

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione ed Elettrica e  
Matematica Applicata



## Abstract

Tesi di Laurea Magistrale  
in  
INGEGNERIA INFORMATICA

Controllo Decentralizzato di  
manipolatori cooperanti in presenza  
di operatori umani

**Relatore**

Prof. Alessandro Marino

**Candidato**

Ines Sorrentino

Matr. 0622700419

**Correlatore**

Prof. Pasquale Chiacchio

Anno Accademico 2016/2017

# Abstract

La robotica è oggi una realtà sempre più vicina alla nostra vita quotidiana, al punto che diventano sempre più numerosi i compiti che i robot possono svolgere in totale autonomia. Mentre fino a pochi anni fa i robot erano impiegati nella fabbrica automatica, fisicamente separati dall'uomo, oggi assistiamo a tutta una serie di innovazioni grazie alle quali i robot sono in grado di cooperare con l'uomo e capaci di operare in maniera sicura per essi stessi e per le persone o le cose che li circondano, anche in ambienti incerti, utilizzando sensori e algoritmi avanzati. La condivisione degli spazi tra uomo e robot, e in una certa misura anche la collaborazione nello svolgimento di sequenze di operazioni, è considerato uno degli obiettivi più importanti della fabbrica del futuro. Inoltre l'attuale trasformazione industriale, nota come Industry 4.0, pone una sostanziale attenzione oltre all'interazione uomo-robot, anche alle architetture robotiche decentralizzate con lo scopo di aumentare flessibilità, velocità, produttività e qualità dei processi produttivi. Infatti tale rivoluzione prevede che la fabbrica non sia progettata per svolgere un determinato insieme di attività in modo continuo e statico, ma che questa e i robot al suo interno, si adattino al tipo di produzione attuale, ovvero al prodotto che in un determinato istante si chiede di realizzare. Questo significa che i robot devono essere dinamici e non programmati staticamente, devono saper infatti svolgere task di diversa tipologia, devono saper collaborare e coordinarsi con altri robot e considerando team composti da un diverso numero di robot per applicazione e devono sapersi muovere all'interno di ambienti non noti in partenza. Tutto questo è reso più semplice dall'utilizzo di un'architettura decentralizzata, in quanto si ottengono vantaggi. Ad esempio non è necessario che un robot conosca lo stato di tutti gli altri all'interno della fabbrica, ma solo

lo stato del team con cui sta cooperando. Questo rende inutile connettere tutti i robot ad un'unità centrale potendo evitare così di dover realizzare un'infrastruttura di comunicazione onerosa. Inoltre un'architettura decentralizzata presenta, complessivamente, un notevole vantaggio in termini di scalabilità e robustezza ai guasti rispetto al caso centralizzato. Al fine di ottenere un'architettura decentralizzata è necessario che ogni robot operi in modo indipendente sfruttando informazioni disponibili localmente e acquisite attraverso i propri sensori.

Questo lavoro di tesi ha avuto appunto lo scopo di progettare e sviluppare un'architettura che garantisca la sicurezza degli operatori umani in scenari multi-robot decentralizzati. Lo scenario analizzato prevede pertanto la coesistenza di robot Comau Smart-Six che svolgono task cooperativi sulla base di un'architettura decentralizzata, e un robot UR10 di supervisione il quale ha il ruolo di visionare la cella per rilevare la presenza di operatori umani e dunque garantire la loro sicurezza modificando il proprio comportamento e quello dei robot cooperanti mantenendo sempre una certa distanza di sicurezza tra esso stesso, l'oggetto trasportato e l'operatore umano. Infatti anche se non avviene stretta collaborazione, ovvero robot e operatore svolgono lavori differenti, può succedere che questi siano presenti contemporaneamente all'interno della stessa cella di lavoro, potendosi influenzare ed ostacolare a vicenda. Si adotta un'architettura decentralizzata in quanto essa consente di realizzare un comportamento globale utilizzando unicamente informazioni parziali, ossia ciascun robot si basa solo sulle informazioni del proprio stato (ottenute mediante sensoristica on board) e sulle informazioni ottenute dai robot vicini. Lo scenario descritto è stato messo in piedi nel Laboratorio di Automatica dell'Università degli Studi di Salerno.

Nella soluzione proposta riguardante i robot cooperanti, ogni robot implementa un'architettura multi-livello composta da: un primo livello che ha il ruolo di osservatore globale ed ha come scopo quello di stimare lo stato globale del sistema ed un secondo livello che sulla base della stima del livello superiore determina la legge di controllo locale per portare a termine il task globale desiderato. In questo modo il secondo livello si comporta come se l'architettura fosse centralizzata perché ha a

disposizione tutte le informazioni riguardanti il resto del sistema di cui fa parte in quanto esse sono state stimate. Inoltre si pone il problema che nell'utilizzo di robot reali il modello dinamico di essi non è mai perfettamente noto, quindi viene introdotta una componente di adattamento per compensare l'incertezza. La soluzione proposta è valida per due differenti tipologie di applicazione: compiti di puro coordinamento tra robot e manipolazione di oggetti flessibili in cui le forze di interazione non sono eccessive. Per la manipolazione di oggetti rigidi in cui è necessario controllare le forze di interazione tra robot e oggetto, si è modificata la legge di controllo relativa al secondo livello dell'architettura, al fine di tenere in considerazione tali forze.

Il robot UR10 come detto in precedenza, deve invece supervisionare la cella di lavoro in cui sono collocati i robot Comau per svolgere il proprio task cooperativo. Per fare questo assume due diversi comportamenti. In primo luogo esegue una fase di ricerca finché una persona non viene identificata. Questa fase prevede che il robot si sposti in vari punti dello spazio per inquadrare ogni parte della cella attraverso pianificazioni di traiettorie spazio operativo e attraverso la loro inversione cinematica. Non appena una persona viene individuata il comportamento del robot cambia, in quanto inizia ad inseguirla in posizione ed orientamento. Tutto questo avviene attraverso una pianificazione online del moto spazio operativo e la sua inversione. Lo scopo è mantenere la persona sempre a centro immagine (immagine catturata dalla kinect montata sull'ultimo giunto del robot) e mantenere il robot sempre ad una certa distanza dalla persona in modo da garantirne la sicurezza. In questa fase l'UR10 ha un ulteriore compito, che è quello di modificare il task che stanno svolgendo i robot cooperanti nel caso in cui la persona si avvicini troppo all'oggetto che essi stanno trasportando. Questo fa sì che anche tra l'oggetto trasportato e la persona siano mantenuti sempre ad una certa distanza di sicurezza.

Il lavoro presentato può essere ulteriormente ampliato sia per quanto riguarda l'architettura di controllo che lo scenario di interazione uomo-robot. Infatti si può pensare di testare più applicazioni e di diverso genere, di considerare all'interno del team, per la cooperazione, robot eterogenei. Diventa importante inoltre testare

tutte queste applicazioni non solo in ambiente simulativo ma anche reale. Si può pensare anche di implementare meccanismi per garantire la robustezza ai guasti.

Sarebbe interessante poi per l'interazione uomo-robot gestire situazioni differenti da quella analizzata. Ad esempio si può considerare una collaborazione tra operatori e robot per permettere ad essi di lavorare mantenendo una distanza anche nulla. Si può pensare ancora di considerare scenari più ampi con più robot supervisori e più operatori umani.

Ancora un'altra possibile applicazione potrebbe essere quella di considerare l'uomo appartenente al team cooperante per portare ad esempio a termine un task di formazione considerando un'architettura di tipo leader-follower in cui l'uomo assumerebbe il ruolo di leader. Con questo scenario si avrebbe una variazione in tempo reale del task in quanto i comportamenti dell'uomo non sono pianificabili e dunque diventa necessario considerare algoritmi per la stima del task da parte dei restanti componenti del team, ovvero i follower.