

## Robotica Industriale:

### Introduzione:

Il termine robotica industriale viene spesso usato per indicare macchine in grado di eseguire un compito in modo automatico. A prima vista può sembrare allora che tutte le macchine in grado di eseguire un singolo compito diverse volte possano essere considerati dei robot; la differenza rispetto ad un dispositivo automatico risiede nel fatto che un robot, in particolare quello destinato ad applicazioni industriali, può essere modificato in base ai compiti da svolgere e ai cambiamenti dell'ambiente, cambiando un software o alcune schede elettroniche e non l'intera macchina. Ne scaturisce che una caratteristica comune dei robot industriali è la versatilità e la possibilità di impiego in diverse situazioni.

Il robot più tipicamente usato nella robotica industriale è il manipolatore che permette di eseguire dai semplici compiti di saldatura a compiti più complessi come la verniciatura in cui è necessario seguire i contorni di un oggetto. L'ISO, cioè l'organizzazione per gli standard internazionali, ha dato una definizione ben precisa di cosa si intende per manipolatore industriale; questo è una macchina multifunzionale, controllata automaticamente, riprogrammabile, composta da una serie di segmenti uniti da giunti con diversi gradi di libertà, adatta a prendere e/o muovere oggetti e consiste in una catena cinematica aperta che collega la base con la mano, atta ad afferrare gli oggetti o a contenere dispositivi come un saldatore o un cacciavite. Gli aspetti teorici dei robot industriali sono stati studiati da Denavit ed Hartenberg, che nel 1955 hanno definito un modello cinematico comune a tutti i manipolatori mediante opportuni parametri, quali lunghezze dei link e angoli dei giunti, mediante i quali era possibile costruire matrici per il calcolo dei movimenti di bracci meccanici. Questo avrebbe aperto la strada a metodi di calcolo della traiettoria facilmente implementabili su calcolatori. L'uso dei manipolatori industriali è cambiato con il passare del tempo e con l'evoluzione dell'automazione. I primi esempi applicativi risalgono agli anni 60 grazie alla Unimation, un'azienda che progettò il primo robot manipolatore adatto per la saldatura a punti. Fino agli anni 70 però, la scarsa realizzazione di questi robot era dovuta anche al fatto che erano idraulici e difettavano in accuratezza. Un passo in avanti fu la progettazione dei robot Stanford Arm da parte dell'università di Stanford e PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly) da parte della Unimation, che costruirono robot completamente elettrici più evoluti dei modelli precedenti. In questi anni si comincia a pensare al robot industriale come ad un possibile sostituto dell'operaio nello svolgimento di compiti ripetitivi e relativamente semplici. Nel 1976 infatti, il costo orario di un addetto diviene superiore a quello di un robot adibito allo stesso compito. Gli anni 80 hanno visto un rapido sviluppo della robotica industriale grazie anche a nuovi modelli di manipolatori come SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), un robot di brevetto giapponese creato per l'assemblaggio industriale ed estremamente rapido nei compiti di pick&place (dove per pick&place si intende il movimento standard di presa di un oggetto da una posizione A, spostamento in una posizione B e viceversa con A e B distanti 12 pollici). In questi anni si comincia a capire che il robot come sostituto all'uomo in certe applicazioni diventa vantaggioso per tutti dato che può essere impiegato nei compiti molto ripetitivi, pesanti e pericolosi in cui l'addetto può comandare il robot a distanza (ambienti inaccessibili,

manipolazione di sostanze tossiche, ambienti a rischio...). Negli anni 90, con la progettazione di sensori di forza, di visione e tattili, il robot industriale viene visto come uno strumento ormai insostituibile per il controllo di qualità totale (cioè su tutti i pezzi e non più a campione), per la manipolazione di oggetti delicati (come gli oggetti in vetro) e per lavori di precisione come la rifinitura dei pezzi, cioè per compiti impossibili o difficili da eseguire in tempi brevi da un essere umano.

### **Parametri di bontà dei robot industriali:**

Tutti i robot industriali, manipolatori e non, hanno alcune caratteristiche che permettono di confrontarli con altri simili per poter scegliere quello che più si adatta all'esecuzione di particolari task. Il primo parametro che si prende in esame è la accuratezza, che viene definita come la differenza tra la posizione comandata e quella effettivamente raggiunta a fine movimento. E' tanto più importante quanto sono più piccole le tolleranze e deve essere valutata attentamente nella fase di studio di fattibilità. Un parametro collegato a questo è la ripetibilità, che indica la variazione tra le posizioni raggiunte mandando, ciclo dopo ciclo, lo stesso comando al controllore. Un altro parametro rilevante è la risoluzione spaziale, cioè la distanza minima che può essere comandata o rilevata. Se il robot deve poter trasportare oggetti di un certo peso è molto importante definire il massimo peso che può essere trasportato a velocità ridotta, mantenendo la accuratezza. Può anche essere rilevante sapere la massima velocità con cui un robot può muovere le ruote (nel caso di robot mobili) o il braccio (nel caso di manipolatori). In quest'ultimo caso è interessante calcolare il tempo di ciclo, cioè il tempo necessario al manipolatore per eseguire un ciclo pick&place standard o un altro task periodico.

### **Traiettorie e applicazioni:**

I parametri appena descritti possono avere buoni valori anche se il robot in esame non ha un elevato grado di complessità. Quest'ultimo può essere un buon parametro per determinare qual è il manipolatore più adatto ad una certa applicazione. La complessità di un robot è spesso legata al tipo di traiettoria che questo deve inseguire. Se devono essere eseguiti solo dei comandi di tipo ON/OFF si è nel caso di una traiettoria STOP-TO-STOP: se si comanda ON il manipolatore compie l'intera corsa fino al punto di bloccaggio e si ferma; con OFF la traiettoria viene eseguita a ritroso fino al punto di partenza. Questo tipo di robot ha solo un controllo in anello aperto dato che non ha alcun feedback dall'ambiente, né sensori in grado di rilevare informazioni dall'esterno. Tale robot anche se assai semplice è molto usato per compiti di pick&place dato che non richiede particolari conoscenze informatiche da parte del personale addetto, né complesse unità di elaborazione. Un'altra traiettoria possibile è quella di tipo POINT-TO-POINT, che permette di memorizzare le posizioni iniziale e finale di corsa, oltre ad una serie di posizioni di passaggio intermedie. Il controllore provvede a raggiungere i diversi punti in sequenza portando le variabili di giunto ai valori desiderati. Questo tipo di traiettoria è quella che solitamente viene usata per il pick&place in cui è necessario forzare il passaggio per alcuni punti intermedi, al fine, ad esempio, di evitare ostacoli (carico/scarico di mezzi di trasporto, avvvitamento, cablaggio). In questo caso il sistema di controllo della traiettoria è ancora molto semplice e non permette di scegliere il cammino tra un punto ed il successivo, che solitamente è una linea retta. Per questo

motivo una traiettoria controllata è quella che si vorrebbe avere per compiti in cui è importante avere le configurazioni dei giunti in ogni punto: questo richiede il calcolo della traiettoria in tempo reale ma ha bisogno di notevole potenza di elaborazione; si può pensare ad una generazione off-line della traiettoria ma questo non permette la gestione di ostacoli ed imprevisti, che sarebbe invece possibile con un calcolo a real time. Alcune versioni della traiettoria controllata sono disponibili su robot per operazioni di assemblaggio e saldatura ad arco ma la generazione on-line di queste traiettorie è ancora ambito di ricerca. Un modo semplice per far compiere al robot traiettorie complesse e continue senza un controllore altrettanto sofisticato è il seguente: si fa compiere al robot il movimento voluto, o manualmente, o con un teach box e si memorizzano le posizioni con un campionamento sufficientemente fitto. A questo punto il robot non fa altro che ripetere le posizioni memorizzate, ottenendo una traiettoria fluida e senza interruzioni come nel caso di una generazione point-to-point. Questo tipo di traiettoria è ancora insostituibile nei compiti in cui si deve inseguire il contorno, come nel caso di verniciatura o pulitura di un oggetto.

### **Esecuzione di compiti in sequenza: programmazione del robot**

Quando è necessario far eseguire al manipolatore diversi compiti da eseguire in sequenza, non si vogliono definire le nuove posizioni per ogni singolo task; è necessario allora disporre di un linguaggio di programmazione con cui istruire il robot per tutti i compiti successivi da eseguire; esistono diversi livelli di interazione con il robot a seconda del tipo di linguaggio considerato; al livello task si definisce il compito tramite linguaggio naturale (muovi A su B); questo presuppone la presenza di un interprete molto potente (un unità di elaborazione tra l'addetto e il robot) in grado di tradurre il linguaggio ad alto livello con istruzioni comprensibili dal manipolatore (livello dei giunti); se è necessario avere un modello degli oggetti e dell'ambiente in cui si sta operando è possibile impartire comandi a livello oggetto (metti il cubo A sopra il ripiano B). Questo può essere comodo se si hanno diversi oggetti da manipolare e ogni oggetto possiede caratteristiche diverse. Ad un grado di interazione ancora più basso c'è il livello manipolatore: è necessario usarlo quando si devono definire i task in modo preciso (apri le dita di 3 cm); il controllo più fine lo si ha con il livello giunti (sposta il giunto 1 di 45 gradi) ed è quello che garantisce maggior controllo sull'esecuzione del task. È preferibile un livello ad un altro a seconda del grado di dettaglio con cui si vogliono impartire comandi al manipolatore. Nei compiti di semplice spostamento di oggetti, è più comodo usare il livello task o oggetto, se invece si devono compiere movimenti molto precisi, in cui tutte le operazioni devono essere molto dettagliate, è conveniente usare il livello giunti o il livello manipolatore. Spesso è necessario disporre di un linguaggio di programmazione in cui sia disponibile più di un livello. Se si pensa ad un robot a ruote in grado di pulire un ambiente, ci si rende subito conto che questo deve essere sia comandato a livello giunti per definire, ad esempio, la velocità o l'angolazione delle ruote in determinate situazioni, che a livello task o oggetto in cui si specificano gli oggetti presenti nell'ambiente.

**Applicazioni industriali di interesse:**

Già quando si è parlato delle traiettorie abbiamo visto alcuni esempi di applicazioni possibili per i robot industriali, a partire dalla complessità della traiettoria considerata. Le case produttrici di robot progettano modelli adatti a diversi scopi; vista la massiccia produzione di hardware per computer, un'applicazione di importanza fondamentale è l'assemblaggio di componenti per elaboratori: assemblaggio di circuiti di memoria, di schede madri, di chip e delle diverse parti per ottenere il prodotto finito. L'uso di robot per assemblare questi oggetti è diventato ormai insostituibile data l'alta precisione richiesta e la velocità per garantire elevata produzione. Nel settore automobilistico altrettanto importante è l'assemblaggio di motori o delle parti componenti un'automobile, in cui avere robot in grado di operare in parallelo sugli stessi oggetti significa velocizzare il processo produttivo con minime probabilità di errore. Altrettanto importanti in ambito industriale sono i robot adibiti alla pulizia di oggetti, che possono trovarsi in ambienti pericolosi per l'uomo, oppure essere particolarmente delicati e quindi solo l'impiego un robot può evitare il contatto tra componenti elettriche e materiali detergenti in modo sistematico. Un'altra applicazione critica in industria è lo spostamento di oggetti; non sempre infatti questo può essere fatto agilmente da essere umani, dato che può trattarsi di materiale particolarmente pesante o tossico (grosse casse, acidi, esplosivi...). Associando robot di questo tipo a sistemi di imballaggio automatico e nastri trasportatori adatti, si possono eseguire le operazioni di spostamento in modo sicuro sia per le persone addette, che per gli oggetti manipolati.

**Necessità dell'impiego dei robot:**

La robotica industriale è cambiata nel corso degli anni: dopo essere stato pensato come rivale dell'uomo, il robot è arrivato ad essere insostituibile nei compiti giudicati troppo rischiosi per l'operaio o per cui la accuratezza richiesta era troppo elevata; inoltre un'elevata produttività significa avere ritmi di produzione che, senza l'ausilio di robot, sarebbero impensabili. L'introduzione di questi ultimi ha rivoluzionato la produzione modificando anche il ruolo degli operatori umani, che hanno così evitato di essere impiegati in compiti pericolosi e ripetitivi, elevando il loro compito di semplici esecutori, a supervisor e decisorie delle operazioni effettuabili in modo automatico.