



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

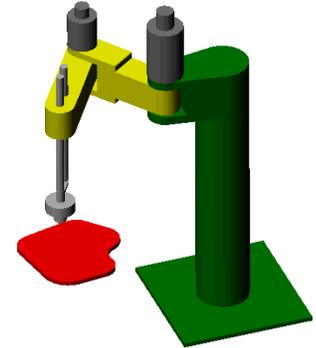
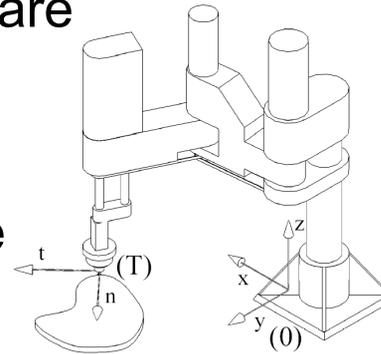
Ch.mo prof. Giovanni Legnani



Contour tracking

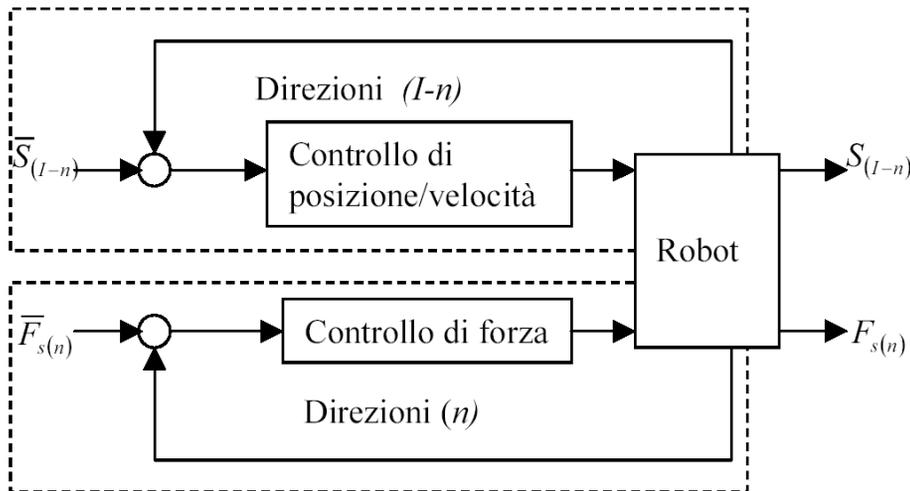
Contornatura robotizzata di un profilo planare incognito

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

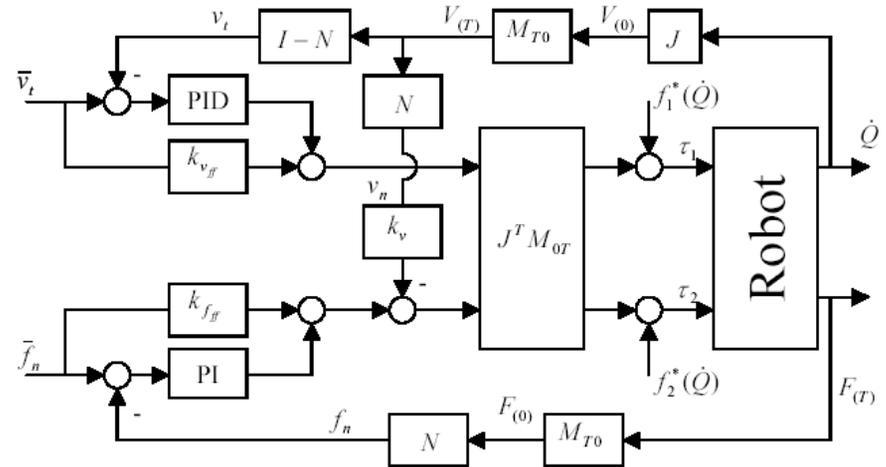
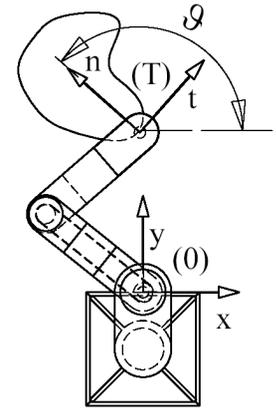
- Rilevamento di profili
- Sbavatura robotizzata
- Molatura
- Incollaggio
- Calibrazione cinematica...



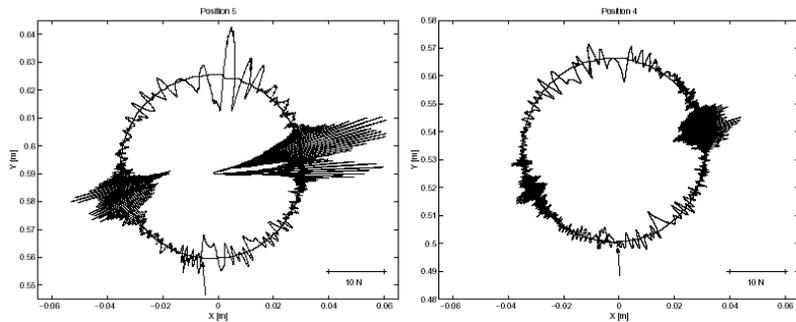


Controllo Esplicito

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

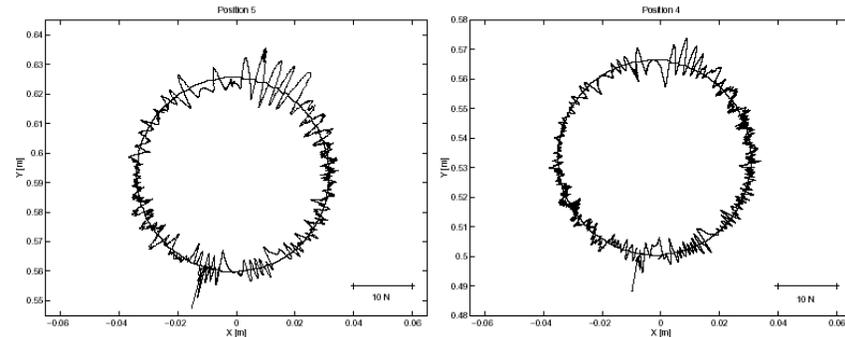


Grosse oscillazioni dipendenti dalla configurazione e direzione di forza



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

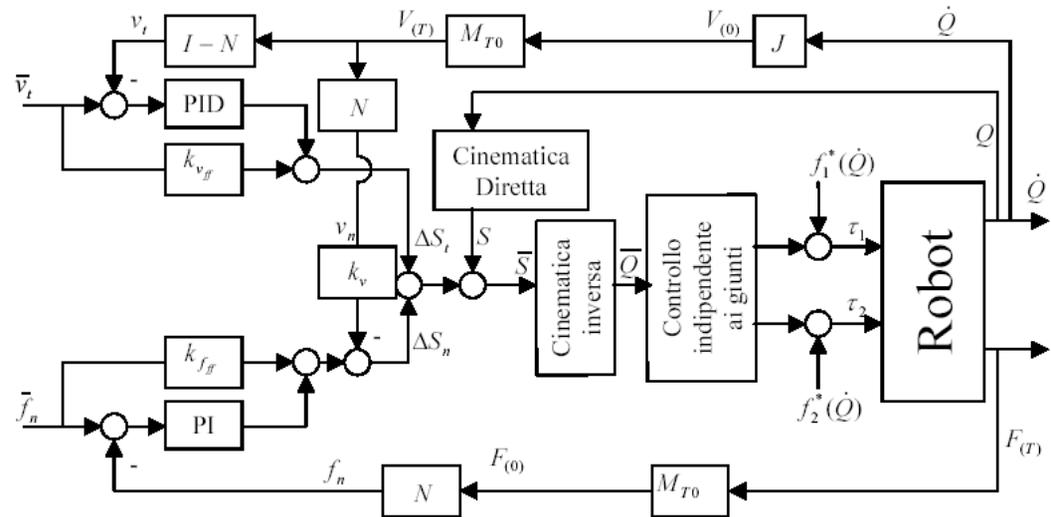
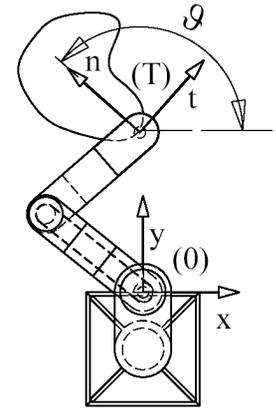
$$k_p = k_{p,min} + (m_{eq} - m_{eq,m}) \frac{k_{p,max} - k_{p,min}}{m_{eq,M} - m_{eq,m}}$$





Controllo Implicito

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



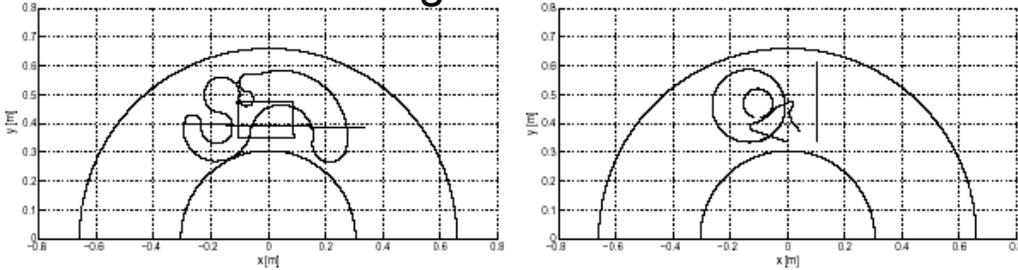
Facile implementazione

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

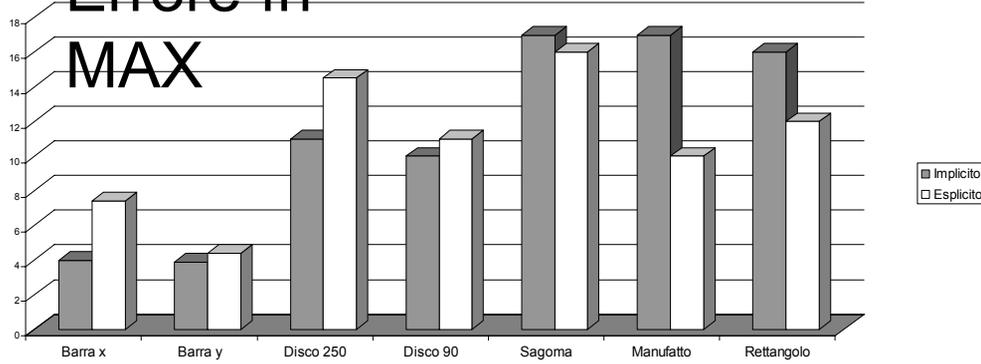


Implicito vs Esplicito

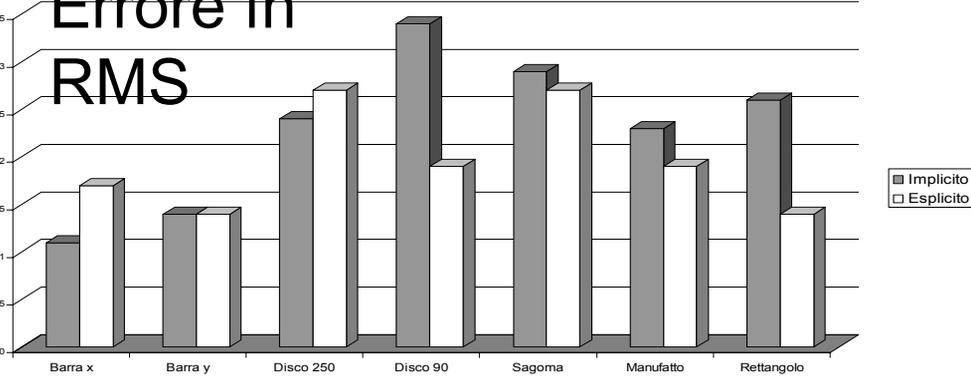
Contornatura di geometrie differenti



Errore fn MAX

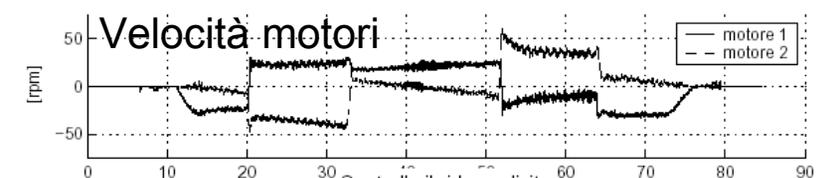
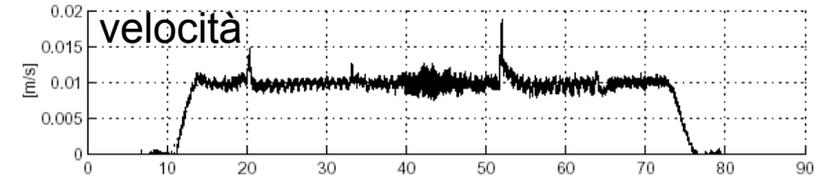
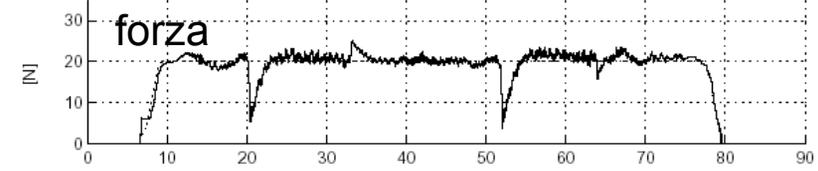


Errore fn RMS

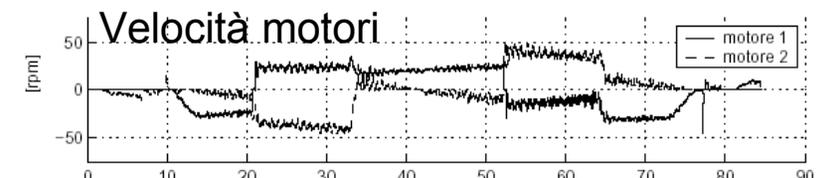
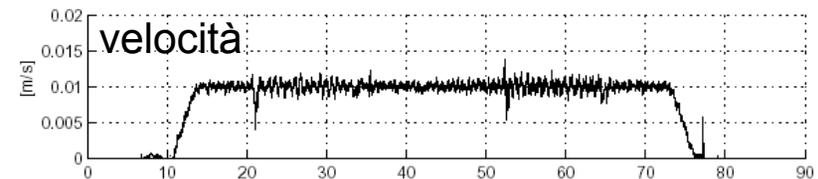
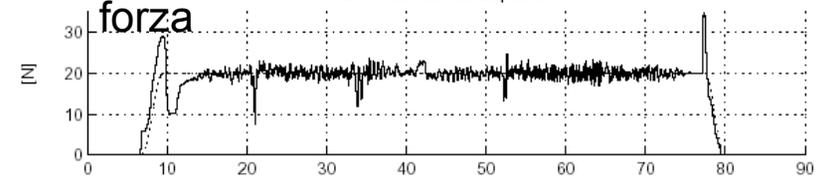


Rettangolo

Controllo ibrido implicito



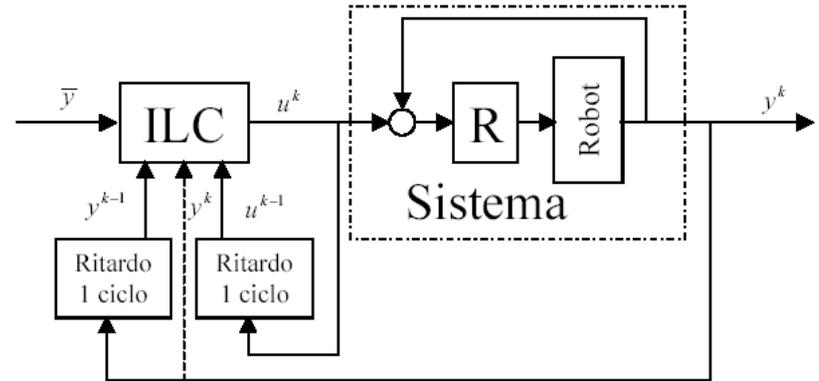
Controllo ibrido esplicito



Tempo [s]



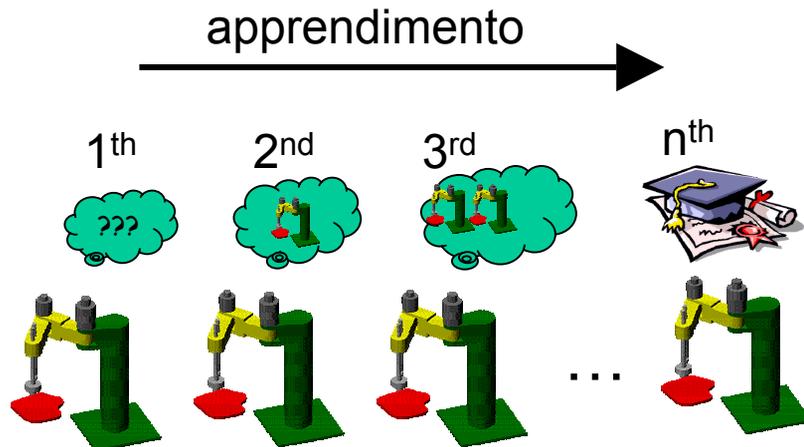
Se task ripetitivo ILC migliora le prestazioni utilizzando le informazioni delle ripetizioni precedenti



Intuitivamente:

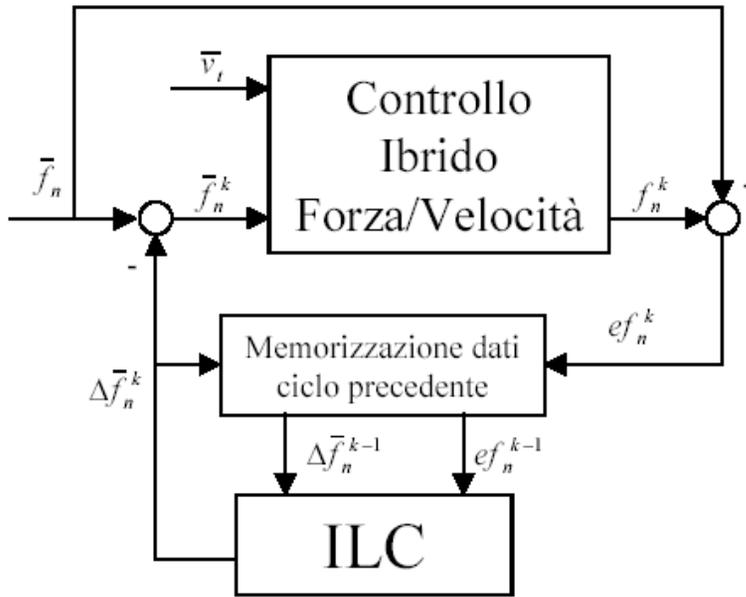
Se y è set-point e $y - \Delta y$ è l'uscita al primo ciclo

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





ILC controllo di forza



ILC classico

Set point in funzione del tempo (rif. posizione)

Sincronizzazione temporale

Stesse condizioni operative negli stessi istanti di tutte le ripetizioni

\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

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

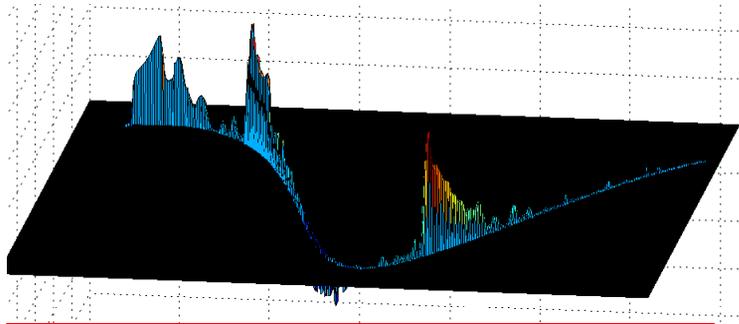


Parametri di memorizzazione

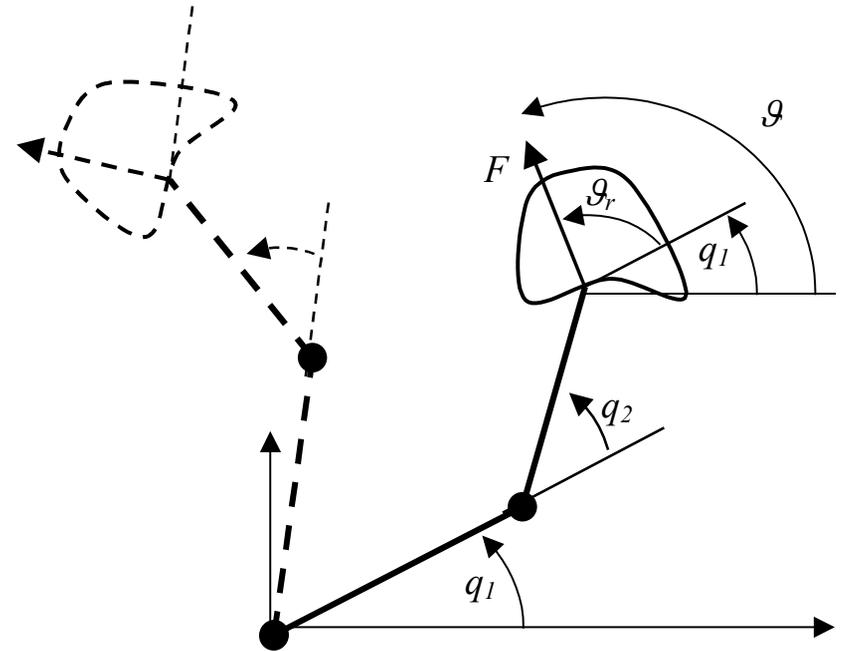
Il robot SCARA è simmetrico rispetto a q_1

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

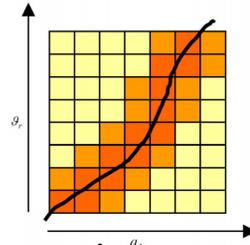


I dati necessari all'apprendimento sono memorizzati in funzione di q_2 and \mathcal{G}_r



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

esplicito

Disco 250 mm

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

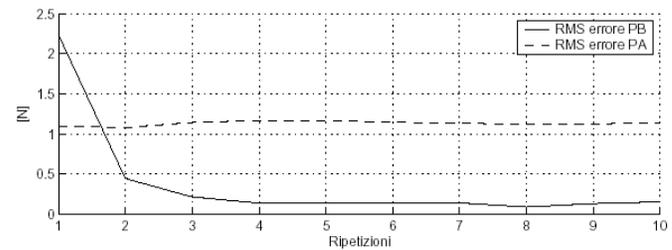
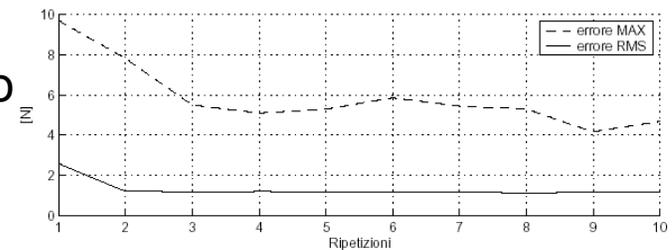
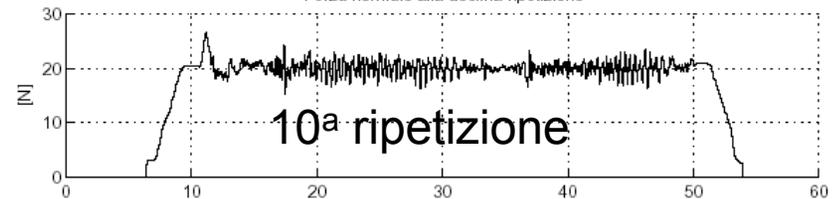
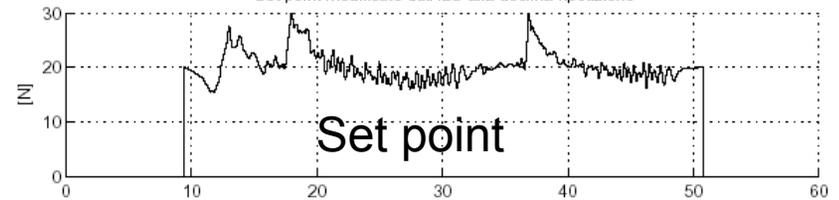
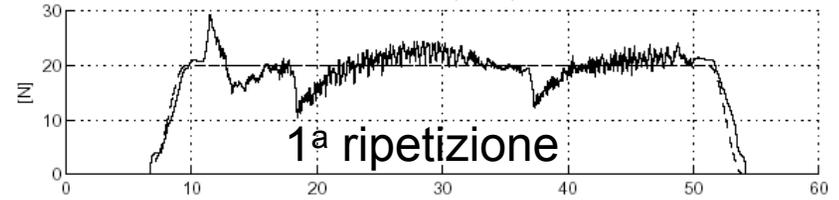
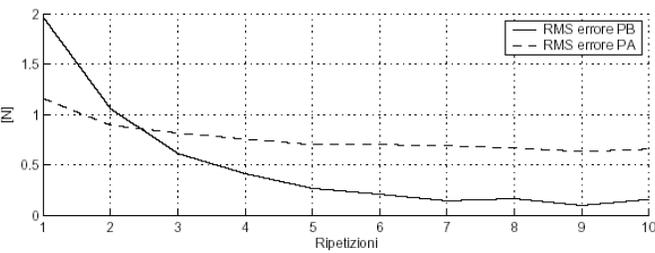
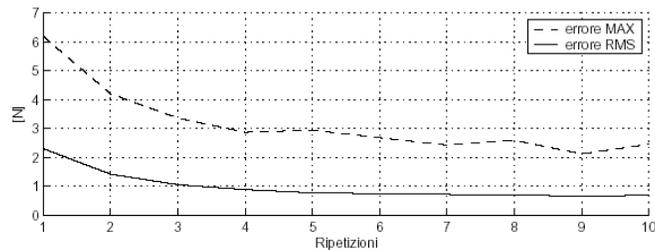
Forza normale alla decima ripetizione

10^a ripetizione

10^a ripetizione

tempo [s]

Convergenza apprendimento





Incremento progressivo del set point di velocità

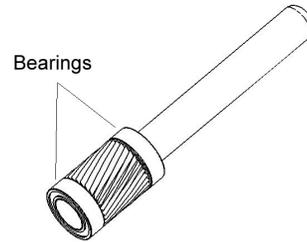
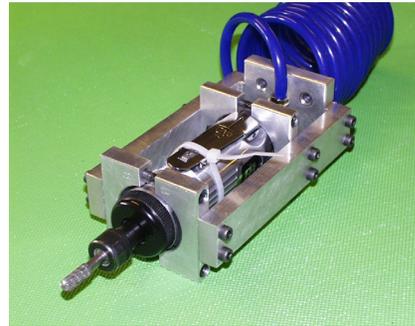


!!! Velocità 90 mm/s !!!



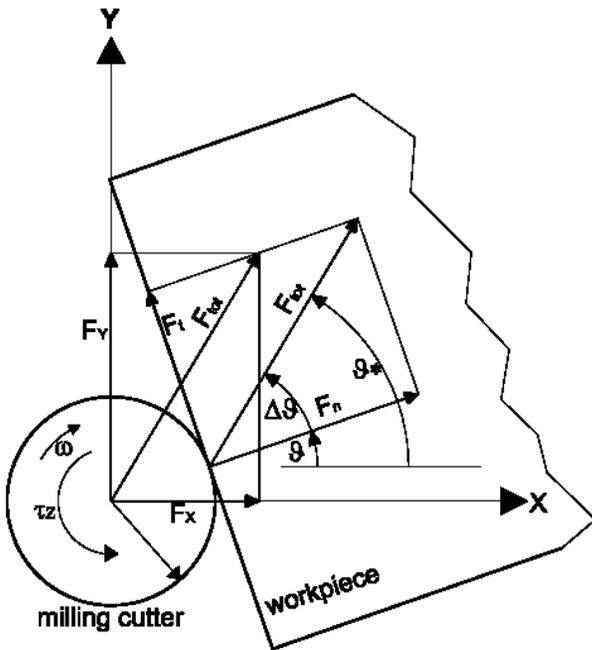
Nessuna informazione sul pezzo da lavorare

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

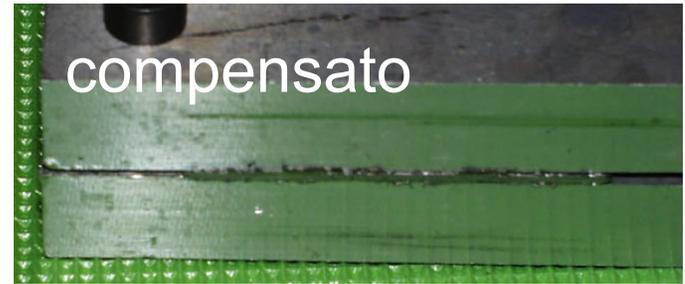
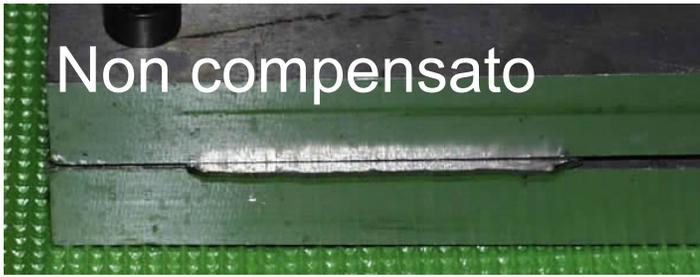
Correzione funz.
 coppia fresa

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

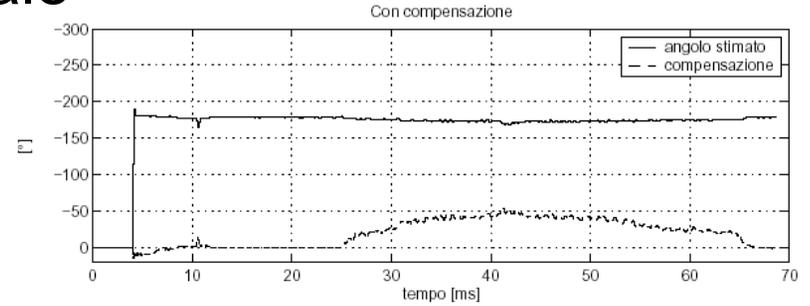
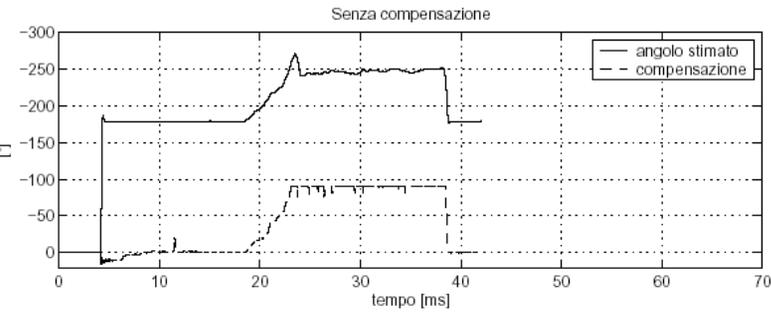
$$F_{tot} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{F_n^2 + F_t^2}$$



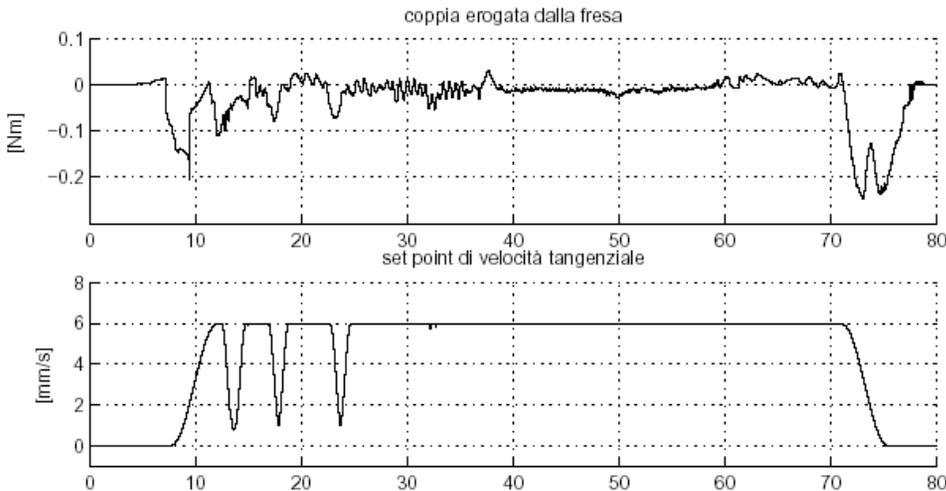
Esperimenti di sbavatura



Bava artificiale



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



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.