

# Dinamica dei manipolatori in contatto con l'ambiente

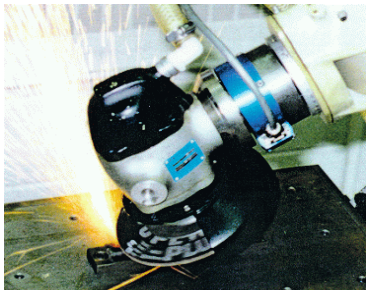
Dottorato di ricerca in Meccanica Applicata XIX ciclo

Relazione sul A.A. 2003-2004

Giacomo Ziliani

# Contour tracking

- ★ Inseguimento di profili piani mantenendo il contatto tra pinza e superficie.
- ★ **Nessuna** conoscenza della geometria del profilo
- ★ Stima in tempo-reale della forma del profilo
- ★ Controllo della forza normale esercitata e della velocità tangenziale di percorrenza



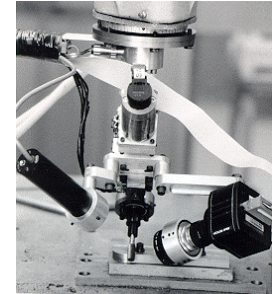
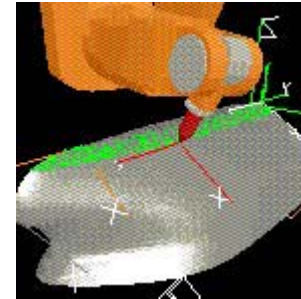
## Possibili applicazioni

- Molatura
- Eliminazione di bave
- Lucidatura
- Rilevazione di geometrie
- Calibrazione, ecc

# Stato dell'arte

Gli attuali sforzi della ricerca sono concentrati nell'individuazione di metodi che incrementino le prestazioni del controllo con l'utilizzo di:

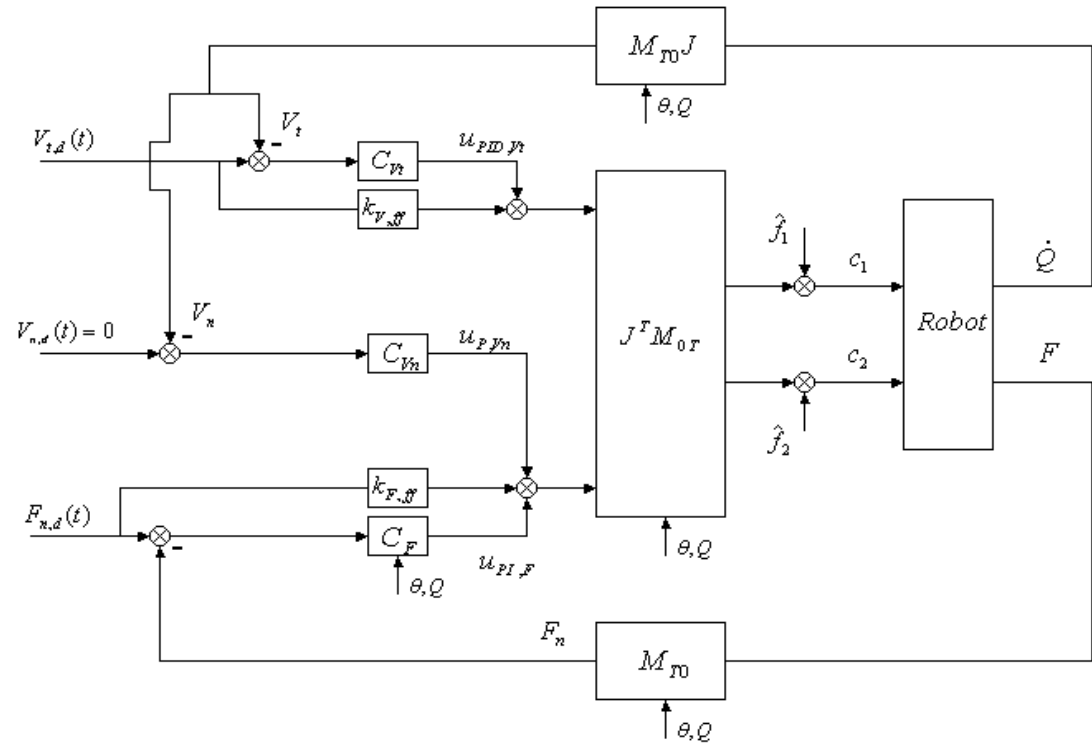
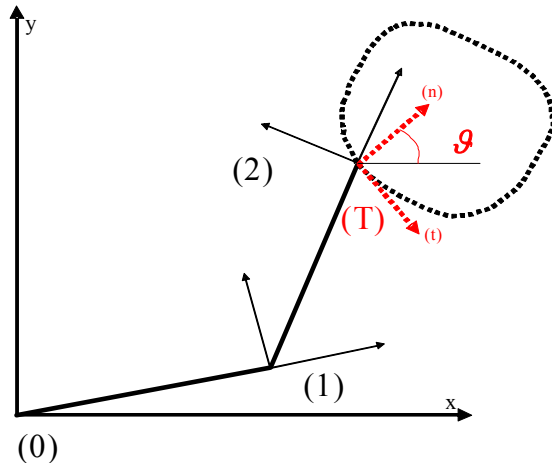
- ★ sistemi di visione
- ★ modelli CAD
- ★ metodi di apprendimento iterativo ILC



Il mio lavoro si è concentrato su:

- la sperimentazione degli algoritmi per il contour tracking
- lo studio dell'influenza dei parametri dinamici sulle prestazioni del controllo di forza
- la formulazione di nuovi algoritmi di controllo
- l'implementazione di applicazioni industriali basate sul controllo di forza

# Controllo Ibrido Forza/Velocità



- controllo forza normale e velocità tangenziale
- comando in coppia
- niente anello interno di posizione/velocità
- orientamento della terna T stimato mediante il sensore di forza
- $C_v$  regolatore PID e  $C_f$  regolatore PI
- Compensazione dell'attrito ai giunti
- Retroazione di velocità normale

Coppia di comando      Uscita dei PID      Azione in avanti      Compensazione dell'attrito

$$\tau = J^T M_{0T} (U_{(T)} + K_R R) + \hat{f}$$

$$U_{(T)} = [u_{PID,V}, u_{PI,F} + K_v (V_{n,d} - V_n)]^T$$

Retroazione di  
velocità normale

# Mappatura della massa e della rigidezza per manipolatori seriali

Durante il tracciamento la massa e la rigidezza equivalenti variano notevolmente in funzione della **configurazione** e della **direzione** di contatto.

Massa  
equivalente

$$F = M_s(Q) \ddot{X}$$

$$M_s(Q) = J^{-T} M_q J^{-1}$$

$$F = K_s(Q) \Delta X$$

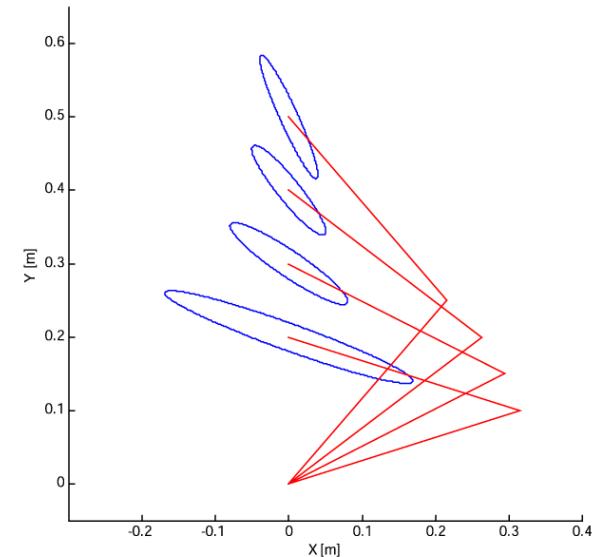
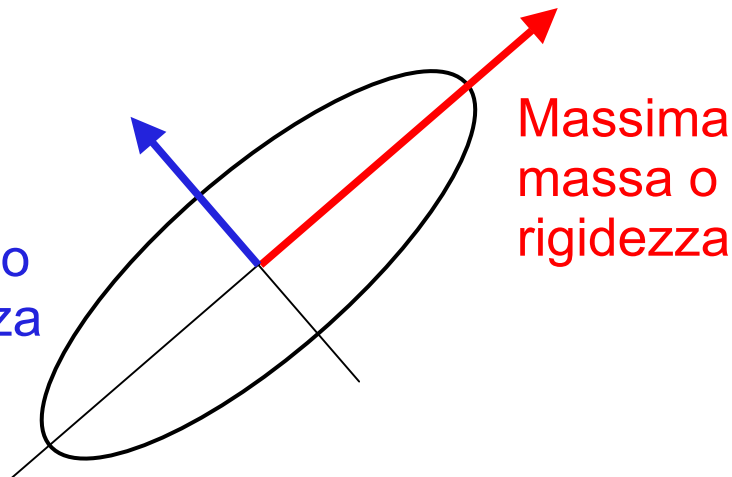
$$K_s(Q) = J^{-T} K_q J^{-1}$$

Rigidezza  
equivalente

**Robot scara  
icomatic 03**

Massa equivalente		Rigidezza equivalente	
Min	Max	Min	Max
37 kg	825 kg	40000 N/m	12000000 N/m

Minima  
massa o  
rigidezza

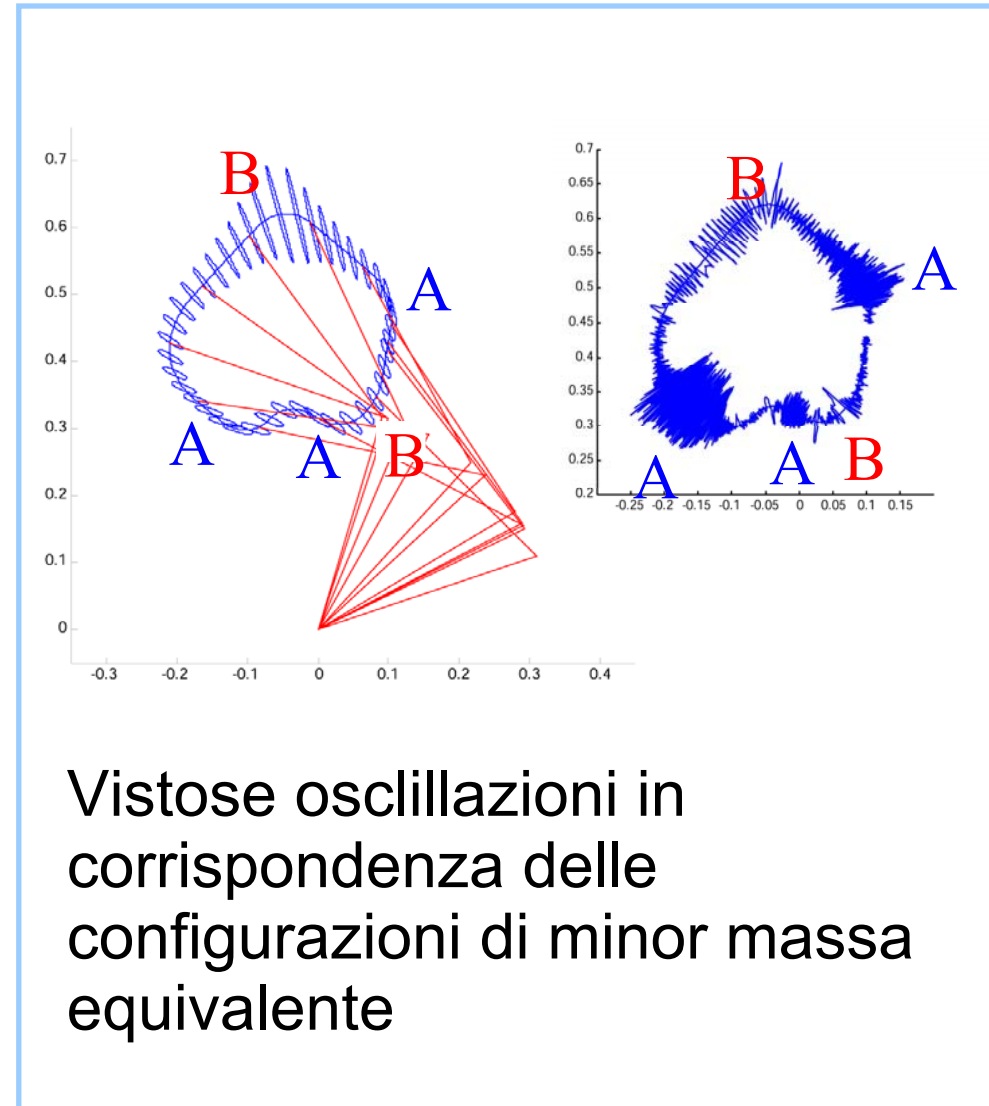
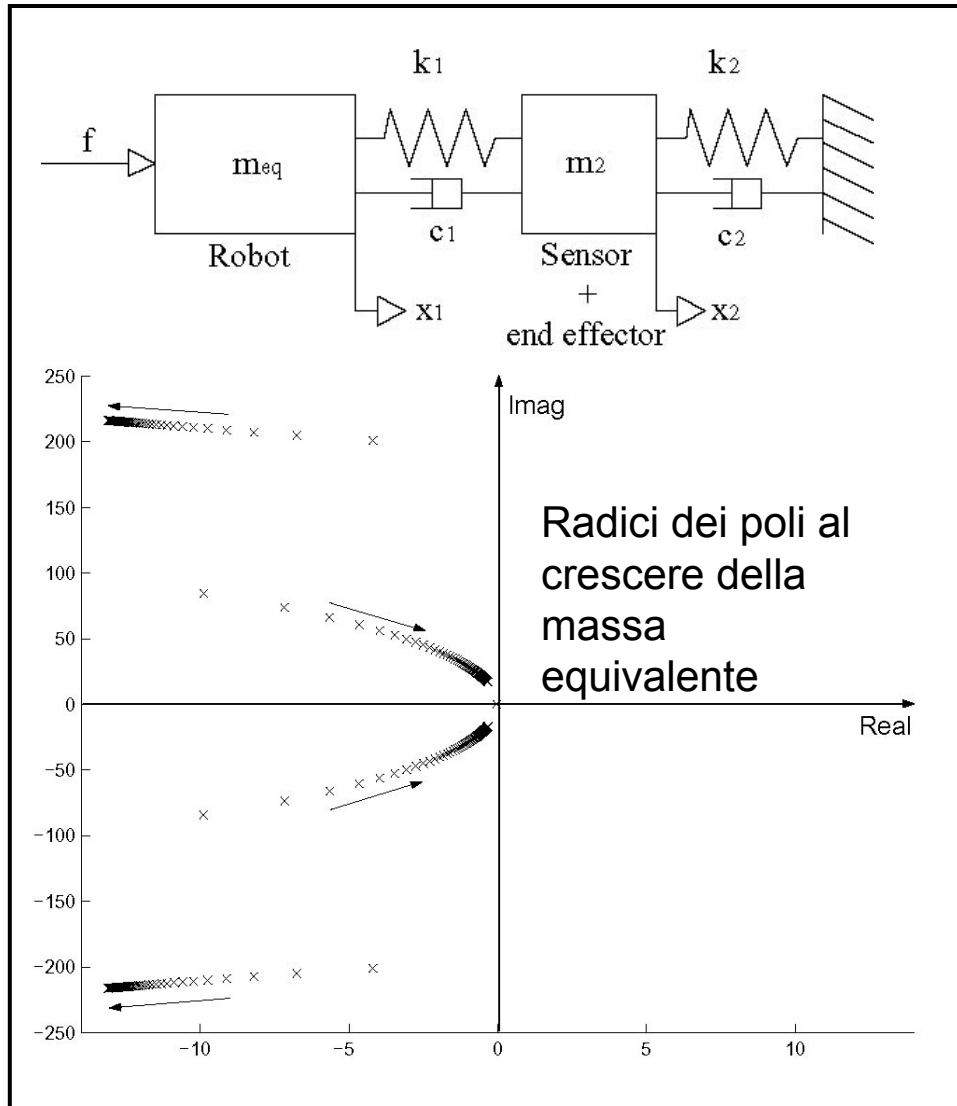


# Influenza dei parametri sulle prestazioni

modello

esperimenti

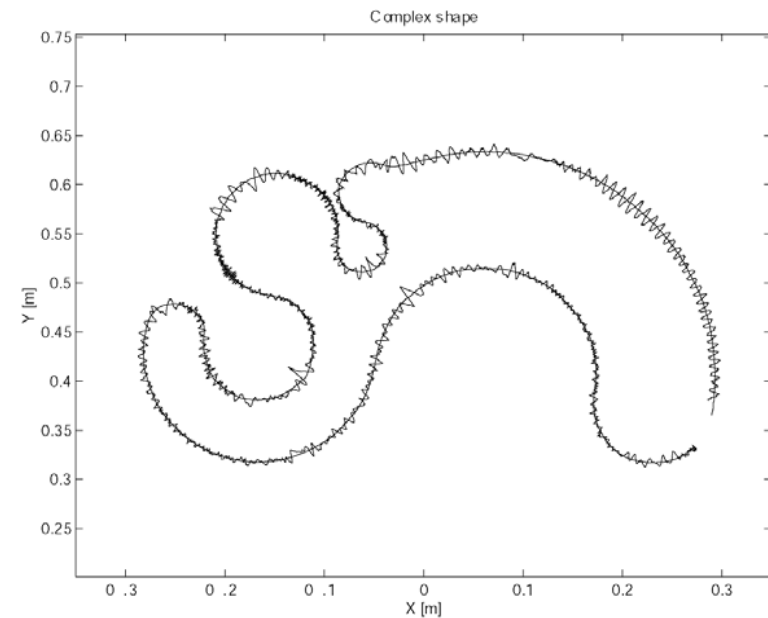
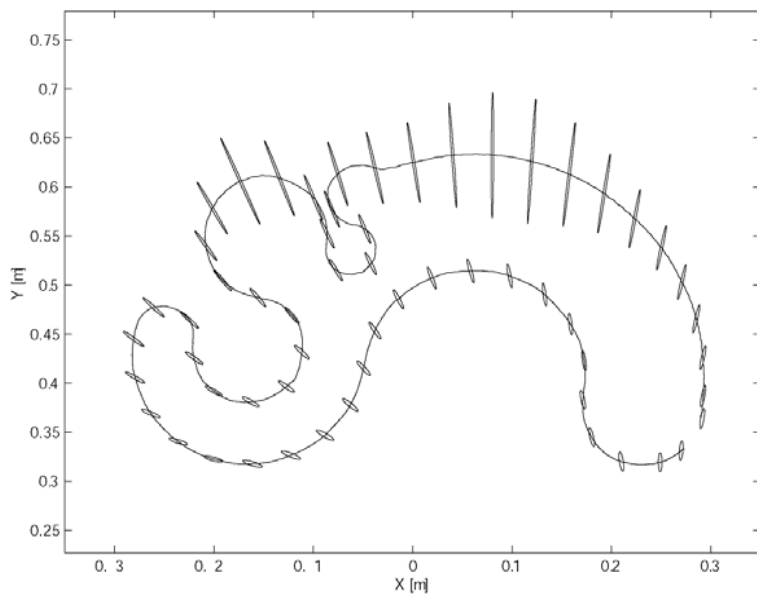
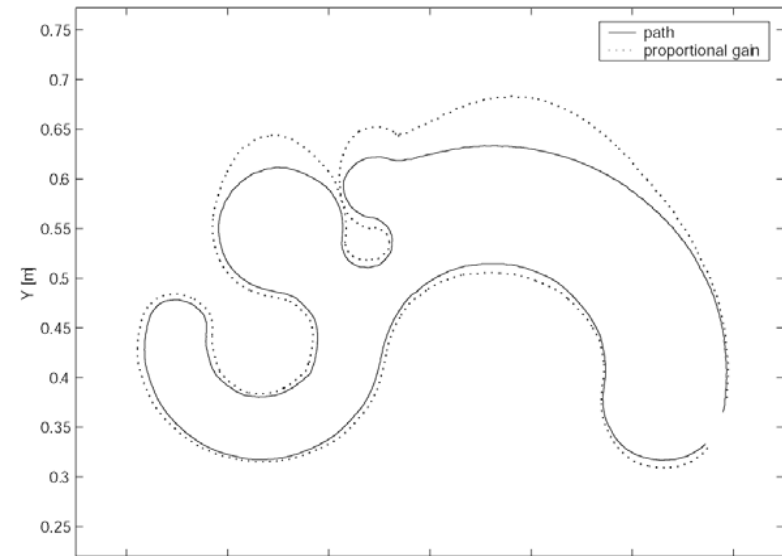
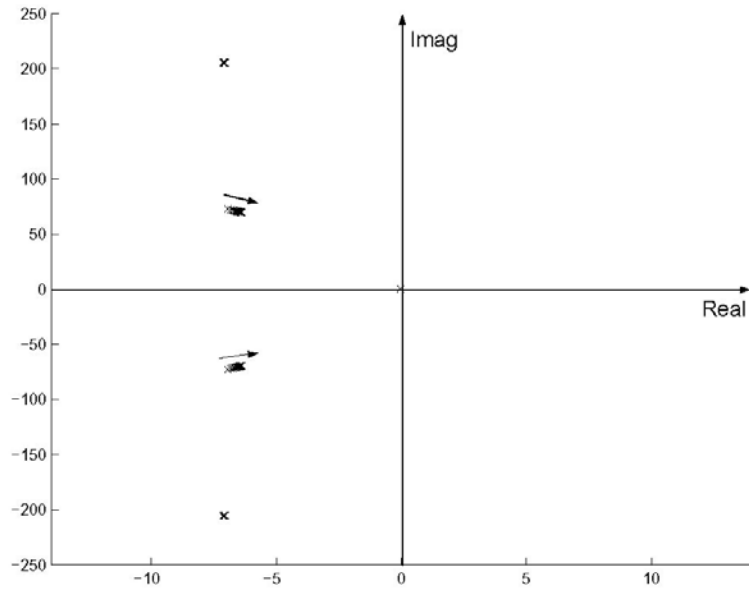
controllo di forza proporzionale guadagno costante



Vistose oscillazioni in corrispondenza delle configurazioni di minor massa equivalente

# Il regolatore Gain Scheduling

Il guadagno proporzionale del controllo di forza varia in modo proporzionale al valore della massa equivalente.



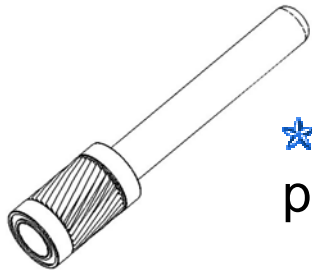
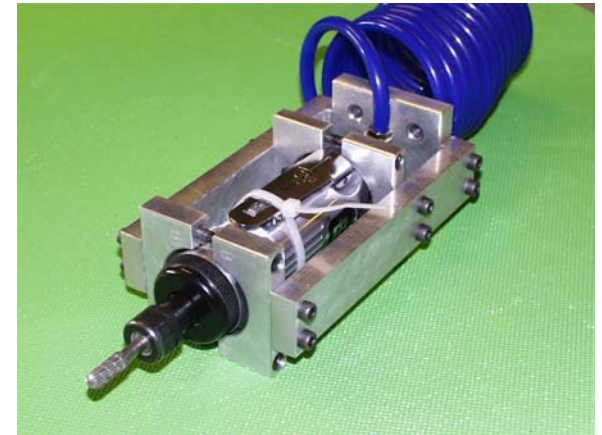
# Contornatura sagoma complessa 50 mm/s





# La sbavatura robotizzata

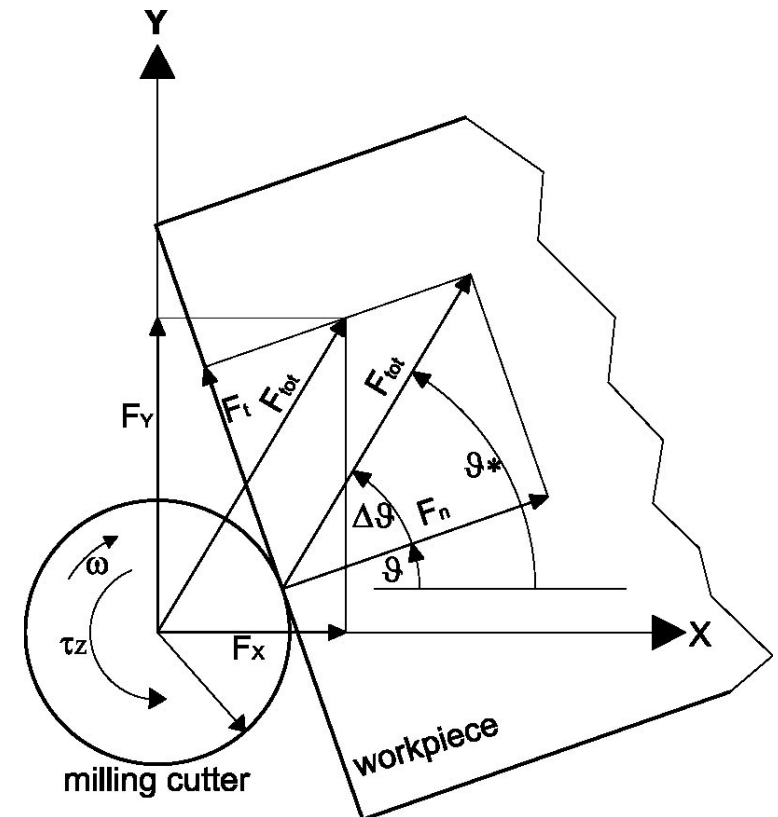
★ Progettazione e realizzazione di un supporto per il mandrino pneumatico



★ Ideazione e realizzazione di una fresa prototipale per sbavature

★ Modifica dell'algoritmo di controllo

- Stima della direzione di contatto con compensazione dell'influenza delle forze di taglio
- Rallentamento del processo di contornatura in presenza di bave consistenti



# Stima dell'angolo di contatto

Originale

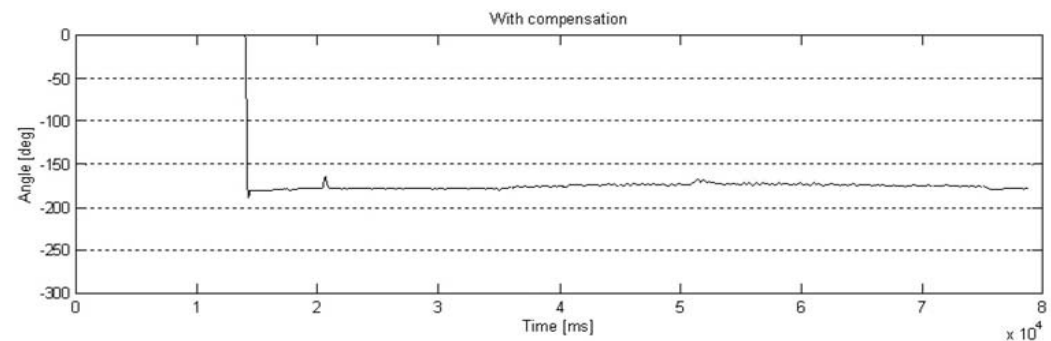
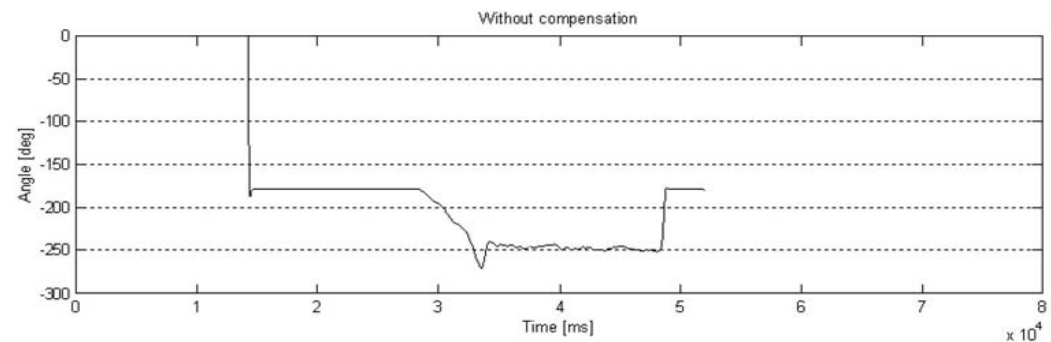
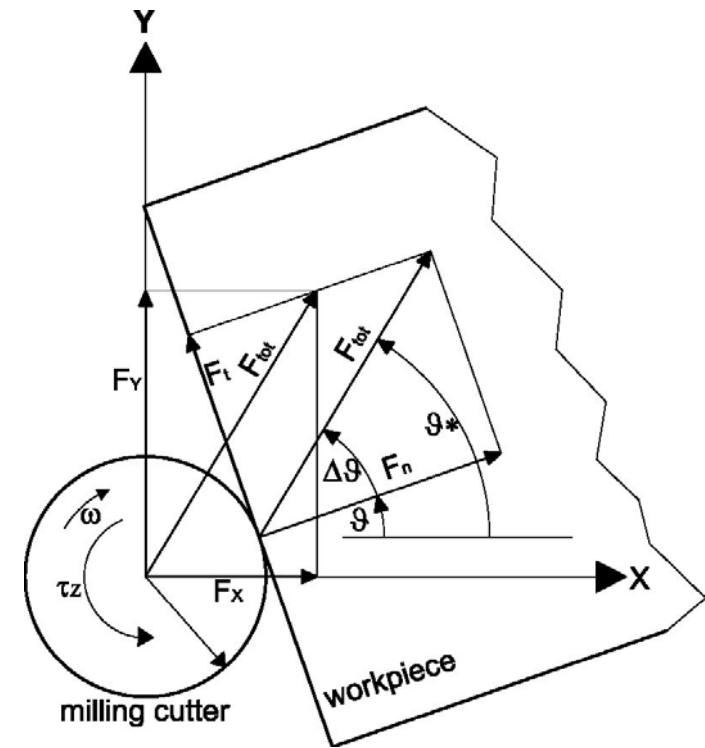
$$\mathcal{G} = \arctan 2(F_y, F_x)$$

Nuova

$$\mathcal{G} = \arctan 2(F_y, F_x) - \arcsin\left(\frac{F_t}{F_{tot}}\right)$$

$$F_t = \frac{\tau_z}{r}$$

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



**Senza  
compensazione**

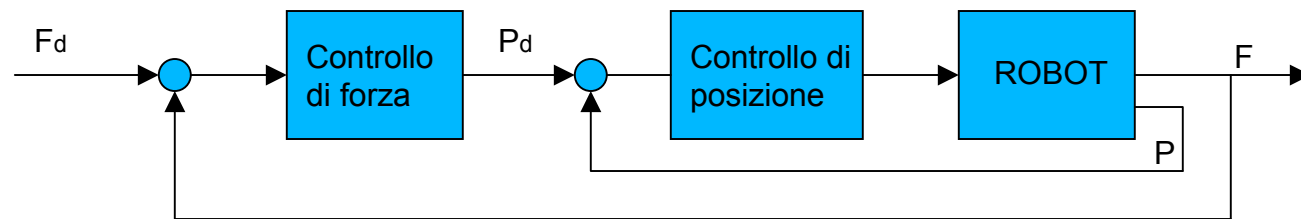
**Con  
compensazione**

# Eliminazione di bave da presso colata



# Sviluppi futuri

Sviluppo e studio del controllo di forza con anello interno di posizione



Generalizzazione ed estensione del gain scheduling ad altri manipolatori.



Utilizzo del ILC per il contour tracking

