
ROBOTICA INDUSTRIALE E INTELLIGENZA ARTIFICIALE



RI

Struttura di un robot industriale

La maggioranza di noi ha pensato qualche volta ad un robot ideale: un robot che assomigli a noi, che ci aiuti nelle nostre faccende, ci accompagni nei nostri giochi...., in definitiva una macchina a somiglianza dell'uomo.

Invece i robot che si utilizzano ai nostri giorni non hanno sembianze umane, servono come aiuto all'industria per far fronte alla necessità di aumentare la produttività, e migliorare la qualità dei prodotti oltre che a ridurre i costi, rendendo obsoleta l'automazione industriale rigida. Sono molto utili anche per lavori in ambienti pericolosi, come quelli dove la temperatura è molto elevata o vi sia presenza di sostanze tossiche. Si

tratta di un tipo di automazione molto flessibile, adattabile all'ambiente e di facile utilizzo. Così nasce il "manipolatore programmabile" di George Devol, nel 1956. A poco a poco l'immagine e le caratteristiche del primo robot si trasformarono, così come le forme di controllo, che sono passate dalle forme di controllo tramite computer sino ai moderni microprocessori e microcontrollori. Si calcola che attualmente ne esistano, su scala mondiale, più di un milione di unità, utilizzate in differenti settori.

CARATTERISTICHE DEI ROBOT INDUSTRIALI

Anche se non tutti i robot possiedono le seguenti caratteristiche al completo, quello che definisce un robot industriale si può riassumere nei punti riportati nella figura:

Ha una struttura a forma di braccio meccanico.

Si può adattare a differenti sistemi di presa o strumenti.

È una macchina che può eseguire diversi tipi di lavori.

È automatica.

È programmabile.

I più moderni prendono decisioni a seconda delle informazioni captate dal mondo esterno.

Caratteristiche principali di un robot industriale.



Robot industriale KUKA KR6/2.

Un robot industriale di solito ha l'aspetto di un braccio con diverse articolazioni, con un elemento terminale che è quello che normalmente realizza il lavoro. Questo elemento si può sostituire a seconda della funzione da realizzare. Normalmente il robot è integrato in un ambiente con altri robot, oltre a macchinari diversi ed ai relativi apparati di sicurezza, come mostrato nella fotografia, che è stata realizzata da INALI S.L. per il Laboratorio di Robotica e Sistemi di Produzione Integrati di ESIDE (Università di Deusto). Hanno un prezzo e una dimensione considerevoli.

Il loro funzionamento è gestito tramite un computer od un altro sistema di controllo che a seconda del programma o delle istruzioni che sta eseguendo, ordina un movimento o l'altro al robot. Questi controller inoltre sono incaricati di realizzare i calcoli necessari e di prendere le decisioni.

I robot di ultima generazione, hanno la capacità di acquisire i parametri esterni tramite dei sensori, e anche di prendere decisioni autonome, ad esempio, annullando un'operazione se rilevano che il pezzo che stavano movimentando si è spostato, oppure adattando il percorso ad una piattaforma di lavoro variabile. I programmi che governano questo tipo di robot sono quindi molto generali e ottimizzati, e non necessitano di regolazioni ogni volta che avviene un minimo cambiamento nell'ambiente.

Attualmente sono molte le applicazioni che si realizzano con l'aiuto dei robot, ad esempio il carico e lo scarico delle macchine utensili, oppure nei settori della stampa, fonderia, verniciatura, foratura, taglio ecc. però è l'industria automobilistica che assorbe il 60% del parco mondiale di robot per realizzare lavori che sino a poco tempo fa erano esclusiva competenza dell'uomo.

CLASSIFICAZIONE DEI ROBOT

Esistono differenti criteri per classificare i robot industriali, qui lo faremo in base alla complessità dei lavori che possono realizzare, il che comporta una maggiore o minore complessità della gestione. In base a questo possiamo dividere i robot nelle seguenti categorie:



Robot mentre sta prendendo un utensile.

- **Manipolatori:** sono sistemi per operazioni semplici e ripetitive. La sequenza dei passi può essere fissa, anche se è permesso variare alcune caratteristiche, è anche previsto che un operatore possa prendere il controllo del lavoro.
- **Robot di ripetizione o apprendimento:** sono quelli che apprendono una sequenza di movimenti, che in precedenza un operatore ha realizzato con l'aiuto di un controllo manuale, e la ripetono; questo è conosciuto come programma "gestuale".
- **Robot controllati dal computer:** dispongono di un linguaggio specifico, adattato al sistema, per realizzare i programmi che in seguito eseguirà il robot.
- **Robot intelligenti:** simili a tutti i precedenti però con la capacità di prendere decisioni che li adattano all'ambiente, dato che dispongono di sensori per la raccolta delle informazioni.
- **Micro-robot:** hanno un prezzo più accessibile, la struttura e il funzionamento sono simili ai precedenti, però il loro obiettivo è ben diverso. Hanno fini educativi, di intrattenimento o di ricerca.

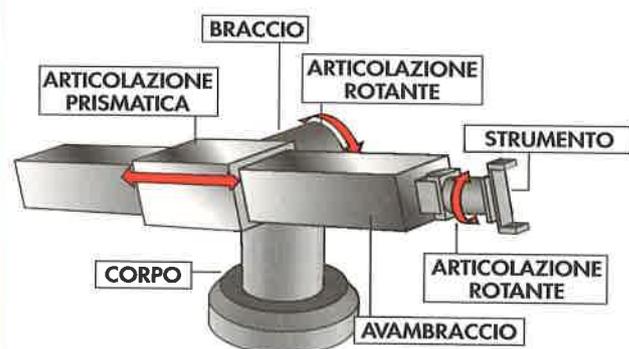


Fotografia di una consolle di programmazione.

Cinematica e posizionamento dei manipolatori



Robot Kuka KR6/2, mentre sposta un oggetto da un piedistallo ad un armadio.



Manipolatore con i suoi tre elementi principali uniti da articolazioni.

ri, gli assi di movimento per il posizionamento dell'elemento terminale, e la soluzione ai problemi diretto e inverso.

LA STRUTTURA MECCANICA

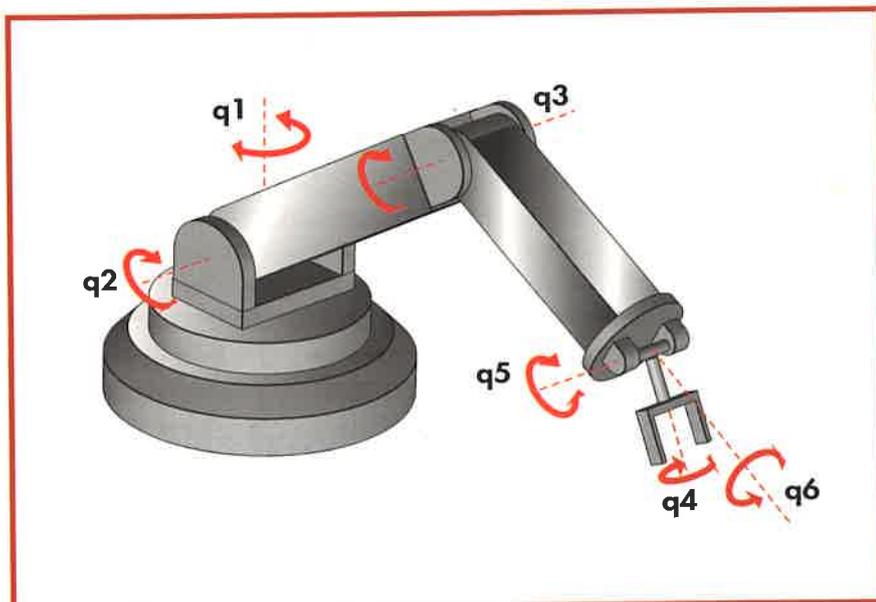
Per struttura meccanica si intende la struttura fisica del manipolatore e la relazione fra i suoi elementi. Normalmente un manipolatore è costituito da tre elementi, corpo, braccio e avambraccio, che sono collegati fra loro mediante delle articolazioni. Queste possono essere rotanti, quando il movimento permesso fra gli elementi collegati da questa articolazione è una rotazione, o prismatiche, quando è di traslazione. Al termine dell'avambraccio, in quello che sarebbe il polso del manipolatore, si montano i diversi strumenti, secondo il compito da svolgere.

GLI ASSI DI MOVIMENTO

Il numero degli elementi del braccio e delle articolazioni che li collegano, determinano gli assi di movimento del manipolatore, che saranno i movimenti indipendenti che posizionano la parte del braccio nello spazio e la

Il manipolatore è uno dei più comuni robot industriali. Come indica il suo nome, questo robot "manipola" gli oggetti per realizzare diversi compiti, quali spostarli da un posto all'altro, applicare dei punti di saldatura, forare, ecc. La cinematica applicata alla robotica analizza i problemi che derivano dal posizionamento degli elementi di un manipolatore, e fornisce soluzioni per questi problemi. Anche se la cinematica dei robot si basa su concetti di matematica avanzata, non è nostra intenzione approfondire qui questo tema, bensì fornire una visione generale, in modo da rendere l'argomento facilmente comprensibile, anche se non si possiedono grandi nozioni matematiche.

Nella cinematica dei robot si lavora con tre concetti fondamentali: la struttura meccanica dei manipolato-



Schema di un manipolatore con movimento su 6 assi.

posizione dell'elemento terminale. Il tipo di manipolatore impiegato più frequentemente nell'industria, ha tre assi di movimento nei suoi elementi e altri tre nel polso. I primi tre servono per posizionare lo strumento e gli altri tre per orientarlo nello spazio.

Un maggior numero di assi di movimento permette un aumento della flessibilità del posizionamento dell'elemento terminale, il quale può essere necessario per applicazioni industriali complesse, come quelle del

montaggio. Al contrario, in applicazioni semplici, può essere sufficiente un numero di movimenti più limitato, e pertanto con un minor numero di assi di movimento.

Secondo il sistema di coordinate scelto, si potrà realizzare una serie di movimenti oppure un'altra, quindi dovremo pensare al lavoro che dovrà svolgere il robot prima di scegliere il tipo di coordinate, in modo da poter realizzare tutti i movimenti che saranno necessari per quel determinato compito.

Il movimento degli elementi del manipolatore, così come il calcolo, l'elaborazione delle informazioni e le azioni da eseguire, sono regolate da un sistema chiamato controllore; questo sarà più o meno complesso a seconda dei parametri da governare.

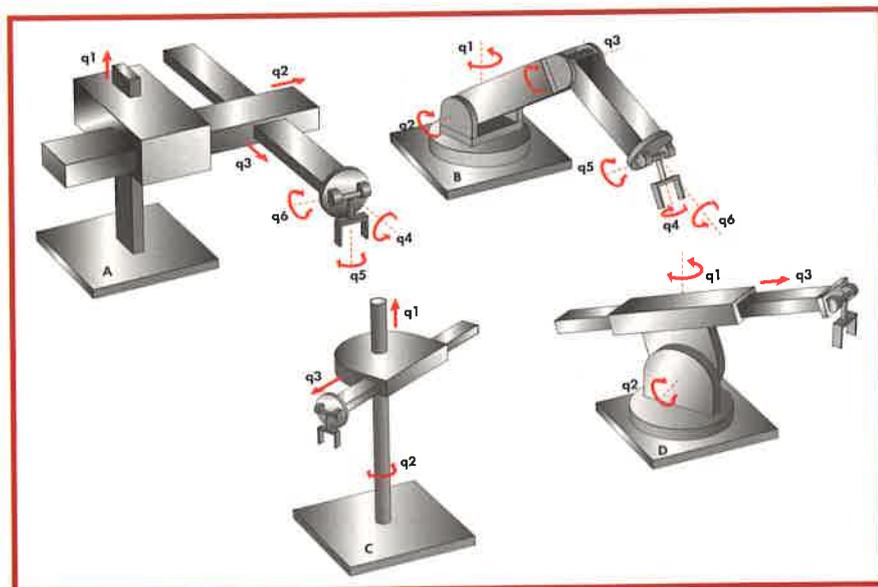
La posizione dell'elemento terminale sarà affidata al controllo cinematico, che dovrà fornire tutti i parametri necessari allo scopo, controllando anche le parti del braccio che sono collegate a questo elemento, decidendone sia la velocità che il tipo di movimento.

I PROBLEMI DIRETTO E INVERSO

Nel problema cinematico diretto si conoscono i parametri che definiscono gli assi di movimento, cioè la posizione delle articolazioni. Partendo da queste bisogna calcolare la posizione dell'elemento terminale.

Il problema cinematico inverso deve determinare le caratteristiche degli assi di movimento partendo dalla conoscenza della posizione dell'elemento terminale.

Per la soluzione dei problemi diretto e inverso, si utilizzano le regole trigonometriche, ed altre più complesse, comunque esatte, basate sui calcoli matriciali e sulle trasformate omogenee. Dopo aver calcolato gli algoritmi, è necessario implementarli in un linguaggio di programmazione, come il Basic o il Pascal o, perché no, l'assembler del PIC.



Sistema di coordinate cartesiane dei 4 tipi fondamentali di manipolatori: a) cartesiani, b) angolari, c) cilindrici, d) sferici.

Sistemi di controllo con microprocessore

Il controllo dei robot industriali ha percorso molte tappe. Dai primi computer, sino ai microprocessori e agli attuali microcontroller si è ottenuto di diminuire il prezzo del controller senza perdere né potenza né velocità nell'elaborazione dell'informazione. Normalmente abbiamo diversi di questi controller che lavorano in parallelo e si trasmettono i parametri. Il numero di controller e la loro potenza, dipende dalla complessità delle funzioni che devono realizzare.

Un robot è tanto più intelligente quanto più potrà adattarsi all'ambiente in cui lavora, senza aver bisogno di modificare il suo programma di controllo. Così, tenendo conto dei parametri esterni come velocità, posizione, accelerazione, ecc. si calcoleranno le azioni da fare eseguire al manipolatore.

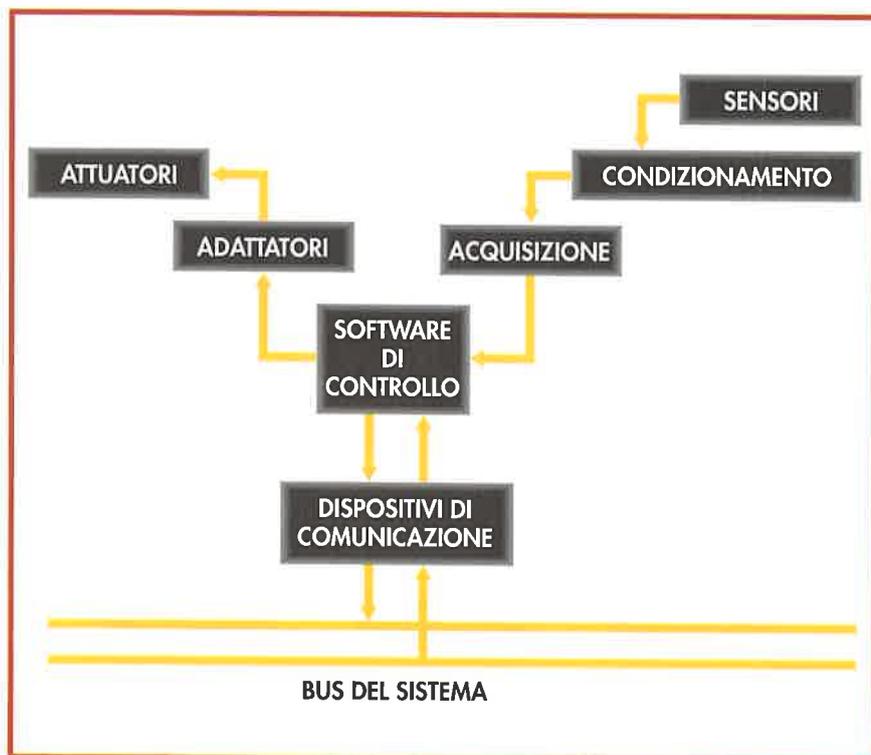
ELEMENTI DEL SISTEMA DI CONTROLLO

Tutti i moderni sistemi di controllo tramite computer richiedono alcuni elementi base per funzionare in modo intelligente, ad esempio i sensori con i relativi sistemi di acquisizione dei dati e di interfacciamento, il software di controllo, gli attuatori con i loro adattatori, e i dispositivi di comunicazione.

SENSORI, SISTEMI DI ACQUISIZIONE E CONDIZIONAMENTO

I sensori sono incaricati di tradurre le grandezze fisiche reali come la velocità o la pressione, in segnali elettrici normalizzati. È la prima presa di contatto del robot con l'esterno, il che, una volta tradotto e normalizzato, si trasforma in una decisione da eseguire.

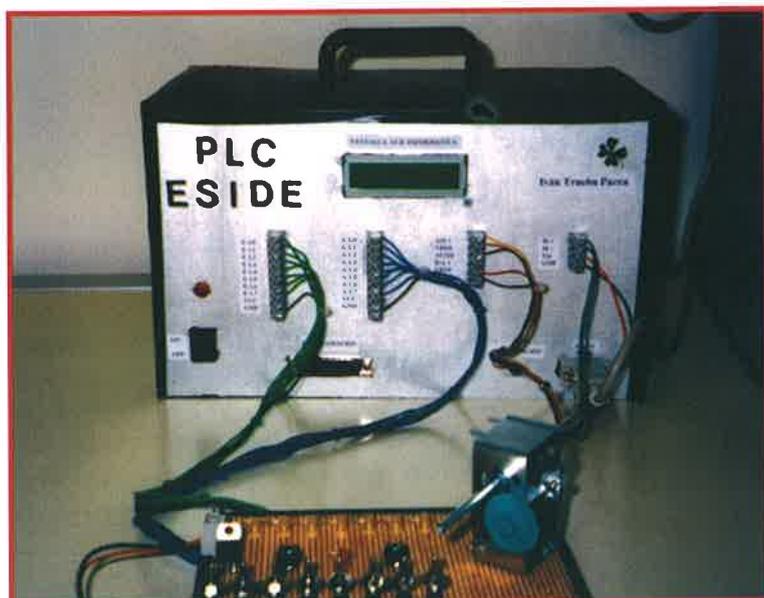
Prima di realizzare la traduzione di questi segnali, spesso è necessario un adattatore, che ad esempio amplifichi il segnale, lo filtri, o in definitiva lo adatti, per lo stadio successivo. Il sistema di acqui-



Schema degli elementi di un sistema di controllo con computer.



Sensore di pressione.

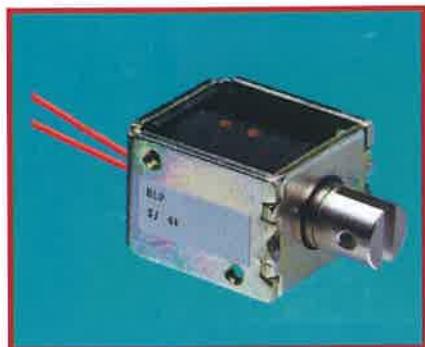


PLC costruito con microcontroller.

sizione dei dati, a volte, realizza anche questa funzione, oltre alla conversione del segnale, alla memorizzazione e alla visualizzazione. Alcuni di questi sistemi sono basati su personal computer dotati di schede specifiche, che eseguono le suddette funzioni; tuttavia questo non è l'unico metodo, esistono anche altri sistemi chiamati PLC che sono stati sviluppati in modo specifico per catturare segnali, sia analogici che digitali, ed elaborarli.

SOFTWARE DI CONTROLLO

I sistemi di acquisizione dati basati su piattaforme PC di solito si accompagnano con dei software di controllo. Questi software sono sempre più dotati di interfacce semplici da utilizzare, che permettono la realizzazione



Solenioide che si contrae e si espande a seconda del segnale fornito.

di applicazioni complesse in poco tempo, grazie anche alla facilità di comprensione dovuta ai nuovi linguaggi di programmazione visuale che possiedono. Così lo stesso PC si converte in visualizzatore di dati, presentando allarmi, anomalie, informazioni, ecc.

ATTUATORI E ADATTATORI

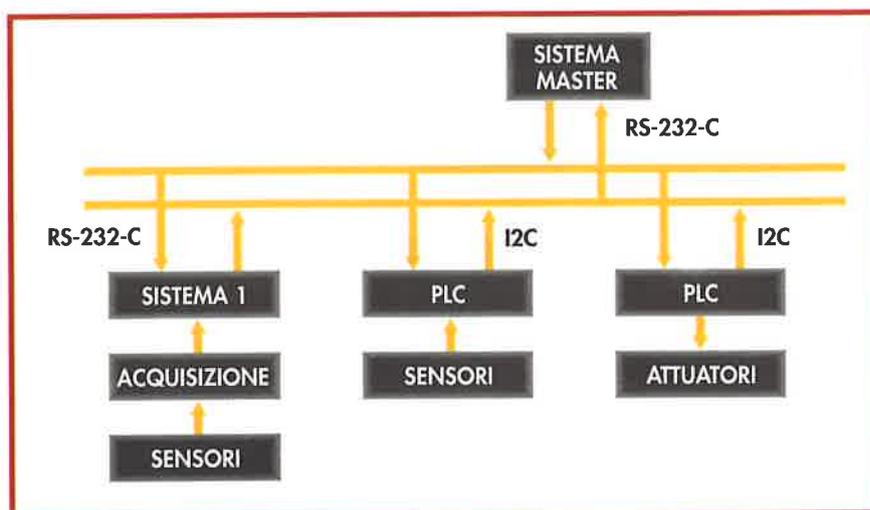
Dopo che il software ha determinato le azioni da realizzare, queste si trasmettono all'attuatore corrispondente, che a sua volta avrà bisogno di un adattamento precedente, come un relè o un driver. Si può aprire una valvola perché la pressione misurata è molto alta, o pilotare un dispositivo il cui movimento azioni qualche cosa, aumentare o diminuire una tensione, ecc.

DISPOSITIVI DI COMUNICAZIONE

A seconda dell'installazione che si vuole automatizzare, potrebbe essere sufficiente un solo sistema per il controllo del processo, oppure che vengano distribuite le funzioni su vari sistemi.

Ogni apparecchiatura potrà avere tutto il sistema di controllo ed essere indipendente, oppure contenere solo una parte del processo, come la cattura dei dati, l'elaborazione dei medesimi, la loro visualizzazione, l'attuazione sui dispositivi, ecc.

Normalmente questi sistemi sono in comunicazione fra di loro, i modi di comunicazione sono vari, dato che possono essere tramite le reti LAN, comunicazioni seriali secondo le norme RS-232-C, RS-485 o Bus I2C, comunicazione parallela, ecc.



La comunicazione fra sistemi è normale.

I suoni delle macchine

Come succede per i microrobot, anche i robot industriali si relazionano con l'ambiente esterno mediante i sensori e gli attuatori, questi ultimi normalmente come elemento terminale. Quante più informazioni potrà captare il sistema tanto più sarà adattabile, e si potrà basare su di esse per prendere le decisioni. I sensori più impiegati in robotica sono quelli che informano sulle grandezze tipiche dell'industria, ad esempio la vicinanza a un oggetto, la velocità, l'accelerazione, coppia e forza, temperatura, ecc. Tutti questi, in genere, sono semplici trasduttori di tipo optoelettronico, elettromeccanico oppure a ultrasuoni, anche se a volte ci interessa che il robot possa comunicare con sistemi di visione e suono.

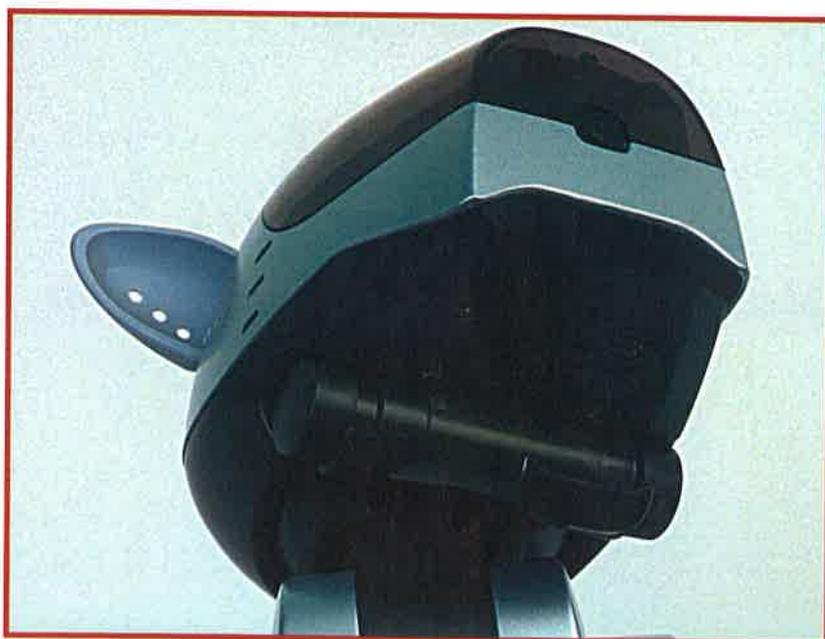
LA VOCE UMANA

I procedimenti per la sintesi della voce hanno due varianti: da una parte l'utilizzo di sistemi che, incorporati nelle macchine, avvisano di certi processi mediante la

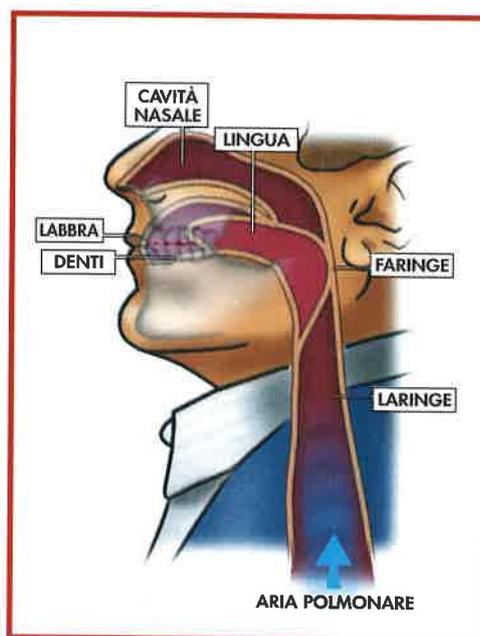
voce, e dall'altra il riconoscimento automatico della voce umana per pilotare le macchine con parole o frasi. In questa sezione tratteremo argomenti inerenti la prima parte.

Se analizziamo il modo in cui noi umani generiamo la voce, vedremo che, come esistono organi specifici per i sensi, come la vista, l'udito o il gusto, la voce utilizza differenti parti della nostra anatomia. Semplificando molto possiamo definire il suono come una corrente d'aria che esce dai polmoni. Sul suo cammino verso l'esterno, attraversa diverse pareti che la trasformano, così si ottengono i fonemi che combinati fra loro formano le parole, con le varianti dei diversi parametri, che fanno sì che una persona abbia la voce più acuta o più bassa di un'altra.

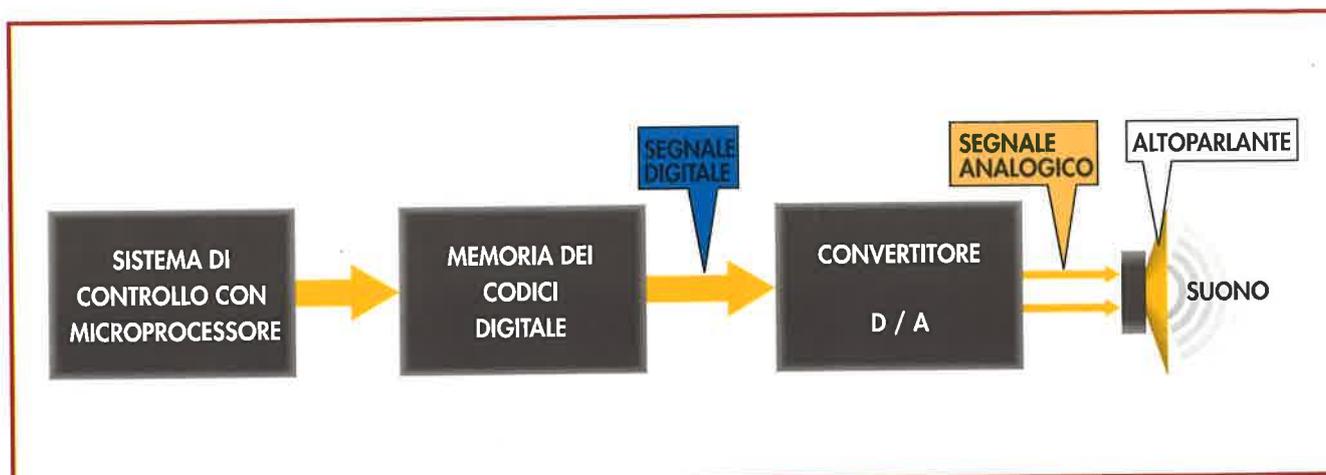
Nella figura in basso possiamo osservare gli elementi che intervengono nella produzione della voce. L'aria uscendo dai polmoni passa nella laringe, dove si trovano le corde vocali, che come dice il nome sono delle corde che vibrano al passaggio dell'aria, toccandosi fra



Mascotte di Sony che risponde agli ordini impartiti con la voce.



Parti che intervengono nell'emissione della voce.



Schema generale di un sintetizzatore di voce.

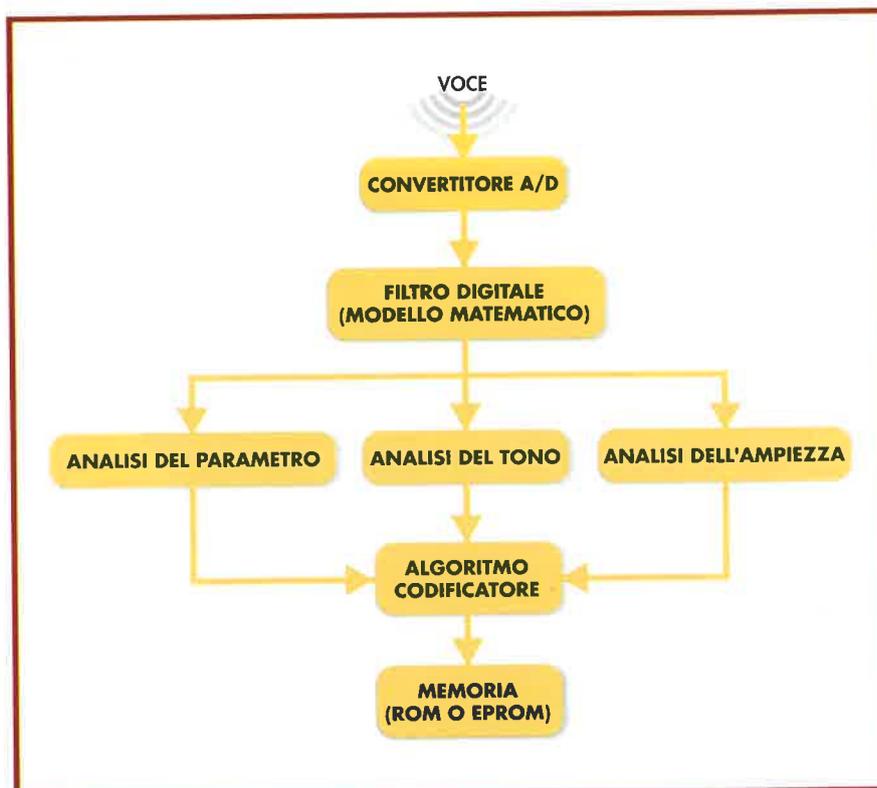
di loro e controllando la quantità e la velocità della medesima. La pressione esercitata su di esse determina la frequenza del suono, compreso fra 60 e 3.500 Hz. Come molti avranno notato, alcune volte la voce si fa più roca, se abbiamo parlato per molto tempo senza averle lubrificate. Dopo aver attraversato la faringe si incontra la cavità orale, dove ci sono la lingua e i denti, che sono in comunicazione con la cavità nasale. Le dimensioni di queste cavità, il movimento della lingua e delle labbra, o fattori variabili come un'eventuale costipazione, cambiano la frequenza di risonanza e i parametri propri della voce.

SINTESI DELLA VOCE

I sintetizzatori vocali sono circuiti elettronici utilizzati per riprodurre il più fedelmente possibile la voce umana. Di solito sono dotati di una memoria che contiene i codici digitali da riprodurre; tramite un microprocessore che controlla tutto il processo, i codici digitali sono trasformati in analogici, per uscire all'esterno tramite un altoparlante. A seconda del metodo impiegato nella codificazione del suono troveremo differenti sintetizzatori di maggiore o minore qualità. Si possono dividere in due grandi gruppi: codificatori del segnale sonoro, e codificatori basati sulla parametrizzazione del segnale sonoro. I primi si basano sulla codificazio-

ne del suono mediante il campionamento del segnale o fluttuazione del segnale sonoro, mentre i secondi ricostruiscono la voce tenendo conto dei parametri di altezza tonale, intensità, armoniche ecc. per cui risultano più complessi, però riproducono con molta fedeltà parole e musica.

Questi parametri sono calcolati e scritti in precedenza da un programma di analisi vocale.



Organigramma di un programma di analisi della voce per un sintetizzatore.

Visione artificiale

Se la possibilità per un robot di poter generare suoni può essere interessante in determinate applicazioni, il fatto di disporre di un sistema di visione per catturare immagini, elaborarle e in base ad esse prendere decisioni, apre ulteriori campi di applicazione alla robotica. La capacità di visione fornisce al robot la massima adattabilità all'ambiente rispetto agli altri sensori che può utilizzare.

DIFFICOLTÀ ESISTENTI

Pur tenendo conto dei vantaggi bisogna considerare quali sono i problemi che si possono creare, per vedere se l'applicazione trae realmente vantaggio dall'inserimento di questa tecnica. Il costo è il primo dei problemi, soprattutto se il prezzo del sistema supera in eccesso quello del robot per cui funziona. Data la so-

fisticazione dei sensori, anche il software di elaborazione dell'informazione raccolta sarà complesso; sono necessari sistemi potenti, sia per quanto riguarda la velocità di elaborazione sia per la capacità di memorizzazione, per fare in modo che le immagini siano elaborate in tempo reale e non si perda qualità; inoltre il sistema dovrebbe poter utilizzare l'esperienza acquisita durante le elaborazioni precedenti, ed eventuali immagini campione, per prendere le decisioni. Quando la visione artificiale si applica a microrobot a causa dei problemi precedenti e delle limitazioni dei microcontroller, di solito è un computer centrale che gestisce la telecamera, e si incarica dei calcoli. Ai problemi precedentemente citati si uniscono quelli inerenti all'elaborazione dell'immagine, come ombre, riflessi, cambi di illuminazione ecc.

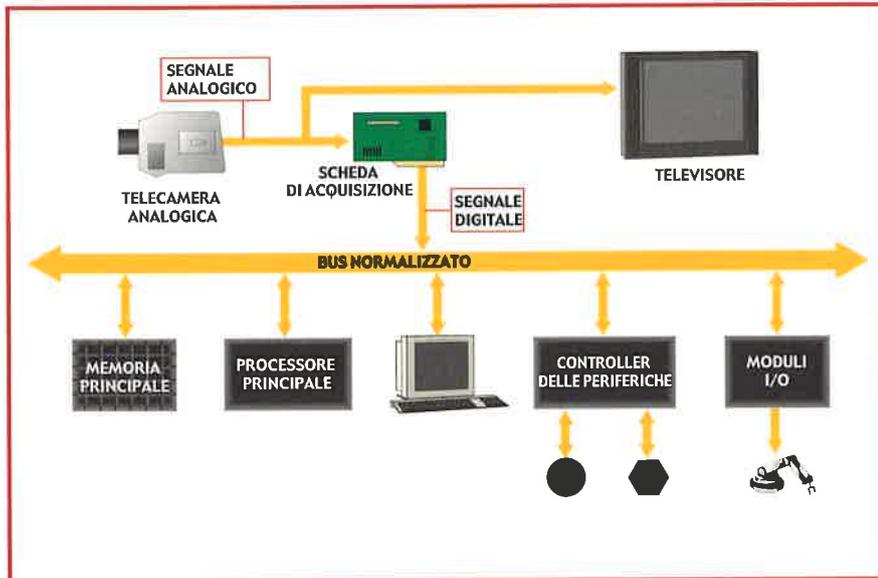


Quando la visione artificiale è applicata a microrobot di solito c'è un computer centrale che gestisce la telecamera e si incarica dei calcoli.

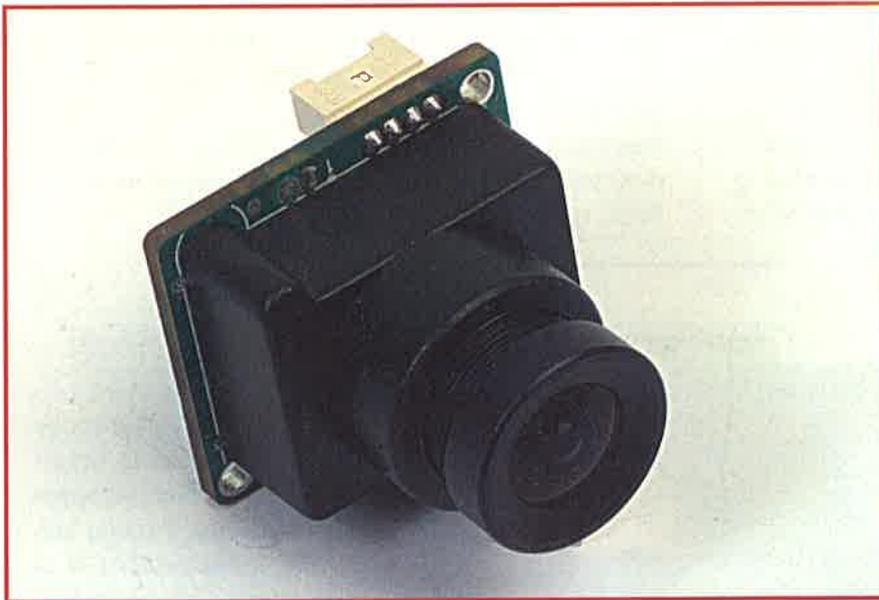
STRUTTURA GENERALE DI UN SISTEMA DI VISIONE

Per realizzare l'elaborazione dell'immagine, sono necessari sia elementi software che hardware. Il primo elemento indispensabile è la telecamera. Con il progredire della tecnologia, queste sono diventate sempre meno costose, e anche la loro dimensione si è ridotta notevolmente. Attualmente le possiamo classificare secondo il tipo di informazione che forniscono: digitale o analogica.

La telecamera analogica necessita di una scheda di acquisizione per trattare l'infor-



Elementi necessari per elaborare l'immagine.



Telecamera di tipo digitale.

mazione; questo trattamento può essere realizzato da uno o più processori. Inoltre sarà necessaria della memoria per immagazzinare dati e programmi, e moduli per il controllo delle periferiche. Attraverso i moduli di ingresso/uscita si pilotano elementi esterni come relè, allarmi, ecc. che servono anche per dare gli ordini finali al robot.

In genere l'informazione della telecamera si monitorizza tramite il video del computer o un televisore. Tutti questi moduli si collegano tra loro tramite bus normalizzati.

possibili informazioni precedenti, derivate dall'esperienza. Come ultimo passo, si dovrà trasmettere l'ordine o gli ordini di controllo al manipolatore.

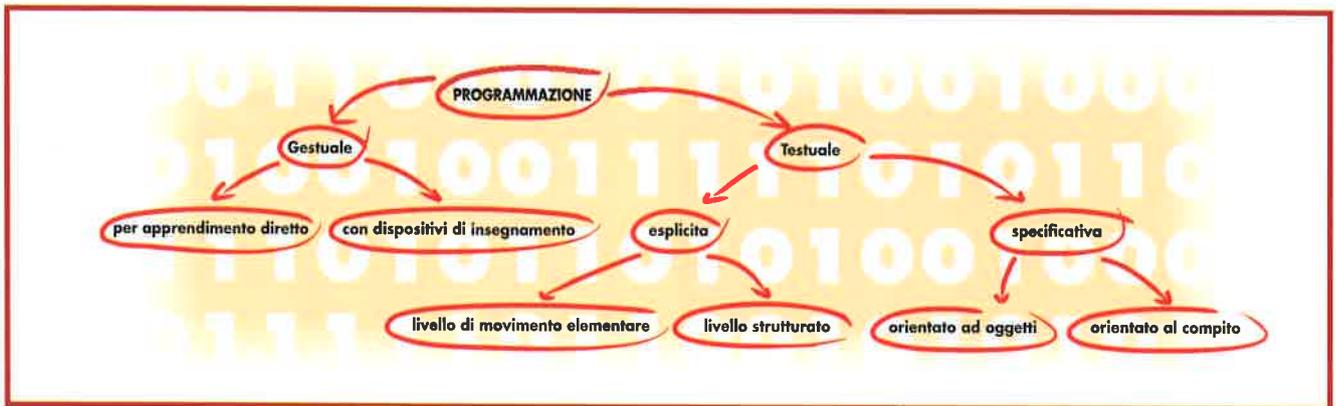
FASI DELL'ELABORAZIONE DELL'IMMAGINE

Ognuno degli elementi precedentemente descritti è incaricato di un compito diverso, essi sono strutturati in diverse fasi attraverso le quali passa l'immagine. La telecamera è incaricata di catturare l'immagine, quest'ultima, convertita in segnale elettrico tramite l'interfaccia, sarà trasmessa ad un computer. Il software del computer dovrà analizzare l'informazione ricevuta, il che implica discriminare fra l'informazione utile e quella superflua, dato che è impossibile tenere conto di tutte le informazioni, interpretare i dati a seconda delle applicazioni in corso, arrivare ad una o più decisioni in base a queste informazioni e, se fosse necessario, combinarle con le informazioni ricevute da altri sensori o



Fasi dell'elaborazione dell'immagine.

Linguaggi di programmazione dei robots



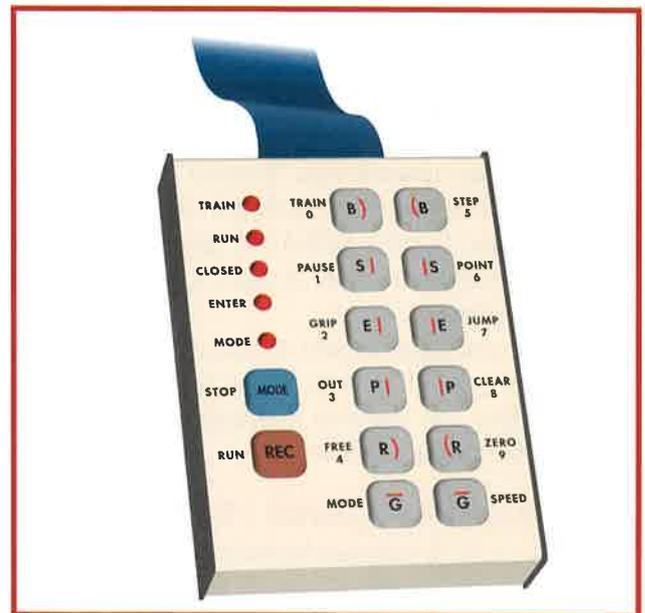
Classificazione della programmazione utilizzata in robotica.

Come in qualsiasi sistema informatico, anche nella robotica esiste un linguaggio che ci permette di fornire alla macchina le istruzioni per la sua gestione. Nella robotica però, è molto importante che questi ordini siano mirati ai lavori da realizzare, in modo che la loro sequenza non interferisca con il rendimento del robot. Per questo sono stati sviluppati linguaggi propri per la robotica, inclusi linguaggi dedicati a robot particolari, a seconda della struttura, del compito o dei sensori di questi.

LA PROGRAMMAZIONE GESTUALE

È anche conosciuta come programmazione diretta; in essa l'utente guida il braccio del robot direttamente lungo la traiettoria che si desidera fargli seguire. Mano a mano che si realizzano i passi, questi sono scritti in memoria, e in seguito il robot è capace di ripeterli. È necessaria la presenza del manipolatore durante le due fasi di lavoro: apprendimento e ripetizione. Questo tipo di programmazione si può realizzare in due modi, per apprendimento diretto o con l'aiuto di un dispositivo di insegnamento.

Nell'apprendimento diretto, si pilota il punto finale del braccio del manipolatore con l'aiuto di un dispositivo speciale, generando la traiettoria da realizzare, i punti di fermata, ecc. È sufficiente conoscere il lavoro da



Schema del dispositivo di insegnamento utilizzato per il robot Teachmover.

realizzare, e ci sono poche possibilità di modificare il software generato.

L'uso di un dispositivo di insegnamento amplia le possibilità, però è necessaria la conoscenza del dispositivo specifico. Si tratta di uno strumento con pulsanti,

```

10      OPEN
        MOVE RIPOSO
        WAIT 1
        WAIT -1
        IFSIG 2,, THEN 500
        GOSUB PEZZOA
        GOTO 510
500     GOSUB PEZZOB
510     DELAY 0.5
        CLOSE
        DELAY 0.5
        MOVE REPOSO
        APPR P2,100
        MOVES P2
        DELAY 0.5
        OPEN
        DELAY 0.5
        DEPARTS 100
        GOTO 10

Subroutine PEZZOA
        APPRO P1,100
        MOVES P1
        RETURN

Subroutine PEZZOB
        SHIFT P1 BY 150,0,0
        APPRO P1,100
        MOVES P1
        SHIFT P1 BY -150,0,0
        RETURN

```

Programma esempio per il robot PUMA MK2 560.

indicatori, assi girevoli tipo "joystick", inclusi display LCD... che l'utente deve maneggiare per dare ordini al manipolatore. Di solito ha funzioni speciali, come generazione di ritardi, variazioni di velocità, scrittura del programma realizzato, ecc.

Come contropartita alla semplicità di programmazione con questi linguaggi, c'è la poca adattabilità al mezzo, dato che ripetono le sequenze apprese senza tener conto dei fattori esterni.

LA PROGRAMMAZIONE TESTUALE

È un altro tipo di programmazione dove, come in quella gestuale, è necessario specificare le azioni da fare realizzare al robot, però non è necessario che questo sia presente durante l'elaborazione del programma. Questo tipo di programmazione si utilizza quando sono necessari calcoli più esatti, e pertanto più complessi di quelli che si facevano con un posizionamento "a occhio", o quando la comunicazione con l'ambiente è importante. I programmi diventano così più complessi, con l'utilizzo di data base, salti condizionati, moduli intercambiabili, ecc.

All'interno della programmazione testuale troviamo due grandi gruppi: la programmazione testuale esplicita e la programmazione testuale specificativa.

La prima è la più simile alla programmazione gestuale, dato che, anche se il programma è scritto, deve essere definito punto a punto, e istruzione per istruzione, quello che il robot dovrà fare. Questa programmazione può avere un livello di movimentazione elementare, quando si vogliono controllare solo i movimenti del manipolatore, o un livello strutturato, quando mette in relazione il sistema del robot con gli oggetti e la trasformazione degli stessi, il che rende il più comprensibile il programma, però esige un certo livello di conoscenza. La programmazione testuale specificativa è simile a quella che nell'ambiente dei programmatori è conosciuta come linguaggio a oggetti. Si definiscono una serie di oggetti, le loro caratteristiche e quello che si vuole fare su di essi, oltre al modello dell'ambiente in cui andrà a lavorare il robot. Inoltre bisogna descrivere il lavoro da realizzare. Il modello può essere orientato agli oggetti, e il linguaggio lavorerà con essi direttamente e stabilirà relazioni fra essi o orientate agli obiettivi, cioè definendo il prodotto finale da ottenere.

CARATTERISTICHE DI UN LINGUAGGIO IDEALE PER LA ROBOTICA

Anche se ogni linguaggio applicato ai robot ha delle caratteristiche specifiche che lo rendono idoneo a un ambiente o a una situazione determinata, nella lista della figura abbiamo copiato le caratteristiche di un linguaggio ideale.

Le prime sei furono enunciate come quelle basilari, però la necessità di nuove funzionalità ci ha indotti ad ampliarle con le ultime quattro.

Chiarezza e semplicità

Chiarezza delle istruzioni del programma

Semplicità di applicazione

Facilità di espansione

Facilità di modifica e manutenzione

Efficacia

Trasportabilità a qualsiasi impianto

Adattabilità ai sensori

Possibilità di descrizione degli strumenti del manipolatore

Interazione con altri sistemi

Caratteristiche del linguaggio ideale per robotica.

Introduzione all'intelligenza artificiale

L'uomo ha sempre pensato che esistessero altre forme intelligenti nella galassia. Il desiderio di incontrarle e di capirle, lo ha portato a ideare macchine la cui capacità di ragionamento pretende di avvicinarsi a quella umana. Il modo di migliorare queste capacità è il campo di studio dell'intelligenza artificiale. Questa scienza è però abbastanza recente, dato che dipende in gran parte dalla tecnologia e dalle conoscenze disponibili, e solo a partire dal XX secolo ha iniziato a svilupparsi in tutte le sue possibilità. Nonostante questo, rimane ancora molto cammino da percorrere per fare in modo che macchine pensanti come quelle rese famose dal film "2001 Odissea nello spazio" siano qualcosa di più di un sogno.

CAMPI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Esistono diverse classificazioni dei settori che trattano l'intelligenza artificiale, e ognuno di essi è più o meno sviluppato, a seconda degli avanzamenti ottenuti nel relativo settore della tecnologia. Ogni campo, pur separato, può soddisfare la necessità di applicazioni concrete, e trovarsi pertanto allo stato puro, anche se di solito la soluzione di un problema necessita dell'interrelazione di diversi settori.

- La robotica è uno dei campi più avanzati, anche se continuano i suoi miglioramenti e, come abbiamo potuto vedere, in origine lo scopo era studiare la realizzazione automatica di processi meccanici ripetitivi, come nel

Robotica

Sistemi Esperti

Apprendimento

Programmazione automatica

Linguaggio Naturale e Visione

Campi dell'intelligenza artificiale normalmente messi in relazione per risolvere un problema.

caso dei primi manipolatori.

- Sistemi esperti deducono dati o eventi nuovi, basandosi su altri dati, aiutando il lavoro dell'uomo grazie alla grande quantità di informazioni e

regole di deduzione memorizzate, e la velocità di elaborazione. Immaginiamo, ad esempio, un sistema esperto incaricato di determinare la malattia di un paziente a partire da domande e risposte con il medesimo.

- In ogni caso non si arriva all'apprendimento, cioè il sistema non sarà in grado di acquisire nuove conoscenze tramite l'esperienza e i dati precedenti, sino a che non si ricondurrà tutto all'applicazione di un insieme di regole.

- Esiste anche la programmazione automatica, che si dedica alla generazione automatica di programmi, per risolvere problemi a partire dalle specifiche di quello che dovranno fare questi programmi.

- In ultimo, il linguaggio naturale e la visione, che a noi risultano indispensabili ma a volte non sono sufficientemente valorizzati, sono il cavallo di battaglia dell'intelligenza artificiale.

CONCETTO DI AGENTE

Non esiste una definizione accettata universalmente riguardo a cos'è un agente, però possiamo fornire una serie di dati e di caratteristiche su cui esiste accordo.



Un agente deve realizzare un lavoro per il suo padrone.

Un agente, così come lo descrive l'intelligenza artificiale, deve essere capace di realizzare un lavoro a favore del "padrone o utente" dell'agente stesso. Questo compito deve essere realizzato interagendo con l'ambiente in modo intelligente e autonomo, e con il minimo intervento dell'utente.

ATTRIBUTI DI UN AGENTE IDEALE

Per far sì che un agente si possa considerare come tale, deve avere una serie di caratteristiche, tipo la capacità di sviluppare azioni che lo conducano alla meta, cioè ad eseguire il compito desiderato, degli attuatori per realizzare queste azioni, dei sensori per captare dati dall'ambiente, e poter così interagire con esso, e un certo grado di intelligenza, per poter mettere in relazione le azioni con le percezioni.

Queste sono le qualità base che riguardano le caratteristiche di reazione (captazione di stimoli e reazione). In molti casi sono sufficienti per far eseguire all'agente il compito assegnato, però mano a mano che queste ultime si complicano, anche le caratteristiche necessarie aumentano di livello.

L'agente ideale sarebbe quello che possiede l'autonomia (per realizzare azioni che dipendano non solo dalle conoscenze precedenti, ma anche dall'esperienza e interazione con l'ambiente), l'inferenza (creazione di nuove conoscenze a partire da dati precedentemente appresi), l'adattamento (per adattarsi a un ambiente cangiante e migliorare con l'esperienza), e la collaborazione (per lavorare con altri agenti a un compito comune).

NASCITA DELLA MICROBOTICA

Nel mondo della programmazione è ben



Microrobot che compiono un lavoro insieme.



Caratteristiche di un agente ideale, non necessarie in tutti i casi.

noto il detto "dividi e vincerai", e su questo hanno riflettuto un gruppo di ricercatori europei durante un loro esperimento di robotica. Si chiesero se non era meglio utilizzare piccoli robot di capacità limitata, al posto di grandi robot per la realizzazione di certi lavori. Così, furono lasciati girare per un'abitazione un gruppo di microrobot, il cui compito era raccogliere pezzi di candela sparsi in modo casuale per formarne un solo mucchio. La prova fu realizzata molte volte, e

ogni volta il tempo risultò minore rispetto al tempo che un robot mobile grande, con caratteristiche più potenti, impiegava a realizzare lo stesso compito.

In questo modo nacque la microrobotica, che dovremo differenziare dalla robotica, non solo per la minore dimensione dei suoi membri, ma soprattutto per la loro capacità, che anche se piccola di per sé, unendosi dota l'insieme di grande potenzialità, aggiungendo così al detto

"dividi e vincerai" quello di "l'unione fa la forza".

INTELLIGENZA ARTIFICIALE E MICROBOTICA

Arrivati a questo punto molti dei nostri lettori avranno già trovato la relazione esistente fra intelligenza artificiale e microrobotica, cioè che l'intelligenza programmata in un microrobot è quella che fa sviluppare i lavori in modo corretto, raccogliere dati dall'ambiente e operare in esso, e in definitiva converte un microrobot in un agente. Di conseguenza il miglior modo per comprendere le possibilità di un microrobot, è conoscere gli avanzamenti realizzati dall'intelligenza artificiale, e allo stesso tempo i microrobot sono uno strumento efficace e molto immediato per porre in pratica questi avanzamenti.



Un microrobot formica può aiutare molto nello studio di questi animali.

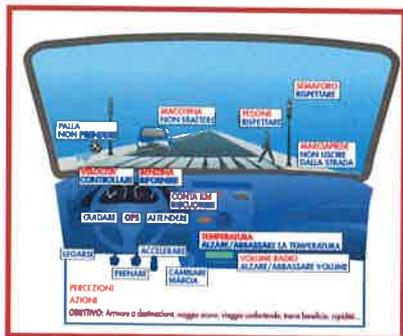
Gli agenti

Se si pensa per un attimo al concetto di agente, questo è più ampio di quanto potrebbe apparire in principio, dato che sono molti gli "esseri" che si adattano alla definizione, che abbiamo visto, di agente. Così ad esempio il programma di una macchina che sulla base di dati precedenti o di una domanda o di prove realizzate su un paziente, è capace di determinare la malattia di quest'ultimo, può considerarsi un agente, in questo caso software. I sistemi autonomi di trasporto di merci, che già funzionano in alcuni supermercati, sono un altro esempio di agente, questa volta di tipo hardware. Però uno degli agenti più complessi che esista è il corpo umano, vi siete mai soffermati a pensare ai complessi meccanismi che richiede la nostra mente quando realizziamo un'attività così comune come guidare un'automobile? Immaginiamo un taxista come un agente umano, nella figura allegata è rappresentato tutto il sistema associato.

STRUTTURA DI UN AGENTE

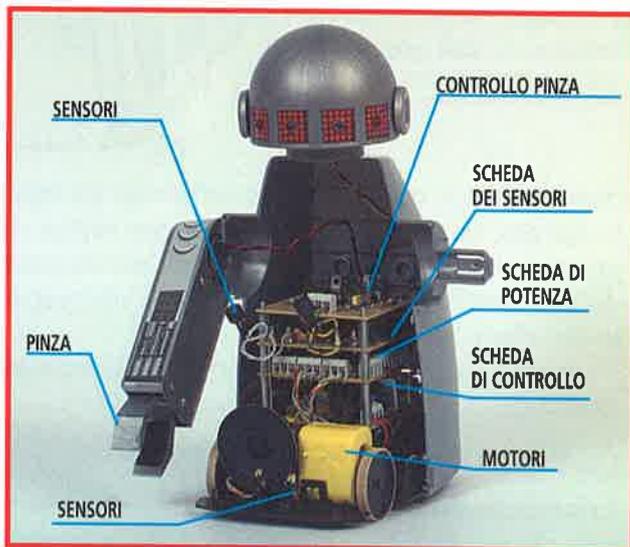
La divisione degli agenti nelle varie categorie dipende dagli obiettivi che devono realizzare, dalle percezioni e dalle azioni necessarie per ottenere queste mete. In ogni caso tutti si possono differenziare in due parti: l'architettura e il programma.

L'architettura la compongono i sensori incaricati di captare i dati e gli attuatori che realizzano azioni sul-



A volte è difficile separare gli agenti umani-software-hardware.

l'ambiente, e il programma è quello che relaziona entrambe le cose, cioè "dice" agli attuatori quello che devono fare secondo le informazioni ottenute dai sensori. A seconda dell'obiettivo prefissato, si proget-



Fotografia di un agente hardware con evidenziate le differenti parti della struttura.

ta il programma dell'agente, tenendo comunque sempre conto dei sensori e degli attuatori disponibili.

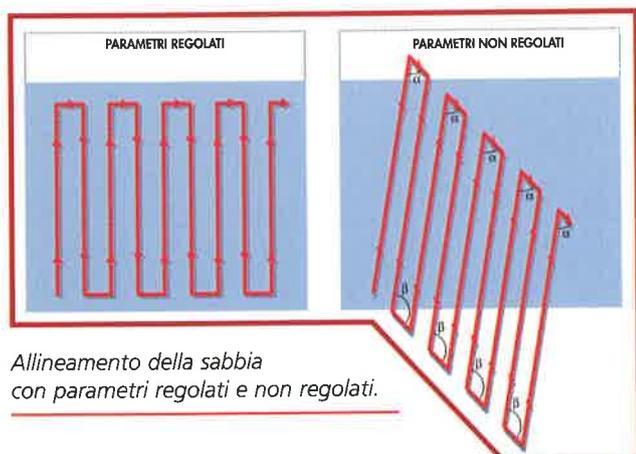
Quindi, a partire da questo momento, ci riferiremo esclusivamente agli agenti hardware e anche agli agenti software, e gli umani dispongono di entrambe queste parti.

TIPI DI AGENTI HARDWARE

La classificazione degli agenti hardware può essere fatta in base alle differenti caratteristiche, però dato che quello che si desidera è la realizzazione di un compito nel miglior modo possibile, possiamo convenire che una buona classificazione è quella che si realizza secondo il grado o livello di intelligenza del programma agente. La figura rappresenta i



Classificazione degli agenti per livello.



Allineamento della sabbia con parametri regolati e non regolati.

diversi livelli e le relazioni che riguardano gli uni rispetto agli altri. La struttura a cipolla che segue implica che un agente che appartiene ad un livello superiore soddisfa le caratteristiche del livello precedente, oltre a quelle del proprio livello.

Lo stadio superiore è quello di maggior complessità strutturale, sia software che hardware.

LIVELLO FISICO

È conosciuto anche con il nome di agente dipendente, dato che non fa nulla per se stesso. Il suo programma di agente fa sì che si comporti in un modo prestabilito in tutte le situazioni: se l'ambiente e le condizioni cambiano, non è capace di adattarsi, e bisogna modificarli il programma di agente. In ogni caso continua a soddisfare la condizione base di agente, dato che può compiere un compito a favore di un utente. Ad esempio, se avessimo un agente di questo tipo per lisciare la sabbia su un campo da calcio, potrebbe assolvere al suo compito, sempre che sia programmato con dei tempi di percorso e di rotazione molto precisi e sia fatto partire dal punto giusto, altrimenti dato che non è in grado di correggere la sua traiettoria potrebbe generare dei risultati non voluti.

LIVELLO REATTIVO E INTELLIGENTE

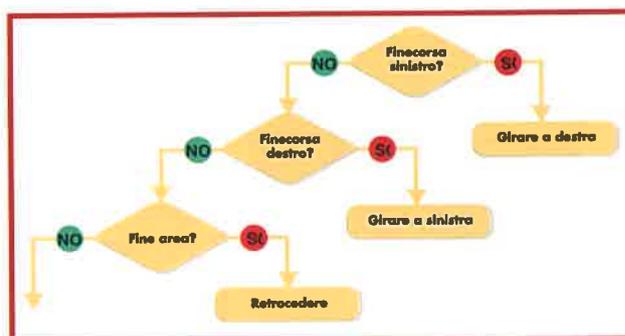
In questi livelli, oltre al programma agente è fondamentale l'informazione raccolta dai sensori, poiché determineranno le azioni da realizzare in ogni momento. In ogni caso il modo di trattare questa informazione è quello che differenzia questi agenti fra loro. Mentre il primo è basato su un insieme di regole "if-else", in modo che ad ogni sensazione ricevuta reagisca in modo prestabilito, il secondo sembra "pensare" all'azione da realizzare, e non seguire solo il suo istinto. Nella figura

si rappresentano le opzioni che può avere un agente del primo tipo, programmato per una prova di sumo. Per renderlo "deliberante" o "intelligente" si potrebbe aggiungere al suo programma di controllo una specie di memoria, che ricordi le ultime azioni del suo avversario, al fine di creare un campione di comportamenti e avvantaggiarsi sui suoi attacchi, o avere in ogni momento "un'immagine" reale dell'area di lotta per rendersi conto se, e quando, l'altro lo sta ingannando con rampe o altri accessori.

LIVELLI DI COMUNITÀ E COOPERAZIONE

In entrambi i livelli sono coniugate le abilità di un gruppo di agenti per la realizzazione di uno stesso compito. Anche se abbiamo detto che le capacità superiori inglobano le caratteristiche di quelle inferiori, non sempre questo è vero per i livelli di comunità. Ogni agente qui funziona come indipendente dagli altri, senza sapere dell'esistenza degli altri, e anche il suo comportamento potrà essere unicamente fisico o reattivo, però il progettista dovrà ideare un insieme, in modo che, a fronte di un problema, l'approccio sia lo stesso per tutta la squadra.

Nel livello di cooperazione si parla di una società di agenti. Ognuno di essi può possedere un proprio ruolo e le sue proprie caratteristiche all'interno della squadra, come in una partita di calcio, però sono la comunicazione e coordinazione fra i differenti membri a fare in modo che il compito assegnato sia risolto. Oltre ad un cambio sostanziale al momento di realizzare il programma di agente, i sensori e gli attuatori dovranno essere anch'essi sofisticati, incorporando moduli di comunicazione del tipo a radiofrequenza, o essere dotati di telecamere per localizzare oltre ai compagni di squadra gli avversari e la palla.



Azioni da fare con un microrobot di tipo reattivo per una prova di sumo.

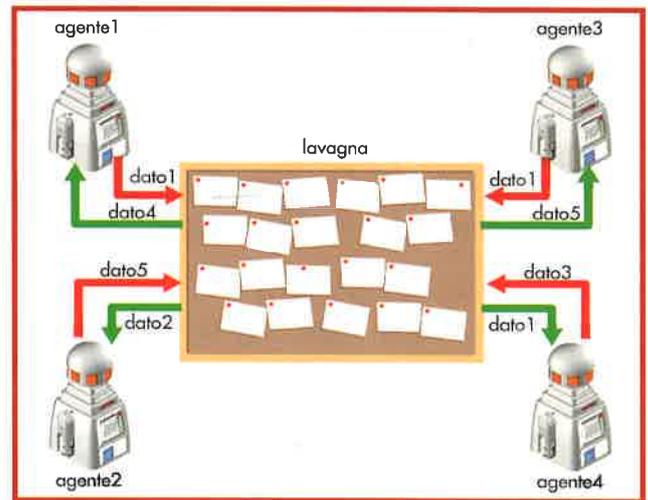
Comunicazione fra agenti

Abbiamo visto che i microrobot, considerati come agenti, possono avere differenti gradi di intelligenza. Si potrebbe pensare che quante più cose è capace di fare un microrobot, quanti più sensori e attuatori possiede, e più "intelligente" è meglio è, però non dobbiamo dimenticare la filosofia con cui sono stati ideati i microrobot, in contrapposizione ai grandi e potenti robot industriali. In ogni caso, arrivati al punto più alto di intelligenza, quello di cooperazione, le possibilità di interazione dei microrobot aumentano sino a superare l'idea originale.

Per ottenere questo, è necessario che gli agenti siano capaci di comunicare fra loro, al fine di potersi scambiare i dati, ripartire le azioni e in definitiva formare un insieme che agisca tenendo conto di tutti i suoi componenti. I metodi sono diversi, e non ve ne sono né di migliori né di peggiori; a seconda delle applicazioni verrà scelto il più conveniente. Una volta scelto il metodo, però, tutti lo dovranno utilizzare, altrimenti, così come succede con le lingue, tutti i tentativi di comunicazione risulteranno infruttuosi.

METODO DELLA CHIAMATA

È uno dei metodi più semplici. Ogni agente ha dei procedimenti propri con cui capta i dati dall'ambiente, e li elabora per ottenerne dei nuovi. Ogni agente inoltre, conosce che tipo di dati può ottenere dagli altri agenti. In questo modo, quando un agente ha bisogno di un dato "chiama" al procedimento adeguato. È una forma di divisione del lavoro in elementi semplici, in modo che ogni agente possa essere impiegato per eseguire un solo compito. Se gli incarichi sono facilmente divisibili, questo può risultare il metodo di comunicazione più idoneo, però se la relazione fra gli incarichi o l'interscambio di informazioni è eccessi-

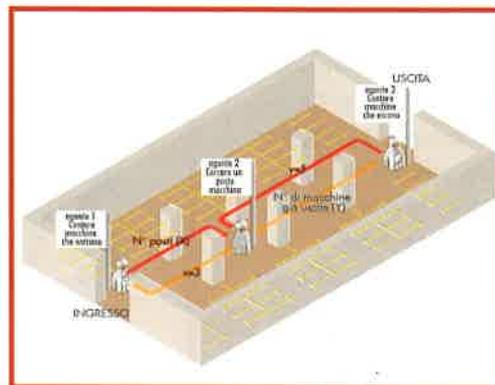


Se non si utilizza la figura del moderatore, possono nascere conflitti di dati, nel metodo della lavagna.

vo, potrebbero nascere dei problemi nell'aggiornamento dei dati, per mancanza di tempo di elaborazione.

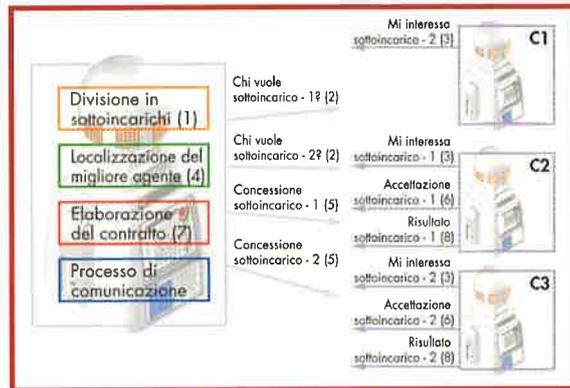
METODO DELLA LAVAGNA

Questo metodo è il più frequente per far comunicare diverse persone che non si trovano tutte insieme nello stesso posto, però hanno bisogno di scambiarsi informazioni. La comunicazione non è persona-persona (agente-agente) ma persona-lavagna. Qualcuno può lasciare un dato che ha ottenuto, nel caso possa servire a qualcun altro, e prendere un'informazione che si trova sulla lavagna per ottenere nuovi dati. Quando la quantità di informazione comune è grande, questo è un buon metodo, sebbene non sia esente da problemi. Ad esempio, nella situazione della figura, a seconda di quale agente (1 o 3) sia il più rapido, l'agente 4 riceverà un valore op-



Tre agenti si dividono la funzione di ricerca di posti auto in un garage.

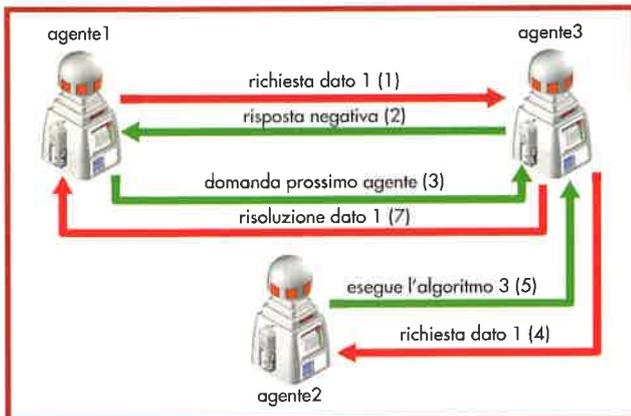
pure un altro come "dato 1". L'agente 3 a sua volta potrebbe ricevere un "dato 5" anche se non è ancora stato aggiornato dall'agente 2 ecc. La soluzione potrebbe essere l'utilizzo di un agente moderatore, che assumerebbe il ruolo di "lavagna intelligente" non permettendo di acquisire dati in corso di elaborazione, o non aggiornati ecc. Bisogna sottolineare che, anche se non sembra, questo genera una grande perdita di tempo in attese, la velocità con cui si realizzano queste operazioni è dell'ordine dei microsecondi.



La sequenza delle azioni nel sistema dei contratti viene segnata dai numeri fra parentesi.

SISTEMA DEI MESSAGGI

Si può considerare un miglioramento del metodo della chiamata. Facendo un paragone fra i due, questo me-



Esempio di comunicazione basata su messaggi. I numeri fra parentesi servono per vedere l'ordine con cui sono prodotti i messaggi.

todo sarebbe un dialogo fra due persone che conoscono le regole e il linguaggio di comunicazione, e il precedente sarebbe un dialogo in stile "Tarzan". In questo caso non si utilizzano chiamate a procedimenti per ottenere un semplice dato, ma i messaggi possono essere di diversi tipi come "Richieste di Informazioni", "Richiesta di Esecuzione di una Azione", "Risposta ad una Richiesta Fatta" ecc. Ogni agente deve conoscere i possibili messaggi e come generare e rispondere a ognuno di essi. Un messaggio si può inoltre dirigere a un gruppo di agenti, dato che non è necessario sapere quale di essi è capace di realizzare un determinato incarico.

SISTEMA DEI CONTRATTI

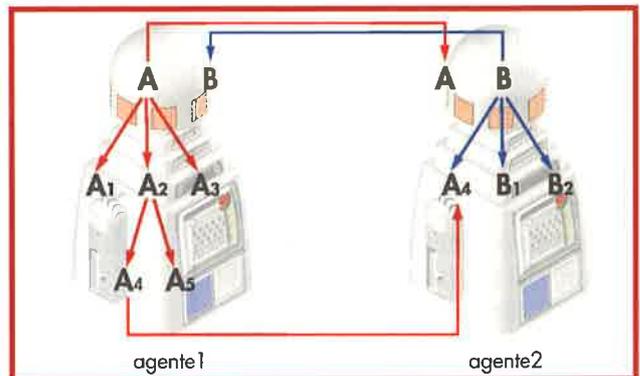
Tutti gli agenti insieme devono realizzare un compito. Quando si utilizza questo metodo, il lavoro viene spezzettato e ripartito fra gli agenti con il metodo dell'asta, tenendo conto dei sottoincarichi che gli agenti chiedono di realizzare e della loro capacità a realizzarli. Il "banditore" quindi, deve conoscere le attitudini di ogni "compratore". Ogni volta che

si assegna un compito si dice che è stato realizzato un contratto.

PGP: PARTIAL GLOBAL PLANNING

In questo metodo ogni agente è incaricato di una serie di compiti, e conosce gli incarichi che sono stati assegnati agli altri agenti. Gli agenti stessi sono incaricati di dividere questi lavori in sottoincarichi; facendo questa divisione può capitare che il risultato di un sottoincarico, necessario ad un agente, sia stato svolto da un altro agente, oppure che un altro ancora ne abbia bisogno in seguito, facendo così una richiesta o un trasferimento di informazione. Questo può succedere perché ogni agente comunica continuamente agli altri lo stato del suo incarico in corso.

Nella figura ogni agente realizza uno dei due compiti esistenti, quello A e quello B. Uno dei sottoincarichi del compito A è A4, che sarà utile a entrambi. L'agente 1 lo può realizzare, e comunicarne il risultato all'agente 2, oppure delegare quest'ultimo alla sua esecuzione a seconda del sistema di priorità e di divisione.



Un sottoincarico non si realizza diverse volte, ma i suoi risultati sono condivisi.