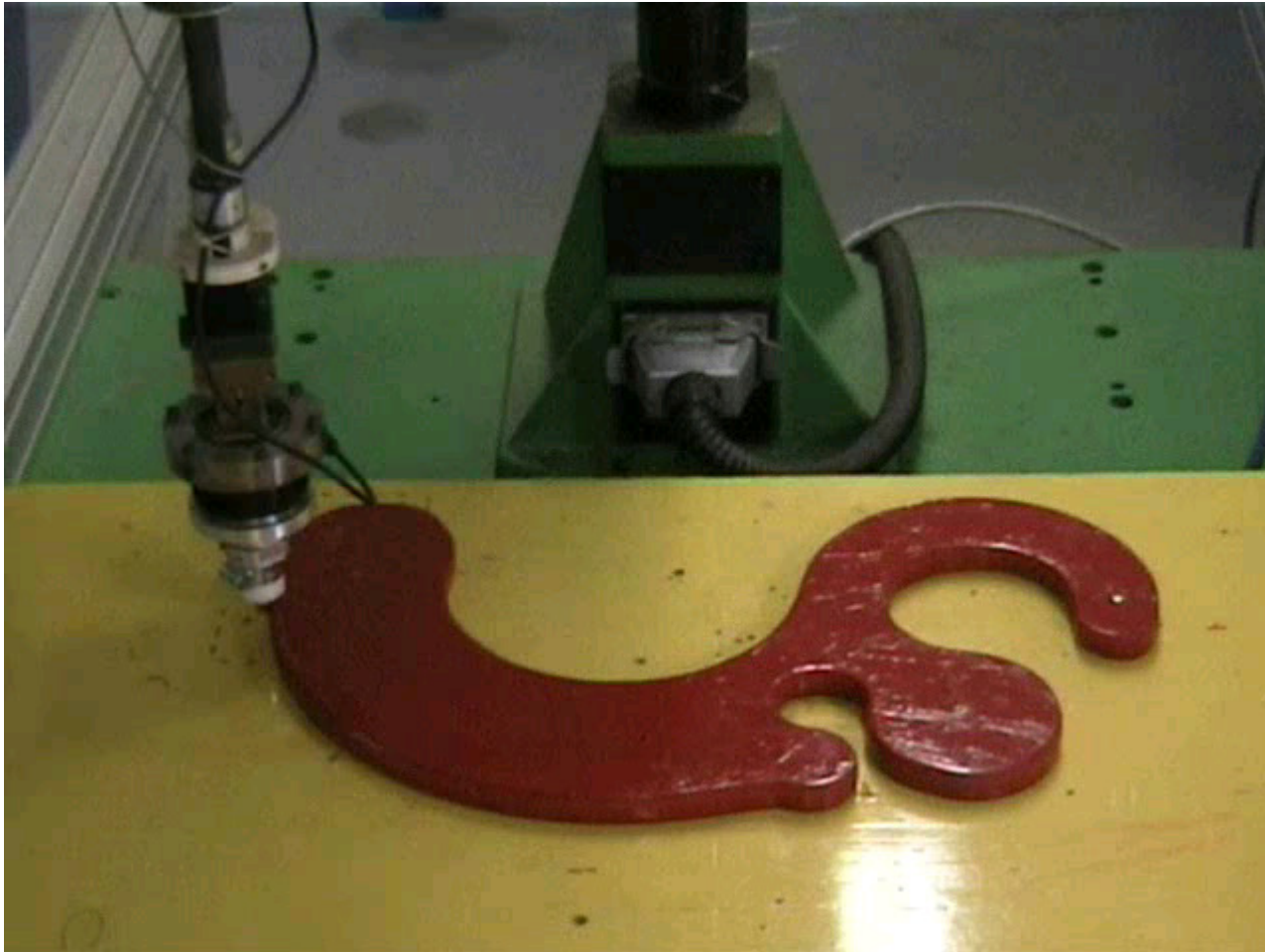
tempo [s]

Convergenza apprendimento





Incremento progressivo del set point di velocità

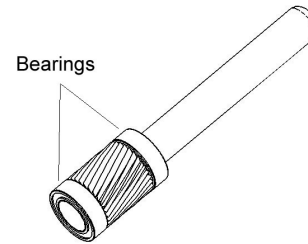
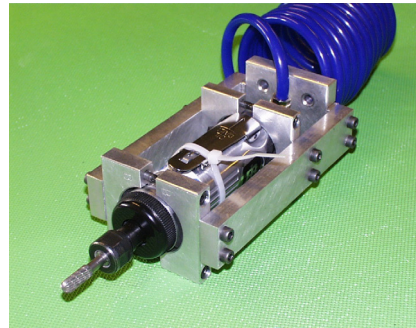


!!! Velocità 90 mm/s !!!



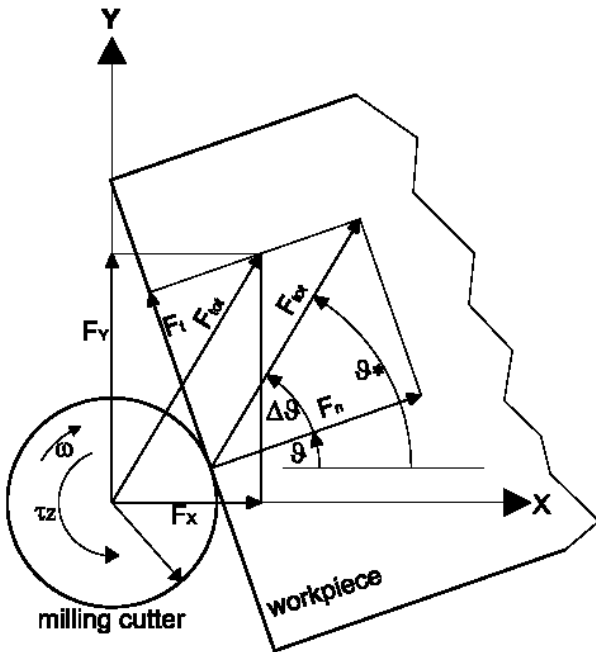
Nessuna informazione sul pezzo da lavorare

Progettazione e
 realizzazione del
 supporto per il
 mandrino pneumatico



Ideazione e
 realizzazione di una
 fresa prototipale per
 sbavature

Modifiche all' algoritmo di contour tracking



Stima
 originale

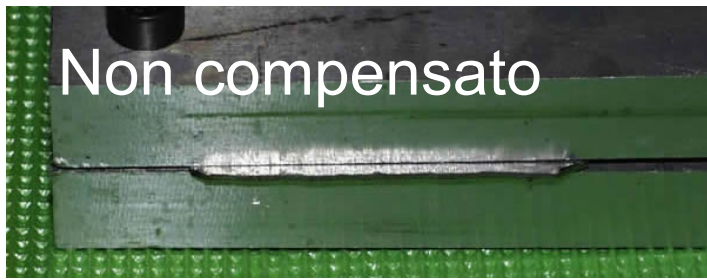
Correzione funz.
 coppia fresa

$$\vartheta = \arctan 2(F_y, F_x) - \arcsin\left(\frac{\tau_z / r}{F_{tot}}\right)$$

$$F_{tot} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{F_n^2 + F_t^2}$$

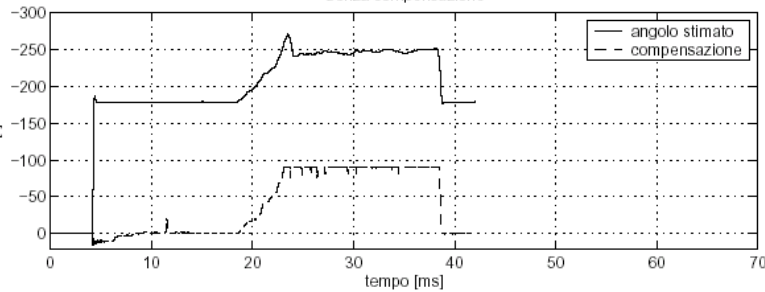


Esperimenti di sbavatura

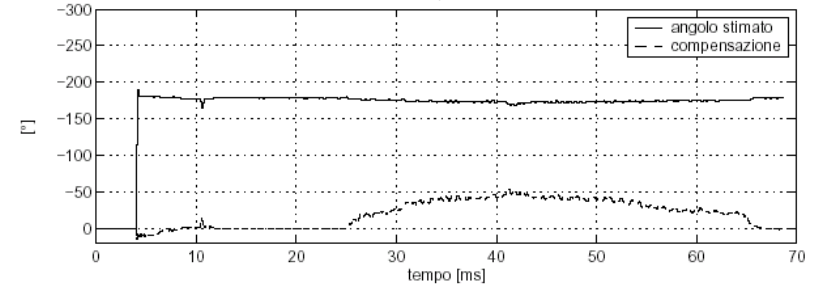


Bava artificiale

Senza compensazione

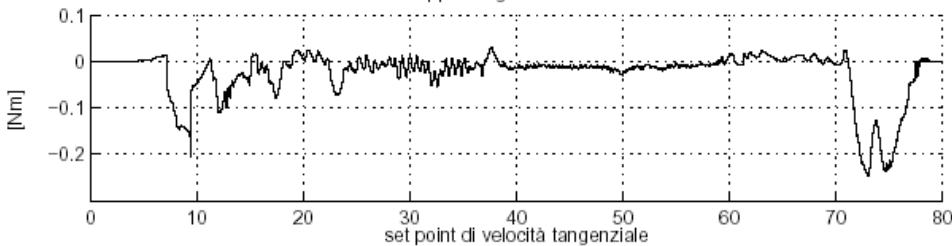


Con compensazione

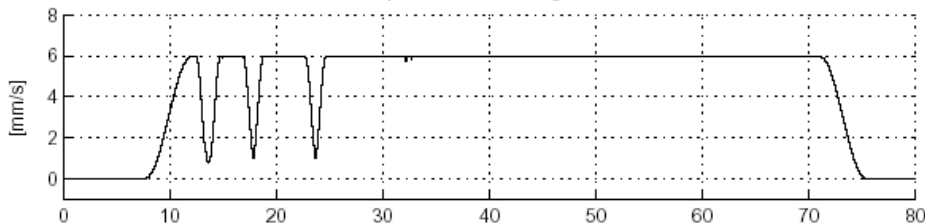


In presenza di coppie elevate il set point di velocità viene ridotto

coppia erogata dalla fresa



set point di velocità tangenziale



Oggetto pressofuso





Altre attività:

- Robot guidance
- Studio e sperimentazione di metodi di compensazioni adattativi per l'attrito

Conclusioni

- Studio del controllo di forza per robot industriali
- Sviluppate logiche di controllo per il contour tracking
- Confronto tra approccio implicito ed esplicito (gain scheduling)
- logiche innovative ad apprendimento iterativo con metodi di memorizzazione non time-based
- Applicazioni pratiche di sbavatura robotizzata
- Nel corso del dottorato pubblicati 18 articoli



- G. Ziliani, A. Visioli, G. Legnani, "Gain scheduling for hybrid force/velocity control in contour tracking task", *International Journal of Advanced Robotic Systems*", accepted for publication.
- A. Visioli, G. Ziliani, G. Legnani, "Friction compensation in hybrid force/velocity control for contour tracking tasks", in *Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control*, in stampa.
- G. Legnani, A. Visioli, G. Ziliani "A comparison between implicit and explicit hybrid control for contour tracking" , *8th International IFAC Symposium on Robot Control*, Bologna, 2006.
- A. Visioli, G. Ziliani, G. Legnani, "An Iterative Learning Control Algorithm for Contour Tracking of Unknown Objects" ,*Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, FL, 2006
- G. Ziliani, G. Legnani, A. Visioli, "Iterative learning control for hybrid force/velocity control", *37th International Symposium on Robotics*, Munich (D), May 2006.
- F. Jatta, G. Legnani, A. Visioli, G. Ziliani, "On the use of velocity feed back in hybrid force/velocity control of industrial manipulators", *Control Engineering Practice*, Vol 14, No. 9, pp 1045-1055, 2006.
- G. Ziliani, G. Legnani, A. Visioli, "A mecatronic design for robotic deburring", *Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Dubrovnik (Croazia) 2005.
- G. Ziliani, F. Jatta, G. Legnani, A. Visioli, "A gain scheduling approach for hybrid force/velocity controlled robot contour tracking", *16th IFAC World Congress*, Praga (Repubblica Ceca), 2005.