

[Cile per tutti gli appunti](#) (AUTOMAZIONE – TRATTAMENTI TERMICI ACCIAIO – SCIENZA delle COSTRUZIONI...)



[e-mail per suggerimenti](#)

## 6.7 ORGANI TERMINALI DEL ROBOT - End effector

### 6.7.1 Generalità

I robot sono adibiti ad esercitare operazioni di manipolazione, assemblaggio o particolari lavorazioni, come saldatura verniciatura, foratura ecc.

L'operazione che il robot è chiamato a svolgere è effettuato dall'organo terminale, posto all'estremità della catena cinematica, detto in generale *end-effector*.

Questo può essere o un organo di presa per la manipolazione o assemblaggio o un utensile adatto ad una particolare lavorazione, quale una torcia per la saldatura o il mandrino per una punta da trapano.

Qui non ci soffermerà a descrivere gli *end-effectors* adatti a particolari lavorazioni che riguardano campi specialistici, ma si vuole dare una panoramica degli organi di presa più usuali.

L'organo di presa è posto all'estremità del polso e tende a ricopiare la mano dell'uomo per poter esercitare la stessa funzione.

La mano umana, con i possibili movimenti delle 5 dita e l'articolazione del polso, possiede molti gradi di libertà che gli permettono di poter afferrare oggetti di forma e dimensioni diverse, costituendo così un organo di presa universale.

Gli organi di presa dei robot vengono denominate pinze e, usualmente, sono composte da due dita specializzate ad afferrare una famiglia di oggetti aventi forma e dimensioni simili. Così vi sono pinze a due dita per il serraggio di corpi cilindrici con diametri entro un certo campo di applicazione.

Alcune volte per poter afferrare il pezzo si effettuano su questo particolari sporgenze o fori nei quali agirà l'end-effector per la presa.

Per una maggiore universalità di presa sono in studio pinze a tre dita con articolazione indipendente. In questo caso occorre risolvere il problema della giusta pressione che ciascun dito deve offrire nella presa dell'oggetto. Ciò deve essere risolto con una tecnica di sensori posti sulle dita che inviino i segnali al calcolatore per elaborare la giusta calibrazione delle pressioni.

### 6.7.1 Classificazione delle pinze

Le pinze si possono classificare in base al tipo di operazione che debbono svolgere.

#### Pinze per la manipolazione

La pinza è adatta alla movimentazione di pezzi da una parte ad un'altra. In questo caso la pinza deve esercitare la forza di serraggio necessaria al presa del pezzo senza danneggiare sé stessa né il pezzo manipolato. La forza esercitata sul pezzo in manipolazione deve essere tale da provocare un attrito che le impedisca la caduta per effetto del peso e delle forze d'inerzia dovute alle accelerazioni durante la movimentazione

#### Pinze per l'assemblaggio

Nell'assemblaggio occorre una maggior precisione nella giusta presa del pezzo e nella sua deposizione in loco. La pinza in questo caso deve essere dotata di particolari sensori in modo che, durante l'assemblaggio, vi possano esser degli adattamenti necessari per la buona riuscita dell'operazione.

Un'altra classificazione può essere fatta in base al tipo di meccanismo che determina la presa.

- *Pinze con presa meccanica.*
- *Organi di presa ad espansione.*
- *Organi di presa ad aspirazione.*

- *Organi di presa magnetica.*

### 6.7.2 Pinze con presa meccanica

Sono organi di presa costituiti da dita (generalmente 2) che si possono chiudere sul pezzo o allontanare da esso con moti comandati da un meccanismo costituito da organi meccanici come : leve, settori dentati, cremagliere.

#### Attuatori

Il meccanismo che dà il movimento alle dita della pinza è comandato da un attuttore che può esser di tipo elettrico o pneumatico., con comando *ON-OFF*, corrispondente alla presa e all'abbandono del pezzo.

Il tipo elettrico è essenzialmente costituito da un solenoide che viene eccitato o diseccitato da un segnale. Nella eccitazione viene risucchiato nell'interno del solenoide un nucleo ferromagnetico spinto verso l'esterno da una molla, che lo riporterà in questa posizione nella diseccitazione.

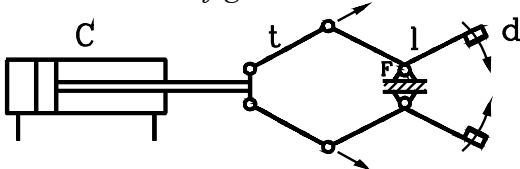
Più usuali sono gli attuatori di tipo pneumatico, costituiti da cilindri comandati da elettrovalvole direzionali, che inviano l'aria da una parte o l'altra del cilindro a seconda di un determinato segnale di pilotaggio.

Consideriamo ora brevemente i diversi tipi di pinze con presa meccanica.

Si possono suddividere in due tipi a seconda del moto con cui le dita si muovono per afferrare il pezzo.

*Il moto di presa può avvenire con rotazione delle dita attorno ad un fulcro, oppure con un moto che mantenga le dita parallele una all'altra.*

fig.6.7.1



Nella fig.6.7.1 è schematizzata una pinza dove l'avvicinamento al pezzo delle dita avviene con moto rotatorio attorno ai fulcri *F*.

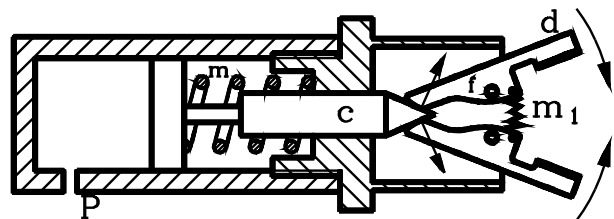
Lo stelo del cilindro *C*, mosso dall'aria compressa, nella corsa di fuoriuscita provoca la rotazione

delle due leve "*l*" in modo da determinare l'avvicinamento delle due dita "*d*", effettuando, così, la presa del pezzo. Nella corsa di rientro dello stelo le leve "*l*" sono obbligate a ruotare in modo da allontanare le due dita *d* dal pezzo.

Il cilindro *C* può essere a semplice effetto, con corsa di lavoro nelle fase di fuoriuscita dello stelo, determinante la presa del pezzo e corsa di ritorno data dall'azione della molla, nella fase di abbandono del pezzo.

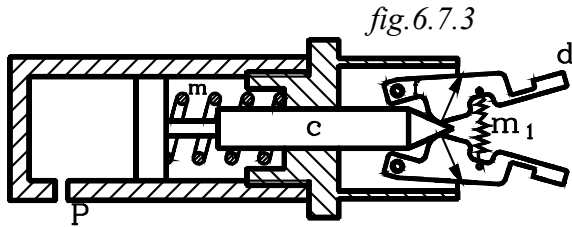
fig.6.7.2

Nella fig.6.7.2 il cilindro a semplice effetto comanda una camma conica che si impegna alle estremità delle due leve fulcrate in *f*. l'aria immessa nel cilindro in *P* effettua la corsa di lavoro, spostando la camma *c*, che obbliga le due leve di primo genere a ruotare in modo da avvicinare le due dita *d*. Nella fase di scarico dell'aria attraverso *P*, la molla *m* effettua la corsa di rientro dello stelo e della camma *c*. La molla *m<sub>1</sub>* spinge le dita in senso opposto all'azione della camma garan-



tendo sempre il contatto della superficie conica di questa con le estremità delle leve. In tal modo, quando la camma rientra si ha l'apertura della pinza per effetto della molla  $m_1$ .

Le pinze possono essere progettate per effettuare una presa su di una superficie interna al pezzo.



Nella fig.6.7.3 è schematizzata una pinza a due dita per la presa di una superficie interna.

Il cilindro a semplice effetto comanda la camma conica  $c$  che si impegna alle estremità delle due leve fulcrate in  $f$ . L'aria immessa nel cilindro in  $P$  effettua la corsa di lavoro, spostando la camma  $c$ , che obbliga le due leve di terzo genere a ruotare in modo da allontanare le due dita  $d$ .

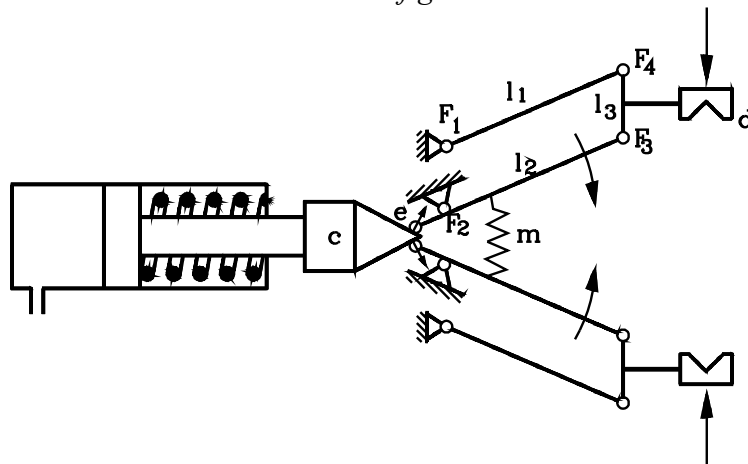
Nella fase di scarico dell'aria attraverso  $P$ , la molla  $m$  effettua la corsa di rientro dello stelo e della camma  $c$ . La molla  $m_1$  spinge le dita in senso opposto all'azione della camma, garantendo sempre il contatto della superficie conica di questa con le estremità delle leve. In tal modo, quando la camma rientra si ha la chiusura della pinza per effetto della molla  $m_1$ .

Le pinze descritte effettuano l'apertura e chiusura delle dita con rotazione di leve attorno ai fulcri. Esse sono caratterizzate dall'angolo di apertura e chiusura delle dita, che può essere di pochi gradi fino alla apertura completa di  $180^\circ$  di un dito rispetto all'altro.

I piccoli angoli di apertura permettono una grande frequenza di cicli di presa e abbandono del pezzo, con elevata velocità di apertura operativa.

In casi particolari occorre che le dita si spostino rimanendo parallele tra loro. Per ottenere ciò si utilizza il cinematismo contenente due quadrilateri articolati.

fig.6.7.4

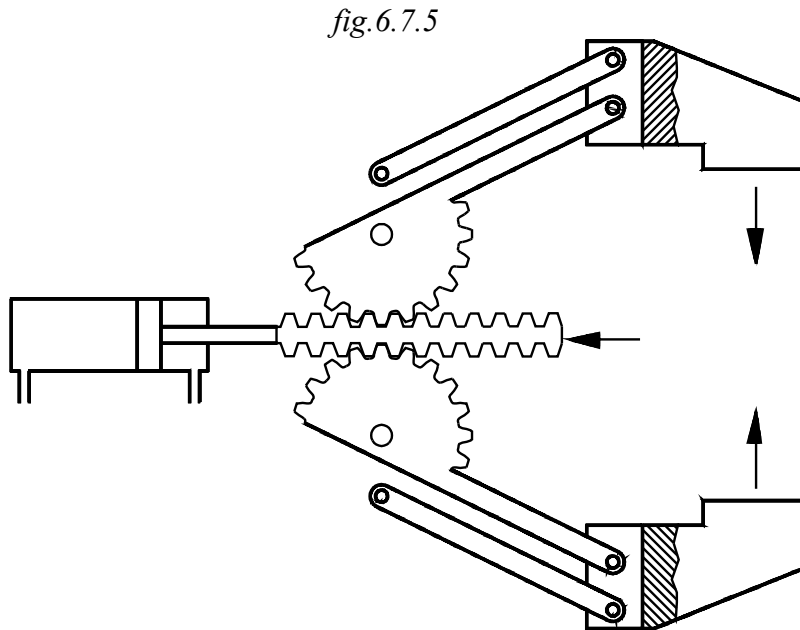


Nella fig.6.7.4 è schematizzato il principio di funzionamento di una pinza con spostamento che lascia le dita parallele tra loro. I due quadrilateri articolati, composti dai due lati  $l_1$ ,  $l_2$  e dalla traversa  $l_3$ , impernati sulle 4 cerniere  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ , recano, ciascuno, il dito  $d$  solidale alla traversa.

Il lato  $l_2$  del quadrilatero si prolunga oltre  $F_2$ , costituendo una leva di primo genere, sulla cui estremità "e" agisce la superficie conica della camma, comandata dal cilindro pneumatico a semplice effetto. La molla  $m$  agisce sui quadrilateri nel senso dell'allontanamento delle dita e garantisce il contatto delle estremità delle leve  $l_2$  con la camma.

Nella corsa di lavoro del cilindro pneumatico, la superficie conica della camma allontana le estremità delle leve  $l_2$ , provocando l'avvicinamento delle estremità opposte. I due quadrilateri

muovono i loro lati in modo da risultare sempre paralleli tra loro. Anche la traversa risulterà sempre parallela alla congiungente  $F_1, F_2$ , per cui le dita si spostano risultando sempre parallele tra loro.



Il meccanismo di *fig.6.7.5* si basa anch'esso sullo spostamento delle due dita (ganascie) attraverso due quadrilateri articolati. La rotazione ad un lato viene data da una semicorona dentata, ingranante con una cremagliera, mossa dallo stelo di un cilindro pneumatico o idraulico a doppio effetto. Nella corsa di rientro stelo si ha la chiusura della pinza, nella fuoriuscita l'apertura.

Nelle pinze con spostamento parallelo delle dita viene indicata l'apertura massima e minima consentita. Alcune pinze permettono la chiusura completa con il contatto tra le due dita, altre, adatte alla presa di pezzi di elevate dimensioni, hanno una minima apertura diversa da zero.

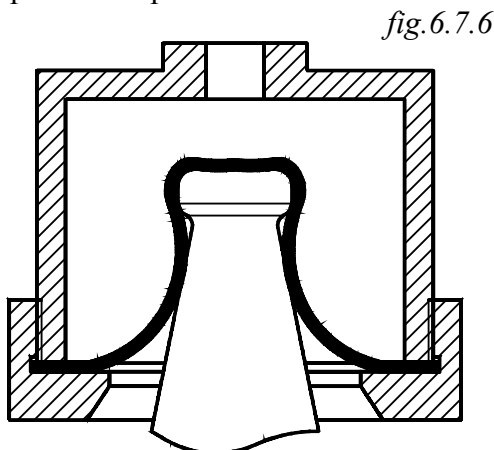
#### 6.7.2.1 Pinze con dita elastiche

In alcune applicazioni nelle quali occorre afferrare degli oggetti fragili, quali possono essere le provvide di vetro, occorre munire la pinza di dita elastiche ad elevata deformazione (con basso coefficiente  $k$  di elasticità), in modo che le ganascie si possano facilmente adattare alla forma dell'oggetto, ripartendo la forza di chiusura su una larga superficie di contatto.

Questo specialmente quando le superfici dell'oggetto da afferrare hanno tolleranze dimensionali grossolane. Le ganascie rigide determinerebbero il contatto solamente in alcuni punti ove si verificherebbero concentrazione di sforzi con pericolo di danneggiamento del pezzo.

#### 6.7.3 Organi di presa ad espansione

Per afferrare oggetti fragili quali i colli di bottiglie di vetro, sono stati progettati organi di presa ad espansione.



Questi sono, costituiti da un involucro rigido entro il quale è posto una membrana di gomma che contorna la parte dell'oggetto da afferrare. Introducendo l'aria compressa l'elemento in gomma viene spinto ad aderire sulla superficie dell'oggetto, determinando la presa.

Scaricando l'aria viene lasciata la presa dell'oggetto.

#### 6.7.4 Organi di presa ad aspirazione

La presa del pezzo viene effettuata ponendo a contatto della sua superficie una o più ventose, entro le quali viene effettuata una depressione. La pressione atmosferica, superiore a quella esistente entro le ventose, spinge il pezzo contro di esse determinando l'aderenza. La differenza tra la pressione atmosferica  $p_{atm}$  e quella  $p_v$  esistente entro le ventose determina una spinta risultante verso l'alto che deve essere superiore al peso dell'oggetto.

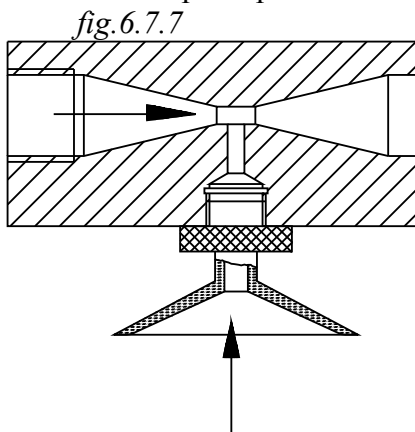
$$F = (p_{atm} - p_v) \cdot S > P \quad (6.7.1)$$

La spinta di aderenza  $F$ , a parità di depressione, dipende dalla superficie di aderenza delle ventose. Con oggetti pesanti di elevata superficie si adoperano più ventose distribuite su detta superficie, in modo da ottenere la spinta necessaria per il sollevamento.

Il sistema di presa con aspirazione presenta il vantaggio di poter sollevare oggetti che offrono anche una sola superficie di presa, basta che questa sia sufficientemente estesa per poter applicare il numero di ventose necessarie per ottenere la spinta  $F$  superiore al peso.

La depressione viene ottenuta impiegando pompe a vuoto quando, per l'utilizzo, occorrono elevate portate di aria. In questo caso si deve disporre di un impianto centralizzato per la creazione del vuoto ed una rete di distribuzione dell'aria. In questo caso si ha un elevato costo iniziale compensato, poi, da costi contenuti nell'utilizzo dell'aria. l'impianto centralizzato ha un buon rendimento e permette un funzionamento silenzioso con depressioni fino all'ordine di 0,9 bar.

Nelle applicazioni meno impegnative per ottenere la depressione si adopera un eiettore funzionante sul principio del tubo di venturi.



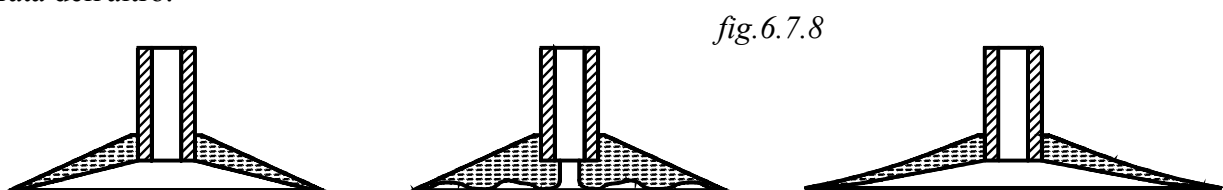
Questo, come noto, è costituito da un condotto del fluido che, nel senso del moto, diminuisce di sezione fino ad una dimensione minima per poi aumentare di nuovo dove scarica l'aria all'esterno.

Nel restringimento della sezione si ha un aumento della velocità con un massimo nella sezione minima. Per il teorema di Bernoulli, si ha una trasformazione di energia di pressione in energia cinetica; per cui, all'aumento della velocità corrisponde una diminuzione di pressione.

Se l'aria che entra è alla pressione atmosferica, ad essa risulta inferiore quella che si ottiene nella sezione minima: ottenendo, così, in questa una depressione.

In corrispondenza della sezione minima del tubo di venturi, ove si ha depressione, si ricava l'orifizio che viene posto in comunicazione con l'interno della ventosa.

Le ventose sono costruite con materiale elastico e flessibile, facilmente deformabile in modo da offrire una buona aderenza con la superficie degli oggetti da manipolare. I materiali più usati sono il *neoprene* e il *poliuretano*. Il primo presenta molta flessibilità e offre un ottimo adattamento alle superfici su cui deve aderire, il secondo è meno flessibile ma garantisce una maggiore durata dell'altro.



Le ventose possono essere costruite con diversa forma, in modo da adattarsi meglio alla superficie dell'oggetto. La forma più usata è la troncoconica come rappresentato in *fi. 7.7.8*

Il profilo può essere di tipo semplice senza profilature con profilature, a labbro esteso ecc.

L'utilizzazione di più ventose è particolarmente adatto per manipolare oggetti di elevata superficie e piccolo spessore come lamiere cristalli ecc. La spinta totale viene distribuita su una vasta superficie, evitando così concentrazioni localizzate di sforzi, che possono danneggiare l'oggetto, specialmente se questo è di materiale fragile.

### 6.7.5 Organi di presa magnetici

Questi organi di presa possono essere impiegati per sollevare oggetti costituiti con materiale ferromagnetico.

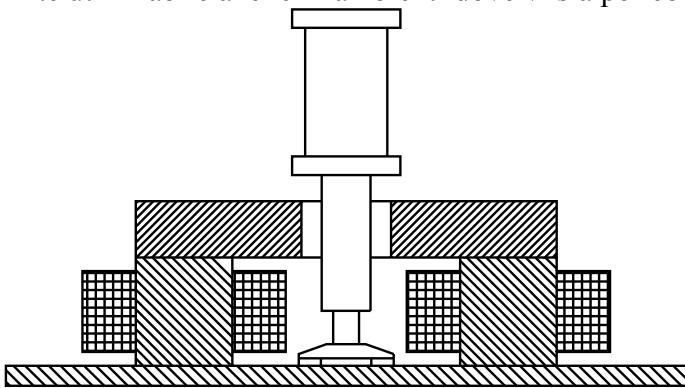
Possono essere utilizzati o elettromagneti o magneti permanenti.

I dispositivi con elettromagneti sono costituiti da un nucleo di materiale ferromagnetico sul quale è avvolto una bobina, nella quale viene inviata la corrente per la eccitazione e creazione del campo magnetico; questo si annulla in assenza della corrente.

La presa degli oggetti si ottiene inviando corrente alla bobina, con la creazione del campo magnetico che investe non solamente la superficie a contatto con l'elettromagnete, ma anche tutti i particolari ad esso affacciati.

L'abbandono dei pezzi attratti dall'elettromagnete si ottiene semplicemente togliendo l'alimentazione di corrente alla bobina.

Nei dispositivi con magneti permanenti non occorre l'impiego di correnti di eccitazione: il campo magnetico è permanente. L'assenza di correnti di eccitazione rende il magnete permanente utilizzabile anche in ambienti dove vi sia pericolo di formazione di miscele esplosive.



In questi dispositivi occorre risolvere il problema del distacco dei pezzi attratti dal campo magnetico permanente. Questo si ottiene con un espulsore meccanico che, comandato da un cilindro ad aria compressa, spinge gli oggetti a distaccarsi dal magnete, superando la forza di attrazione.

## 6.8 SENSORIALITÀ NEI ROBOT

### 6.8.1 Generalità

Nei capitoli precedenti si è introdotto il concetto del *grado di intelligenza di un robot*, misurato dalla sua capacità di interagire autonomamente con il mondo esterno.

Per l'interazione occorre che il robot sia dotato di organi di percezione che gli permettano di ricevere le informazioni dall'ambiente che lo circonda. Queste, poi, opportunamente interpretate, determineranno mediante una elaborazione la conseguente azione del robot.

È evidente che quanti più sono gli organi di percezione (tattili, di prossimità, visivi...) in dotazione di un robot tanto più, questo ha la possibilità di essere programmato per avere un elevato grado di autonomia nell'assumere decisioni operative, anche in situazioni eccezionali.

Infatti, esso, per poter agire conseguentemente al verificarsi di una situazione o fenomeno esterno, occorre, per prima cosa, che abbia in dotazione degli organi che permettano la percezioni di detti fenomeni: saranno, poi i programmi di cui dispone, che ne effettueranno la giusta interpretazione, impartendo il comando della conseguente azione.

Gli organi di percezione vengono denominati genericamente *sensori*, in quanto risultano sensibili a parametri fisici che impressionano i sensi dell'uomo, principalmente: il tatto la vista e la sensibilità alla temperatura.

Per poter agire ed effettuare delle operazioni corrette, occorre che il robot riceva e controlli due tipi di informazioni: dello stato interno al meccanismo e dello stato esterno dell'ambiente che lo circonda.

Le informazioni sullo stato interno al meccanismo cinematico sono fornite dai trasduttori di posizione e velocità, analizzati nel capitolo 4. Questi forniscono i segnali di controllo di retroazione per garantire che il meccanismo si porti nella giusta posizione comandata, con la velocità stabilita.

I sensori che vogliamo analizzare in questo capitolo sono i sensori esterni. Questi, fornendo le informazioni sull'ambiente esterno, servono per la guida del robot, il quale riesce a percepire ed identificare sia l'oggetto da manipolare, che gli altri, posti nell'ambiente di lavoro. In tal modo il robot acquisisce una conoscenza preventiva della posizione degli oggetti presenti nella sua area di lavoro e può pianificare l'azione di manipolazione: stabilire la traiettoria più opportuna, rilevare condizioni di pericolo, evitare ostacoli imprevisti, ecc.

I sensori esterni si possono suddividere in due categorie principali.

#### 1. Sensori senza contatto

Questi avvertono la vicinanza dell'oggetto senza che vi sia contatto con esso. La presenza viene rilevata attraverso le variazioni che le onde elettromagnetiche o acustiche subiscono in presenza di un oggetto di materiale diverso da quello in cui stanno propagandosi (aria).

#### 2. Sensori a contatto con l'oggetto

Questi sono sensibili all'azione meccanica che si stabilisce nel contatto tra il sensore e l'oggetto : sforzo di contatto, scorrimento, momento.

Oltre alla rilevazione della presenza di un oggetto, sono stati costruiti sistemi sensoriali atti alla misurazione delle distanze.

Analizziamo una operazione di manipolazione e individuiamo i problemi che possono interessare informazioni sensoriali.

Per effettuare una manipolazione occorre:

1. Individuare la posizione dell'oggetto da dover afferrare e stimare la sua distanza dall'effettore.
2. Individuare la posizione di eventuali ostacoli.
3. Orientare il robot verso l'oggetto e portare l'effettore su di esso, evitando gli ostacoli individuati.
4. Arrivato l'effettore sull'oggetto , occorre che questo sia afferrato correttamente con la giusta pressione.

Ai sensori senza contatto sono affidati i compiti descritti nei prime 3 punti. Essi debbono fornire delle indicazioni globali, per orientare il braccio verso l'oggetto e portare l'effettore su di esso.

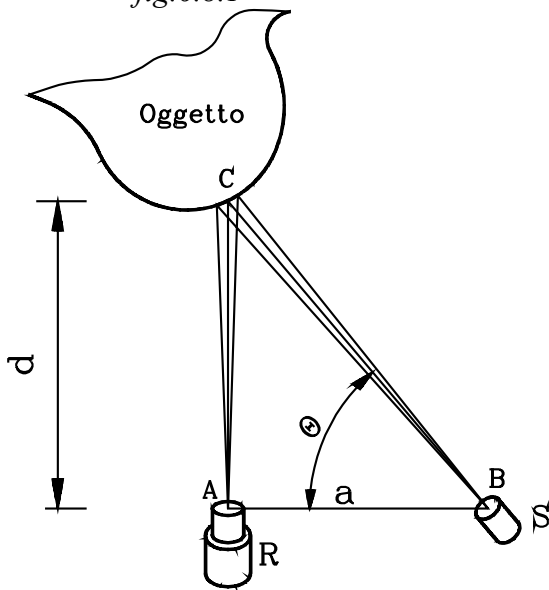
Ai sensori di contatto è affidato il compito di rilevare le informazioni sulla presa dell'oggetto. Essi sono posti sulla mano del robot in modo che possano essere controllate le caratteristiche di presa: che sia corretta, che sia calibrata la pressione da esercitare per il serraggio, senza provocare schiacciamenti o rotture dell'oggetto.

## 6.8.2 Cenni sulla misura delle distanze

I dispositivi per la misura delle distanze vengono utilizzati per guidare il movimento dei robot ed evitare gli ostacoli.

### 6.8.2.1 Triangolazione

fig.6.8.1



Una sorgente luminosa "S" viene posta ad una distanza "a" da un rivelatore di luce "R": fig.6.8.1.

La sorgente luminosa esplora la superficie dell'oggetto sul piano formato dalla retta congiungente RS e l'asse del rivelatore.

Il rivelatore R viene focalizzato su una piccola porzione di superficie dell'oggetto che interseca l'asse del rivelatore stesso.

Nell'esplorare la superficie dell'oggetto, la sorgente S raggiunge una angolazione  $\theta$  rispetto alla congiungente RS, tale che, per effetto della riflessione del fascio luminoso, il rivelatore R vede la piccola zona illuminata dell'oggetto.

Quando ciò avviene, la distanza "d" è facilmente calcolabile, considerando il triangolo

rettangolo ABC:

$$d = a \cdot \tan \theta \quad (6.8.1)$$

Si ha così una informazione della distanza del punto dell'oggetto al rivelatore.

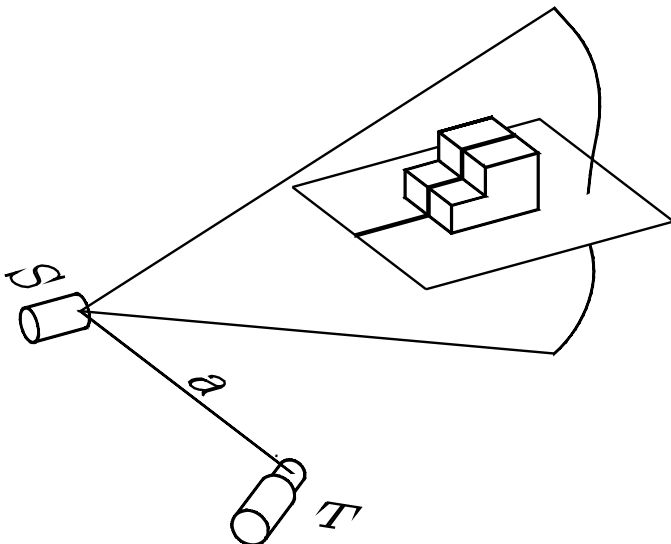
Per poter esplorare i diversi punti dell'oggetto si può muovere il rivelatore R e la sorgente S sia nella direzione della congiungente RS che in direzione perpendicolare al piano ABC, lasciando sempre R e S alla stessa distanza "a".

Si ha così una scansione di esplorazione dei vari punti della superficie dell'oggetto, mentre il sistema "Rivelatore, Sorgente" si muove nel piano perpendicolare a quello di figura.

Le informazioni sulle distanze dei punti dell'oggetto rilevati vengono poi trasformate in coordinate tridimensionali.

### 6.8.2.2 Metodo dell'illuminazione strutturata

fig.6.8.



2

Una lama di luce, generata da lenti cilindriche o da una stretta fessura, viene proiettata sugli oggetti da analizzare. Questi vengono intersecati dalla lama luminosa, producendo un profilo luminoso che viene raccolto da una telecamera T, posta ad una distanza "a" dalla sorgente luminosa.



Dal tipo di profilo luminoso che si genera nella intersezione tra lama ed oggetto si ricavano, al calcolatore, le informazioni sulle distanze.

### 6.8.3 Sensori di prossimità

La valutazione delle distanze degli oggetti è una prima indicazione globale necessaria per iniziare una manipolazione, occorrono poi dei sensori che rilevino la presenza dell'oggetto in un certo intervallo di distanza dall'effettore. Ciò si ottiene con i sensori di prossimità.

#### 6.8.3.1 Sensori induttivi

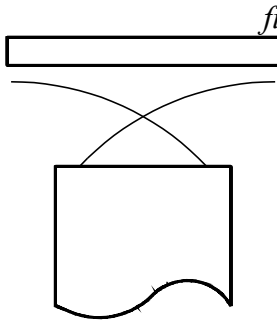


fig.6.8.3

Sono costituiti da un circuito oscillatorio, alimentato da una corrente ad elevata frequenza e alloggiato alla estremità del corpo cilindrico del sensore.

la corrente che passa nel circuito, genera un campo magnetico alternato che si propaga nello spazio circostante come campo disperso.

Avvicinando al circuito un oggetto di materiale conduttore, il campo magnetico che l'investe vi genera delle forze elettromotrici indotte che determinano una circolazione di correnti, con conseguente assorbimento di energia.

Per effetto dell'energia assorbita dall'oggetto, posto in prossimità del sensore si ha una variazione del livello di corrente che circola nel circuito oscillatorio.

Tale variazione di livello viene elaborato per commutare l'uscita del sensore che passa dallo stato logico "0" allo stato 1.

La variazione di livello del circuito oscillatorio, per effetto della presenza dell'oggetto, determina un segnale elettrico in uscita dal sensore che risulta di tipo ON- OFF, indicante presenza o assenza di oggetti ad una determinata distanza dal sensore. Il rilevamento di presenza oggetti avviene a distanze molto vicine al sensore, dell'ordine di pochi mm.

Un altro tipo di sensore induttivo basa il funzionamento sulla variazione di una induttanza provocata dalla presenza di un oggetto di materiale ferromagnetico.

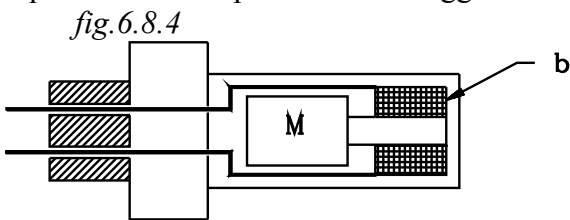


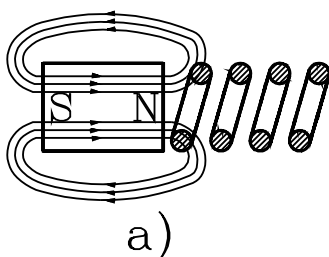
fig.6.8.4

Il sensore è costituito da una bobina "b", posta sullo stesso asse di un magnete *M* permanente di forma cilindrica.

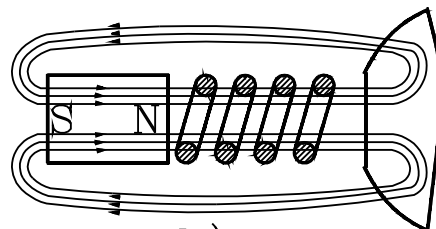
Se davanti alla bobina, in prossimità del magnete non vi sono oggetti di materiale ferromagnetico, le linee di flusso del campo magnetico si concatenano solo marginalmente con la bobina, avendo un andamento come in "a" di

figura fig.6.8.5.

fig.6.8.5



a)



b)

Quando si avvicina un oggetto di materiale ferromagnetico al sensore, nel lato contenente la bobina, le linee di flusso si allungano andando verso l'oggetto, attraversando la bobina lungo il suo asse.

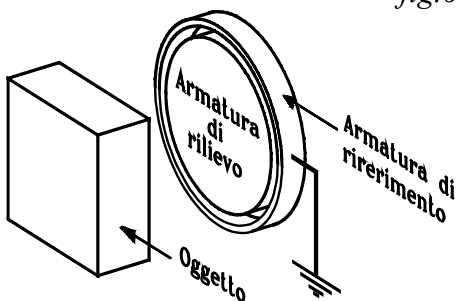
Si ha un maggiore concatenamento del flusso con le spire della bobina.

Così, quando un oggetto di materiale ferromagnetico si avvicina o si allontana dalla bobina del sensore, il flusso del magnete che si porta verso l'oggetto varia: si ha una variazione del flusso concatenato con la bobina in funzione del moto dell'oggetto. La variazione di flusso genera, nella bobina, una forza elettromotrice indotta, che determina il segnale di rilevamento della presenza dell'oggetto.

Il segnale è analogico e può essere tramutato nel tipo ON OFF stabilendo un livello minimo e massimo di commutazione di un segnale di uscita dal sensore. Si stabilisce una soglia di valori della f.e.m. indotta, al di sopra della quale si ottiene un segnale di uscita dal sensore, indicante la presenza dell'oggetto, e un'altra soglia di valori della f.e.m. al di sotto della quale viene interdetto il segnale in uscita (indicante l'assenza dell'oggetto entro l'intervallo di rilevazione).

### 6.8.3.2 Sensori capacitivi

fig.6.8.6



Questi sensori basano il loro funzionamento sulla variazione della capacità, provocata dall'avvicinarsi della superficie di un oggetto di qualsiasi natura all'armatura di un condensatore.

Ricordiamo che la capacità di un condensatore dipende dalla forma, grandezza e distanza delle armature ma anche dal dielettrico che le circonda.

Se l'oggetto che si avvicina al sensore capacitivo non è metallico, la variazione della capacità è provocata dalla diversa costante dielettrica del materiale di cui è costituito rispetto all'aria.

Il sensore è composto essenzialmente da un condensatore con una armatura di riferimento posta a terra e un'altra, di rilevamento, a poca distanza dalla prima, che insieme al corpo posto in prossimità di essa, determina la capacità indicante la presenza dell'oggetto.

La variazione della capacità che si ha in assenza o in presenza di un corpo in prossimità del sensore, deve tramutarsi in un segnale elettrico di tipo ON OFF.

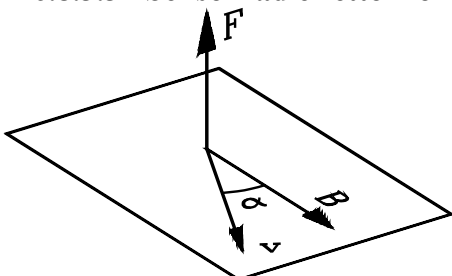
Un metodo per la generazione del segnale indicante la presenza dell'oggetto è quello di porre il condensatore come componente di un circuito oscillatore. La risposta di questo dipende dalla capacità e quindi dalla presenza o assenza dell'oggetto in prossimità dell'armatura di rilievo del sensore.

Il sensore capacitivo può rilevare oltre ai corpi solidi anche i liquidi e gassosi, in quanto questi determinano, con la loro presenza, una variazione della costante dielettrica rispetto all'aria che circonda il sensore in loro assenza.

Anche in questo caso, come per il sensore induttivo, il segnale è di tipo analogico; occorre tramutarlo in binario di tipo ON OFF, stabilendo, come al solito, un valore di soglia, al di sopra del quale si ha l'attivazione di un segnale di uscita, e un valore di soglia al di sotto del quale si ha l'interdizione di detto segnale.

Quindi il segnale generato dal circuito oscillatore, contenente il condensatore è di pilotaggio a quello ON OFF in uscita.

### 6.8.3.3 Sensori ad effetto Hall

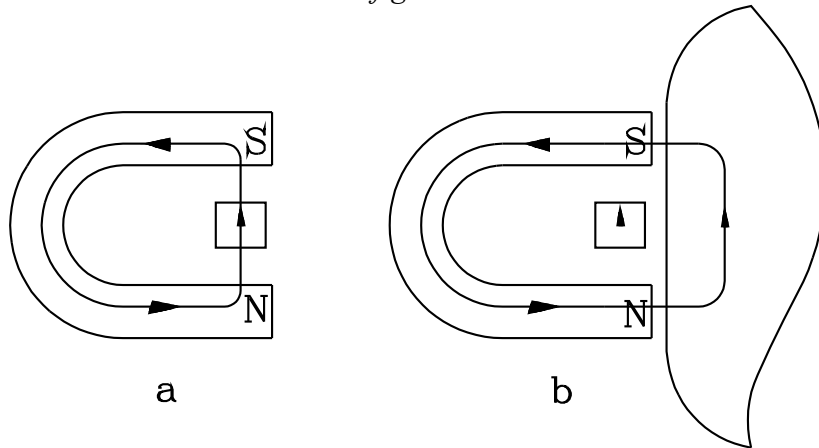


Questi sensori basano il loro funzionamento sull'azione che un campo magnetico esercita su una corrente percorrente un conduttore o semiconduttore.

Ricordiamo che nel moto di una carica  $+q$  entro un campo magnetico con velocità  $\vec{v}$ , si crea una forza perpendicolare sia alla direzione del campo che a quella della velocità, la cui intensità è data da:

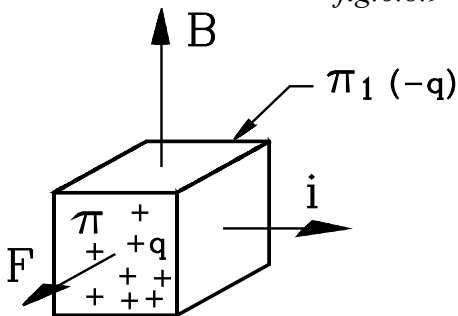
$$F = v \cdot q \cdot \text{sen} \alpha \quad (6.8.2)$$

fig.6.8.8



Si ponga una piastrina di semiconduttore, drogato con elemento di tipo  $p$ , entro la due polarità di un magnete permanente, come indicato nello schema "a" di fig.6.8.8.

fig.6.8.9



Si faccia scorrere una corrente  $i$  nella piastrina in direzione perpendicolare alle linee di flusso fig.6.8.9.

Nel semiconduttore di tipo  $p$  le cariche maggioritarie sono positive con carica  $+q$ . Su queste, quando sono in moto entro il semiconduttore costituendo la corrente  $i$ , il campo magnetico agisce con una forza  $F$ , che tende a spostarle su una faccia  $\pi$  di estremità della placchetta, mentre la faccia opposta  $\pi_1$  si condensa di elettroni: fig.6.8.9. (in effetti le forze agiscono sugli elettroni che si condensano sulla faccia  $\pi_1$ , lasciando lacune nella faccia  $\pi$ ).

Tra le due " $\pi - \pi_1$ " si stabilisce una *d.d.p* che viene assunta come segnale di riferimento che si ha in assenza dell'oggetto: *schema "a" di fig.6.8.8*.

Ora, avvicinando un oggetto di materiale ferromagnetico al magnete permanente del sensore, gran parte delle linee di flusso si richiudono attraverso l'oggetto che è di materiale ferromagnetico e non passano attraverso il semiconduttore che è paramagnetico.

Alla diminuzione del campo magnetico che attraversa il semiconduttore, corrisponde una diminuzione dello spostamento delle cariche positive sulla faccia  $\pi$  e quindi una diminuzione della differenza di potenziale tra le due facce  $\pi, \pi_1$ .

Questa diminuzione di potenziale può essere elaborata in modo che, sotto una certa soglia, venga abilitato un segnale di uscita dal sensore indicante la presenza dell'oggetto.

Quando si allontana l'oggetto, aumenta la *d.d.p* tra le due facce  $\pi, \pi_1$  e sopra una certa soglia viene disabilitato il segnale di uscita dal sensore, indicante l'assenza di oggetti nella zona d'azione del sensore.

la presenza o assenza dell'oggetto nella zona d'azione del sensore è dato, rispettivamente, dal livello basso o alto della *d.d.p* tra le due facce  $\pi, \pi_1$ .

### 6.8.3.4 Sensori ad ultrasuoni

Un ultrasuono è una vibrazione in un mezzo elastico analogo a quello del suono, ma di frequenza superiore alla soglia uditiva dell'orecchio umano, che è dell'ordine di 20.000 Hz.

La velocità di trasmissione degli ultrasuoni è uguale a quello del suono: dipende dal mezzo nel quale si propaga.

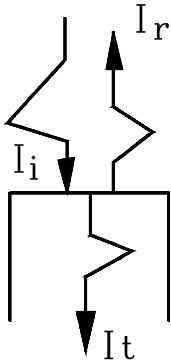
Nel passaggio da un mezzo ad un altro, l'ultrasuono subisce fenomeni di rifrazione e riflessione, dipendenti dalla differenza delle impedenze acustiche dei due mezzi.

Ricordiamo che si definisce impedenza acustica il prodotto:

$$z = v \cdot \rho$$

Dove "v" è la velocità dell'ultrasuono e  $\rho$  è la densità del mezzo in cui si sta propagando.

fig.6.8.10



Quando un'onda di un ultrasuono incide su di una superficie di separazione tra il mezzo in cui si sta propagando, di impedenza  $z_1$  e un altro di impedenza  $z_2$ , una parte dell'onda incidente si trasmette nel nuovo mezzo, un'altra parte si riflette nel primo.

Si indichi con:

- $I_i$  L'intensità dell'onda che si propaga nel mezzo di impedenza  $z_1$  e incide sulla superficie di separazione con il mezzo di impedenza  $z_2$ .
- $I_t$  L'intensità dell'onda trasmessa nel mezzo di impedenza  $z_2$ .
- $I_r$  L'intensità dell'onda riflessa nel mezzo di impedenza  $z_1$ .

Il coefficiente di riflessione è dato dal rapporto:  $r = \frac{I_r}{I_i}$  (6.8.4)

Il coefficiente di trasmissione è dato dal rapporto:  $t = \frac{I_t}{I_i}$  (6.8.5)

Il coefficiente di riflessione rispetto alle due impedenze è dato dal rapporto:

$$r = \frac{|z_1 - z_2|}{z_1 + z_2} \quad (6.8.6)$$

Dalla espressione (6.8.6) si ricava che si ha riflessione totale:  $r = 1$  quando  $z_1 = 0$  oppure  $z_2 = \infty$ .

In pratica si ha una elevata riflessione quando il suono passa da un mezzo di bassa ad uno di elevata impedenza o viceversa.

Nei sensori ultrasonici di prossimità viene sfruttato il fenomeno di riflessione nella superficie di separazione tra l'oggetto e l'aria ove si sta propagando l'ultrasuono emesso dal sensore.

Le vibrazioni meccaniche dell'ultrasuono si ottengono, principalmente, sfruttando le proprietà piezoelettriche di alcuni cristalli come il quarzo la tormalina o delle placchette piezoceramiche.

Una placchetta piezoceramica (o di quarzo) se viene sottoposta ad una sollecitazione di compressione o trazione, genera uno spostamento di cariche elettriche di segno contrario, che si concentrano su due facce opposte, determinando tra queste una d.d.p. Si ha così una trasduzione di un'azione meccanica in una elettrica, misurata dalla differenza di potenziale tra due facce della placchetta, il cui segno dipende dal tipo di sollecitazione.

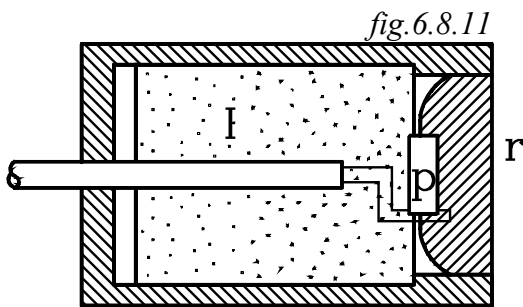
Viceversa, sottoponendo le due facce della placchetta ad una d.d.p, a seconda del segno di questa, si genera una deformazione di allungamento o accorciamento.

Così, inviando su una piastrina piezoelettrica una vibrazione elettrica sinusoidale, questa si tramuterà in una vibrazione meccanica.

La piastrina, come tutti i corpi elastici, sollecitata da un impulso, ha una vibrazione propria, dipendente dalla forma, dimensioni e dal tipo di materiale. Se si invia ad essa una vibrazione elettrica sinusoidale con frequenza pari a quella propria, si ottiene l'oscillazione di risonanza con la massima ampiezza possibile. Per intenderci, è come voler far oscillare e suonare una campana: occorre che il campanaro tiri la corda con colpi della stessa frequenza e in fase con le oscillazioni della campana; altrimenti non riuscirà mai a farla suonare.

La vibrazione elettrica da inviare alla placchetta piezoelettrica deve avere una frequenza pari a quella di risonanza. Ciò avviene quando lo spessore della placchetta è pari a metà della lunghezza d'onda:

$$s = \frac{\lambda}{2} \quad (6.8.7)$$



Nella figura 6.8.11 è schematizzato un sensore di prossimità ad ultrasuoni.

La piastrina  $p$  piezoelettrica è posta tra un materiale di assorbimento acustico "I" e una resina "r" protettiva dall'ambiente esterno e che funge da adattatore di impedenza con l'aria nella quale si propaga l'onda.

Il materiale di assorbimento acustico serve per smorzare le vibrazioni di alta intensità, provenienti dalla riflessione di oggetti vicini.

Sulle due facce opposte della piastrina sono collegati due elettrodi, nei quali viene immesso il segnale elettrico nella trasmissione e raccolto quello di ricezione, dovuto all'onda d'eco che perviene al trasduttore piezoelettrico. Questo funge da trasmettitore, tramutando il segnale sinusoidale elettrico in onda ultrasonica e da ricevitore, tramutando l'onda sonora di eco in segnale elettrico.

Il rilevamento degli oggetti avviene nella seguente maniera. Vedi fig. 6.8.12.

Un generatore di impulsi elettrici genera treni d'onde, costituiti da brevi vibrazioni elettriche della frequenza dell'ultrasuono: diagramma "B". La sequenza degli impulsi è regolata da un sincronizzatore (diagramma A), che li scandisce con impulsi ad intervalli regolari di tempo di tempo T.

Le vibrazioni elettriche vengono tramutate in elastiche nel trasduttore e si propagano nell'aria circostante. L'onda elastica raggiunto l'oggetto viene da questo riflessa e, tornando nel trasduttore, viene trasformata da vibrazione meccanica in elettrica.

L'onda riflessa perviene al trasduttore tra l'emissione di un impulso e l'altro determinando le vibrazioni elettriche di rilevamento dell'oggetto: diagramma "C".

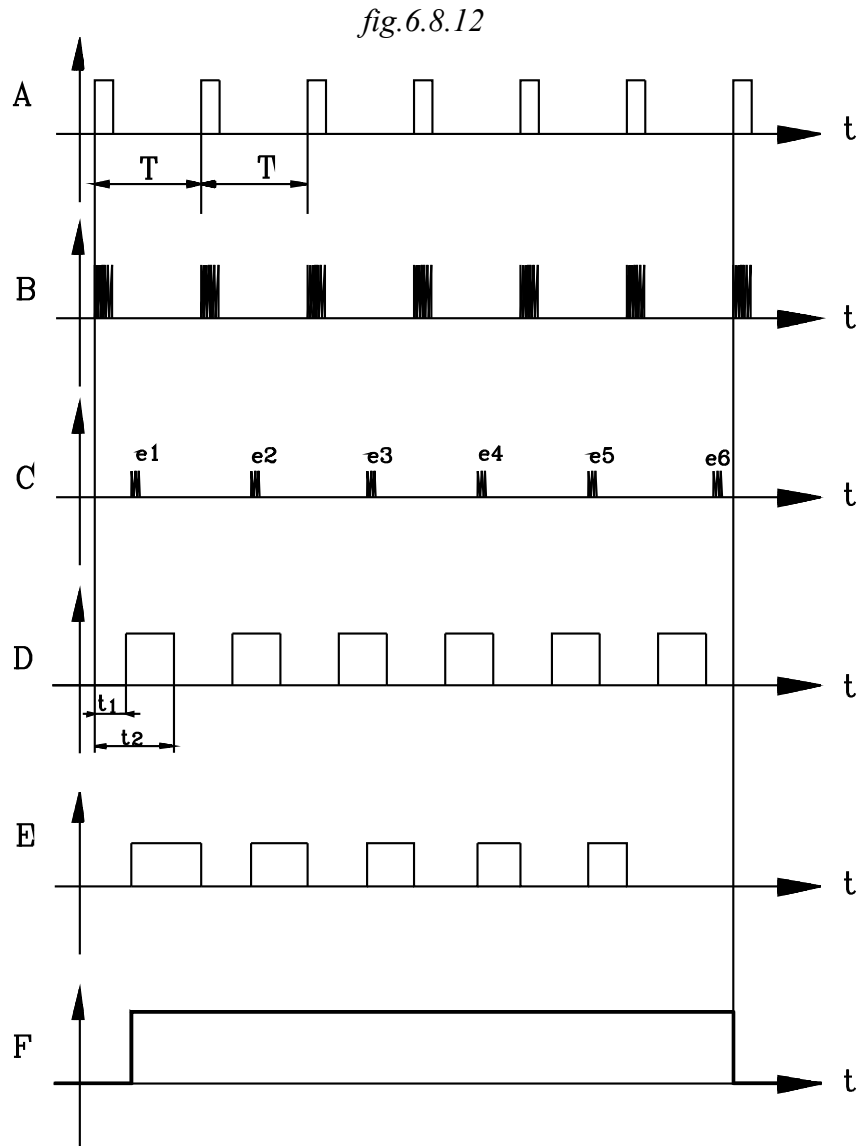
Per ottenere l'informazione della presenza dell'oggetto viene fissata una distanza minima ed una massima rilevabile: oggetti al di fuori di queste distanze non vengono rilevati. Ciò corrisponde a fissare un tempo minimo  $t_1$  ed uno massimo  $t_2$  di ricezione, rispetto all'emissione dell'impulso, nei quali vengono considerati i segnali d'eco. Segnali al di sopra di  $t_2$  e al di sotto di  $t_1$  corrispondono ad oggetti fuori della portata del sensore.

La differenza dei tempi  $t_2 - t_1$  dà la finestra di ricezione. Viene elaborato un segnale che abilita il ricevitore a ricevere il segnale d'eco corrispondente alla finestra di ricezione.

Questo è un segnale di tipo ON OFF che ha un fronte di salita quando l'impulso d'eco rientra nella finestra di ricezione (impulsi  $e_1, e_2, e_3, e_4, e_5$ ) ed un fronte di discesa nell'impulso di sincronismo che segue detto segnale d'eco: diagramma "E".

Così, nella figura si nota che  $e_1$  rientra nella finestra di ricezione e costituisce un fronte di salita del segnale di abilitazione; quello di discesa è dato dall'impulso di sincronismo che segue  $e_1$ .

Il segnale di eco  $e_6$ , invece, è fuori della finestra di ricezione e quindi non abilita il fronte di salita del segnale di abilitazione della ricezione.



Alla fine occorre elaborare un segnale ON OFF che si porti allo stato logico 1 quando l'oggetto si trova entro l'intervallo di ricezione (tra la distanza minima e la massima) e allo stato 0 quando ne è al di fuori.

Questo si ottiene elaborando il segnale indicato nel diagramma "F".

Questo ha un fronte di salita, quando per la prima volta si verifica il fronte di salita del segnale "E" di abilitazione della ricezione. Si ha il fronte di discesa nell'impulso di sincronismo (A) che segue l'eco fuori della finestra di ricezione (il segnale di abilitazione "E" è a livello 0).

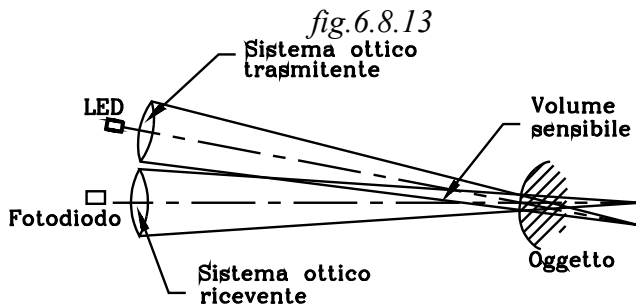
Nella figura il segnale "F" di uscita dal sensore ha il fronte di salita nell'eco  $e_1$  corrispondente al primo fronte di salita del segnale "E" ed ha il fronte di discesa nell'impulso di sincronismo del diagramma A, che segue l'eco  $e_6$  che risulta al di fuori della finestra di ricezione.

Ne viene quindi che il segnale di uscita dal sensore ha lo stato logico 1 quando l'oggetto rientra nell'intervallo di ricezione, e si porta allo stato "0" quando l'oggetto ne è al di fuori.

### 6.8.3.5 Sensori ottici

Basano il loro funzionamento sulla riflessione di un'onda luminosa da parte dell'oggetto da rilevare.

Il sistema è costituito da un LED che, eccitato emette il segnale luminoso ad infrarossi e un fotodiodo, che ricevuta l'onda di riflessione, da parte dell'oggetto la tramuta in un segnale elettrico.



Due sistemi ottici, uno per il fascio luminoso del LED e l'altro per quello riflesso, inviato al fotodiodo, formano due coni che focalizzano la sorgente su, uno stesso piano e si intersecano in una zona a forma di matita, costituente la zona operativa del sensore.

L'onda che perviene al fotodiodo dovuta alla riflessione da parte dell'oggetto, costituisce il segnale di indicazione della sua presenza.

### 6.8.4 Sensori tattili

Questi sensori vengono utilizzati per rilevare il contatto tra la mano del robot e gli oggetti posti nel volume di lavoro.

Mentre con i sensori di prossimità si possono individuare gli oggetti a distanza, posti nella zona di lavoro e, attraverso le informazioni acquisite, si può condurre la mano in prossimità dell'oggetto da manipolare, spetta poi ai sensori di contatto l'individuazione dell'oggetto in loco e di fornire i segnali relativi alla presa, indicanti la correttezza della operazione, la pressione esercitata ecc.

I sensori di contatto si possono suddividere in:

- Sensori binari.
- Sensori analogici.

#### 6.8.4.1 Sensori binari

Sono essenzialmente dei microinterruttori che si pongono in varie posizioni della mano e rivelano se vi è o meno un contatto con l'oggetto.

Ponendo gli interruttori in posizioni strategiche della mano è possibile, dalle informazioni ricevute dai contatti toccati, centrare la presa dell'oggetto.

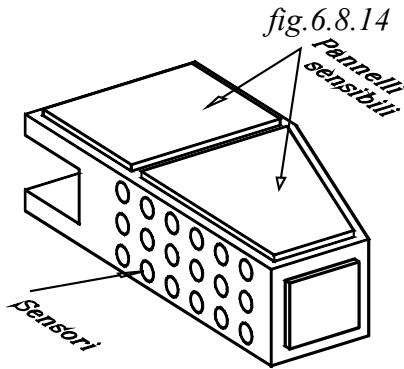
#### 6.8.4.2 Sensori analogici

In questi sensori vengono utilizzati sistemi deformabili, i quali forniscono un segnale di uscita proporzionale allo sforzo locale esercitato nel contatto con l'oggetto. I segnali generati non sono più di tipo ON OFF ma danno, una informazione continua sul contatto locale tra sensore ed oggetto.

Il sensore può disporre di una superficie estesa, suddivisa in tante piccole zone, ciascuna delle quali fornisce un segnale dipendente dalla pressione che l'oggetto a contatto esercita su di esso.

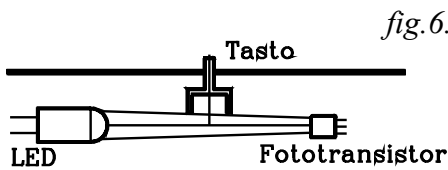
Si può ottenere così una matrice di valori riferiti alle zone della superficie suddivisa in righe e colonne.

### 6.8.4.2.1 Pinza di HILL E SWORD



Ogni dito della pinza è munita di sensori tattili distribuiti su tutti i lati. Sulle 4 superfici esterne sono disposti 7 pannelli sensibili, che possono, attraverso il contatto rilevare oggetti nella zona di lavoro.

Nella parte interna del dito sono disposti 18 sensori analogici.



Ogni sensore è costituito da un tasto che viene spinto nel contatto con l'oggetto verso l'interno del dito, subendo degli spostamenti proporzionali alla pressione esercitata su di esso.

Il tasto reca nella estremità opposta a quella di contatto uno schermo opaco, il quale, nello spostamento verso l'interno, oscura il fascio di luce emanato da un LED e raccolto da un fototransistore.

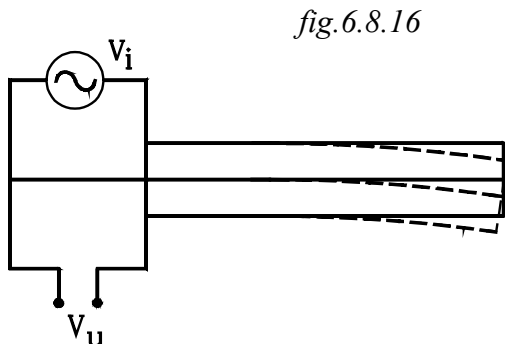
In tal modo, il fototransistore riceverà una porzione del fascio luminoso che va diminuendo all'aumentare della pressione esercitata sul tasto, ottenendo, una misurazione di essa.

L'insieme dei valori ottenuti dai 18 sensori dà un'informazione grossolana della forma dell'oggetto.

### 6.8.4.2.1 Manipolatore di Umetani

Questi tipi di sensori sono utilizzati per manipolare oggetti di piccole dimensioni e piccoli pesi.

Il sensore è costituito da due lamine elastiche piezoelettriche incollate tra loro.

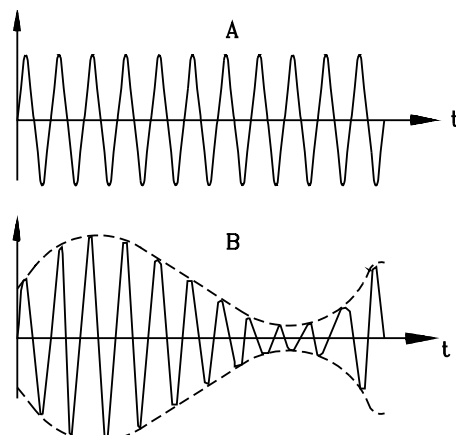


Sulle due facce opposte di una lamina viene applicata una tensione alternata  $V_i$ , che si tramuta, per effetto piezoelettrico, in vibrazione meccanica. Questa si trasmette all'altra lamina incollata alla prima che funge da rivelatore, e si tramuta, in senso inverso, da vibrazione meccanica in elettrica, determinando il segnale di uscita  $V_u$  dal sensore.

fig.6.8.17

Quando sulle lame non vi è alcuna sollecitazione, esse non sono deformate e il segnale di uscita dalla lamina di rivelazione è una sinusoide con ampiezza costante.

Quando si applica una forza sulle lamine, queste si deformano producendo una d.d.p, che va a modulare l'ampiezza della sinusoide di uscita dalla lamina di rilevazione.





Si ottiene così in uscita dal sensore un segnale sinusoidale la cui ampiezza è proporzionale alla forza applicata sulle lamine, dovuta al contatto con l'oggetto da manipolare

### 6.8.4.2.3 Sensori ad aghi

Su una superficie di questi sensori vengono distribuiti degli aghi, disposti in modo tale da costituire righe e colonne di una matrice.

Muovendo il sensore in direzione degli assi degli aghi, questi, incontrando l'oggetto, subiscono uno spostamento che determina il segnale indicante il contatto. La pressione locale esercitata viene misurata dallo spostamento dell'ago posto in quella zona.

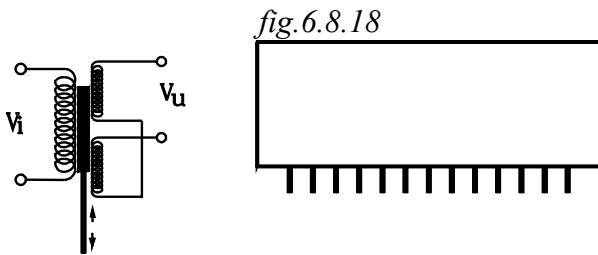


fig.6.8.18

Per la trasduzione dello spostamento dell'ago in segnale elettrico si può utilizzare un trasformatore differenziale, costituito da un secondario, composto da due avvolgimenti di uguale spire ma avvolti nei due sensi opposti.

Ogni ago è solidale ad un nucleo ferromagnetico, che è posto entro il secondario e che, in condizioni di riposo, è in posizione simmetrica rispetto ai due avvolgimenti.

In queste condizioni il segnale che esce dal secondario è nullo.

Quando l'ago viene spostato dal contatto con l'oggetto, allora, il nucleo non è più in posizione simmetrica rispetto ai due avvolgimenti del secondario e, dall'estremità di questo, si preleverà una tensione alternata, proporzionale allo spostamento dell'ago.

Si ottiene, per ogni ago, una tensione sinusoidale di ampiezza dipendente dal suo spostamento provocato nel contatto con l'oggetto.

### 6.8.4.2.4 Pelli artificiali

Questi sensori, tendono a riprodurre artificialmente delle pellicole che abbiano la sensibilità della pelle umana.

Il principio di funzionamento si basa sulla proprietà, che presentano alcune lastre conduttive cedevoli, di variare la loro resistenza elettrica al verificarsi di una deformazione, provocata da una sollecitazione di compressione.

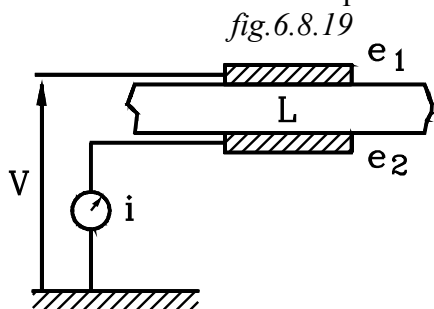


fig.6.8.19

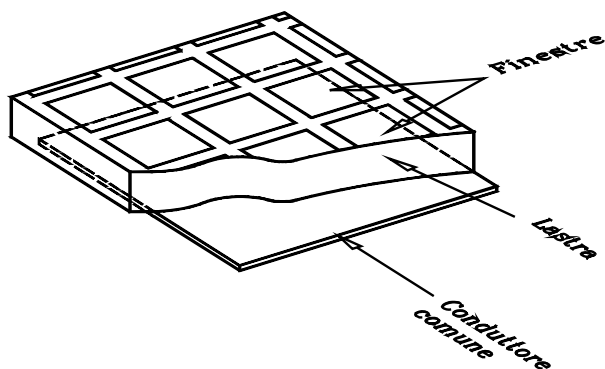
Sulle due facce opposte di una lastra conduttiva cedevole "L", vengono posti due elettrodi, sui quali si applica una d.d.p "V".

In assenza di deformazione, la lastra offre una certa resistenza  $R_1$ , che determinerà, per effetto della d.d.p "V", una corrente "i" di scorrimento tra i due elettrodi.

Imprimendo una pressione sulla lastra, questa si deforma, variando la propria resistenza, portandola ad un nuovo valore  $R_2$ , che determinerà una corrente  $i_1$  dipendente dalla sollecitazione di compressione esercitata.

La variazione della corrente rappresenta il segnale che rileva la pressione esercitata sulla lastra, in prossimità dei due elettrodi.

fig.6.8.20



Si ottiene una matrice sensoriale disponendo su una faccia della lastra deformabile un elettrodo comune e sull'altra più elettrodi di percezione a forma di finestre, disposte secondo righe e colonne di una matrice.

Da ogni elettrodo sensoriale verrà rilevato una corrente dipendente dalla pressione esercitata sulla pelle artificiale in corrispondenza di esso.

## 6.8.5 Sistemi di visione

Nel susseguirsi delle generazioni i robot hanno acquisito sempre di più capacità funzionali proprie dell'uomo.

L'obiettivo futuro è quello di ottenere robot umanoidi che siano dotati di autonomie operative, che li renda adatti a sostituire l'uomo in molte attività (specialmente in quelle nelle quali vi siano situazioni di pericolo, in lavori stressanti o in ambienti nocivi per la salute).

Perché il robot possa compiere autonomamente una operazione complessa, conseguente un evento verificatosi nell'ambiente esterno, è necessario, per prima cosa, che esso sia dotato di organi sensoriali simili a quelli dell'uomo, con i quali possa avere nozione dell'ambiente che lo circonda e rilevare l'evento.

La vista è uno dei sensi cardini che permettono all'uomo di avere conoscenza del mondo esterno.

Nel campo industriale sono stati elaborati sistemi di visione aventi lo scopo di:

- Individuare l'oggetto che deve essere manipolato o sul quale occorre effettuare una lavorazione (saldatura, foratura...).
- Riconoscere l'oggetto, discriminandolo dagli altri.
- Riconoscere l'orientamento dell'oggetto posto sulla superficie di appoggio.

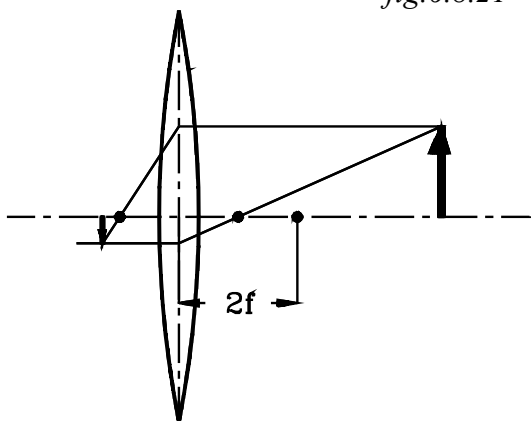
In queste brevi note ci occuperemo dei primi due problemi.

### 6.8.5.1 Organo di visione

L'organo di visione dei robot è costituito da una particolare telecamera con tubo a vuoto *Videcon* o allo stato solido *C.C.D* (Charge Couple Device).

#### 6.8.5.1.1 Sistema con tubo a vuoto

fig.6.8.21



costante di Plank:

La telecamera è munita di un sistema ottico costituente l'obiettivo, schematizzato in figura con una semplice lente sottile biconvessa.

Dell'oggetto, posto oltre la doppia distanza focale dal centro ottico, si forma un'immagine reale e impiccolita, su una superficie fotosensibile posta tra il fuoco e la doppia distanza focale.

Si consideri la natura corpuscolare della luce, considerata come se fosse costituita da tanti proiettili, *fotoni*, aventi una quantità di energia " $w$ ", legata alla frequenza " $f$ " dell'onda elettromagnetica dalla

$$w = h \cdot f \quad (6.8.8)$$

Quando i fotoni battono sullo schermo sensibile vengono separate cariche elettriche (elettroni lacune) che rimangono in loco per la bassa conduttività del materiale.

Si ha così in ogni punto dello schermo una memorizzazione della quantità di energia luminosa che l'ha colpito, dipendente dall'intensità di illuminazione "i" e dal tempo di esposizione  $t_e$ :

$$q = \int_0^{t_e} i \cdot dt \quad (6.8.9)$$

La  $q$  determina la *dose* (di energia accumulata) e  $t_e$  è il tempo di esposizione all'illuminazione del punto dello schermo sensibile.

La dose, quindi, dipende non solamente dalla intensità di illuminazione del punto ma anche dal tempo di esposizione.

A parità di questo, nelle varie zone dello schermo, si ha accumulo di cariche elettriche, dipendenti dall'intensità di illuminazione dovuta all'immagine proiettata su di esso: a zone più scure corrisponde minore quantità di carica, a zone più chiare maggiore quantità.

L'immagine sullo schermo si traduce in una diversificazione di cariche accumulate su di esso nelle varie zone, a seconda della loro luminosità.

Le tonalità di chiaro e scuro delle varie zone dell'immagine, proiettata sullo schermo sensibile, si tramutano, rispettivamente, nella maggiore o minore quantità di carica accumulata in quelle.

### 6.8.5.2 Lettura dell'immagine proiettata

Lo schermo, ove è proiettata l'immagine, si può suddividere in tante piccole zone, ciascuna delle quali ha una quantità di carica accumulata, dipendente dalla luminosità della zona e dal tempo di esposizione.

In un determinato istante si può così considerare una matrice di righe e colonne, aventi come elementi le cariche accumulate nelle varie zone nelle quali si è suddiviso lo schermo.

Occorre ora leggere l'immagine proiettata sullo schermo, in modo da ricavarne, per ogni zona, un segnale dipendente dalla sua luminosità.

La lettura avviene liberando sequenzialmente, una alla volta, le cariche accumulate nelle zone dello schermo in cui è stata suddivisa l'immagine.

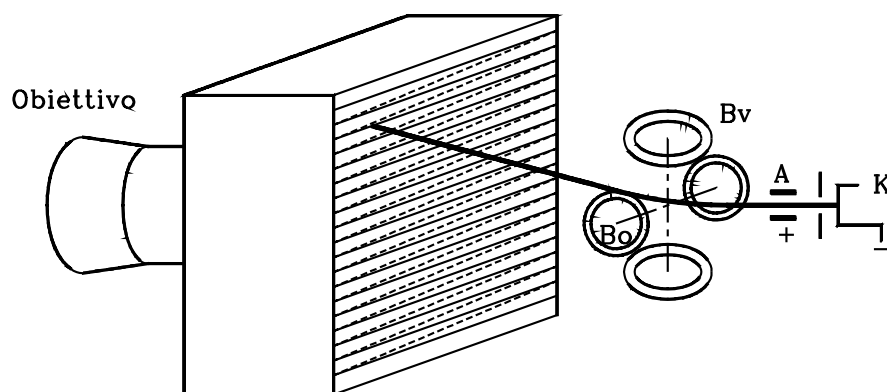
Nella liberazione della carica in una zona si ottiene una corrente dipendente dalla carica accumulata, la quale dipende dalla luminosità della zona e dal tempo di esposizione e dal tempo di lettura.

Affinché il segnale elettrico rilevato (liberando le cariche accumulate) dipenda solamente dalla intensità di illuminazione della zona e non, anche, dal tempo di esposizione e di lettura, occorre:

- che si impieghi lo stesso tempo per leggere le diverse zone.
- che, tra una lettura e l'altra della stessa zona, passi sempre lo stesso intervallo di tempo, in modo che, in tale intervallo, il tempo di esposizione sia costante.

Per effettuare la lettura in un tubo a vuoto si proietta un fascetto elettronico sulla superficie fotosensibile che viene esplorata con una scansione orizzontale e verticale.

*fig.6.8.22*



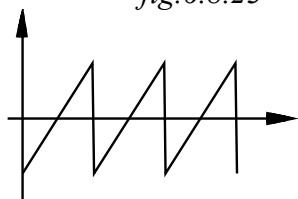
Un catodo emittente  $K$ , posto a potenziale negativo, portato ad alta temperatura, emette elettroni. Questi vengono accelerati dall'anodo  $A$ , posto a potenziale positivo, e inviati verso lo schermo. Si forma un fascio divergente di elettroni, che viene poi reso convergente e focalizzato sullo schermo da una lente elettronica, non rappresentata in figura.

Il fascetto di elettroni passa attraverso due campi magnetici, generati da due serie di bobine " $B_v$ ", " $B_o$ ", rispettivamente, una con asse verticale e l'altra con asse orizzontale.

Quando un elettrone, in moto, taglia normalmente un campo magnetico, è soggetto alla forza di Lorentz, che risulta normale sia alla sua velocità che alla direzione del campo.

In tal modo l'elettrone, passando sui due campi magnetici, può essere, a seconda dell'intensità di questi, deviato sia orizzontalmente che verticalmente.

fig.6.8.23



Sulle due bobine " $B_v$ ", che determinano una deviazione orizzontale del fascetto elettronico, viene inviata un segnale elettrico che genera un campo magnetico a dente di sega.

Per effetto di detto segnale, il fascetto elettronico, partendo dall'estremità sinistra dello schermo, con velocità costante, si porta all'estremità destra; raggiunta questa, si ha un rapido ritorno all'estremità sinistra. Si ottiene una esplorazione con velocità costante di una riga da sinistra verso destra, con ritorno rapido a sinistra alla fine dell'esplorazione.

L'altra bobina  $B_o$  genera un campo magnetico orizzontale che devia il fascetto elettronico verticalmente, in modo tale che, nel ritorno rapido a sinistra del fascetto elettronico, questo ha subito una deviazione verso il basso e, quando viene deviato di nuovo orizzontalmente verso destra, si muove su di un'altra riga, parallela alla precedente e spostata in basso.

Quando il fascetto elettronico ha esplorato l'ultima riga in basso dello schermo, allora la bobina  $B_o$ , lo devia in alto sulla prima riga.

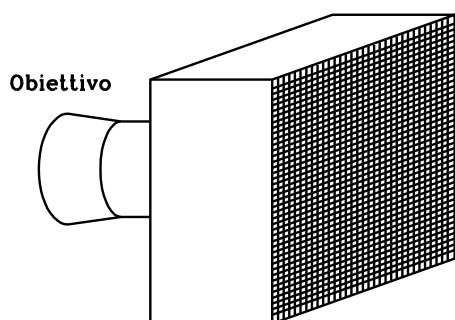
In definitiva, nella lettura dello schermo, il fascetto elettronico, partendo dalla estremità in alto a sinistra, con velocità costante, esplora la prima riga, spostandosi da sinistra a destra; arrivato all'estremità destra, si ha un oscuramento e il fascetto torna istantaneamente all'estremità sinistra, mentre subisce uno spostamento verticale dall'alto verso il basso.

Viene quindi esplorata una nuova riga orizzontale e successivamente tutte le altre con la stessa modalità. Ultimata l'esplorazione dell'ultima riga, il fascetto torna all'estremità sinistra in alto, per iniziare una nuova esplorazione, riga per riga, dello schermo.

È evidente che con questa modalità di esplorazione le varie zone vengono lette con la stessa velocità e ad intervalli costanti di tempo; per cui, da una lettura all'altra, ogni zona ha uno stesso tempo di esposizione all'illuminazione. Ne viene che il segnale elettrico, ricavato dalla liberazione della carica accumulata nella zona, varia solamente in funzione della intensità di illuminazione di questa.

### 68.5.3 Telecamere allo stato solido

*fig. 6.8.24*



Nelle telecamere C.C.D allo stato solido la superficie ove è proiettata l'immagine è costituita da una matrice di fotodiodi; cosicché la superficie sensibile è suddivisa da un numero elevato e finito di sensori che separano cariche elettriche in funzione dell'intensità di illuminazione.

Occorre come per il tubo a vuoto effettuare una esplorazione delle singole celle, riga per riga. In questo caso vengono lette le tensioni che si sono stabilite nelle celle in funzione dell'intensità d'illuminazione della parte di

immagine che si è formata su di esse.

La scansione di lettura delle celle, poste sulle diverse righe, viene effettuata con una scansione di tipo meccanico.

Nelle applicazioni industriali la telecamera allo stato solido sta sempre più sostituendo quella con tubo a vuoto; perché, rispetto a questa, offre una maggiore robustezza, una minore sensibilità ai campi magnetici, e minore possibilità di essere danneggiata da sollecitazioni meccaniche, specialmente se occorre installarla a bordo del robot.

Di contro la telecamera a tubo a vuoto offre il pregio di un minor costo, una migliore risoluzione, caratteristica importante nel riconoscimento degli oggetti e, specialmente, delle sue particolarità.

### 6.8.5.4 Acquisizione delle immagini

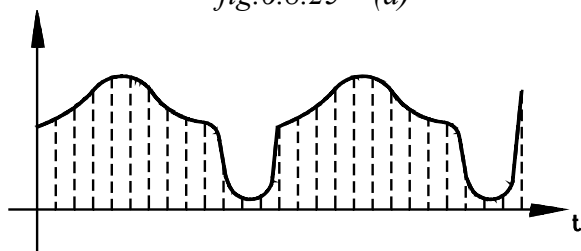
I segnali ottenuti dalla lettura dell'immagine formata sullo schermo sensibile è di tipo analogico.

Occorre osservare che nelle telecamere C.C.D si ottengono segnali discreti, in quanto si riferiscono alle celle sensibili che sono in numero finito; ma, il segnale prelevato da ogni cella è di tipo analogico.

Per poter elaborare al computer i segnali rilevati dall'immagine, occorre che essi siano tramutati da analogici in digitali.

Occorre effettuare su di essi una operazione di campionamento e quantizzazione.

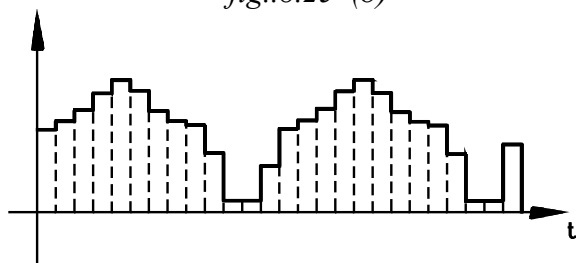
*fig. 6.8.25 (a)*



massimo di fondo scala  $VFSR$ .

Sia quella di figura *fig. 6.8.25 (a)* un segnale analogico ricavato dalla lettura dell'immagine proiettata su una riga dello schermo sensibile. Per ricavare un segnale digitale occorre quantizzare la grandezza analogica in intervalli regolari di tempo ottenendo valori multipli di un quanto fondamentale "q", fino ad un valore

*fig. 8.25 (b)*



Il segnale proveniente dal campionamento dell'analogico è costituito da gradini in intervalli regolari di tempo.

Ogni riga dello schermo va letta così con una campionatura. Usualmente, di ogni riga, si

prelevano 256 o 512 campioni; cosicché si ottengono 256 o 512 zone di illuminazione rilevate e campionate, dette *pixel*.

Ogni pixel, poi, indicante la luminosità della zona di immagine letta, va quantizzata con un valore multiplo del quanto fondamentale.

Il valore ottenuto deve essere codificato e tramutato in una *parola*.

Utilizzando un convertitore ad 8 bit, si possono avere in totale:  $2^8 = 256$  valori differenti; cosicché un pixel riferentesi alla luminosità di una zona può indicare 256 tonalità di grigio, dal bianco al nero.

I 256 valori possibili vengono tramutati in altrettante parole, ottenute con le combinazioni (1,0) che possono assumere le 8 uscite del codificatore.

Nelle telecamere a tubo a vuoto, durante la scansione delle righe da parte del fascetto elettronico, viene attivato un blocco di memoria (*Framstore*) per la memorizzazione dei toni di grigio, corrispondenti a ciascun pixel, costituente l'immagine.

Tale memorizzazione avviene con un sincronismo tra la scansione e la collocazione in un gruppo di memoria: in modo che ad ogni posizione di memoria corrisponda una posizione del pixel letto sullo schermo.

Nelle telecamere allo stato solido ciascun elemento del sensore risulta collegato ad un blocco di memoria e viene letto ad intervalli regolari di tempo.

#### 6.8.5.5 Elaborazione delle immagini

Con la codifica in parole dei pixel relativi ai punti illuminati dello schermo sensibile e la successiva memorizzazione, si ottiene un'immagine numerica dell'oggetto.

Su questa immagine numerica dell'oggetto, memorizzata nella memoria del calcolatore, è possibile effettuare delle elaborazioni che rendano il sistema di visione adatto ad essere utilizzato in applicazioni industriali.

#### 6.8.5.6 Segmentazione

I pixel, riferiti alla superficie dello schermo, costituiscono una matrice di righe e colonne.

Nella codifica effettuata, ciascun pixel rappresenta la tonalità di grigio di un elemento dell'immagine, espressa da *8 bit 1 byte*.

Considerando una matrice di  $256 \times 256$  elementi posti su righe e colonne, la quantità di informazione da memorizzare è di:  $256 \times 256 = 65.536$  byte.

Oggi non costituisce un problema la dotazione di tale quantità di memoria. Resta però il problema che, con una trasmissione seriale, occorre un elevato tempo per esplorare tali quantità di dati.

Occorre dire che, per scopi industriali, la visione vuole risolvere il problema di poter riconoscere un oggetto nella sua forma essenziale, tanto da poter essere manipolato o per effettuare su di esso particolari lavorazioni e, in alcuni casi, di conoscere il suo orientamento sul piano di lavoro.

Consideriamo, in queste brevi note, solamente il problema del riconoscimento della forma dell'oggetto, nella proiezione di esso sul piano di appoggio, che funge da sfondo.

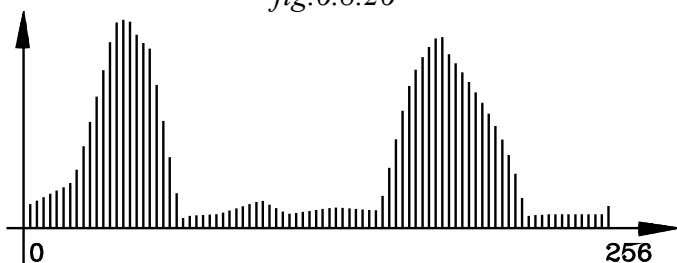
Per il riconoscimento di detta forma dell'oggetto (sagoma sullo sfondo), non occorre utilizzare le 256 tonalità di grigio. Con una adeguata illuminazione, si può far in modo che vi sia un contrasto marcato di luminosità tra l'oggetto e lo sfondo, in modo che si possa attribuire all'uno il bianco e all'altro il nero (o viceversa).

In questo caso i dati da rilevare, riferiti ad un pixel, sono solamente di 2 bit: *bianco o nero*, e la quantità di informazione riferita allo schermo è di:  $256 \times 256 = 65.536$  bit (e non byte).

Per ottenere ciò occorre fissare un valore di soglia delle tonalità di grigio, in modo che, quelle superiori alla soglia si considerino tutte come nero (1) e quelle inferiori come bianco (0).

Un criterio per la scelta del limite di soglia può essere effettuato con l'analisi dell'istogramma dei grigi.

fig.6.8.26



Sull'asse delle ascisse si riportano le 256 tonalità di grigio, e, per ognuna di esse si pone una ordinata indicante il numero di volte che compare nella lettura dell'illuminazione dell'immagine.

Si ottiene così un grafico che può presentare dei picchi. Se i picchi sono 2, uno sui bassi valori e uno sugli alti, indicante un buon contrasto delle tonalità dell'immagine, come valore di soglia si assume quello alla metà tra i due picchi.

Si può ulteriormente ridurre la memorizzazione di dati riferendo questi alla determinazione del contorno dell'oggetto. Occorre in tal caso effettuare la memorizzazione delle zone ove si ha un brusco cambiamento delle tonalità di grigio. Il contrasto è favorito da una opportuna illuminazione che differenzia la luminosità dell'immagine dell'oggetto dallo sfondo.

### 68.5.7 Riconoscimento dell'immagine di un oggetto

Nella memoria dell'unità centrale vengono memorizzati dei parametri caratteristici dell'oggetto da riconoscere che ne costituiscono il modello.

Per il riconoscimento, vengono posti a confronto i parametri dell'immagine ripresa dalla telecamera con quelli del modello in memoria. L'identità dei parametri a confronto determina il riconoscimento dell'oggetto.

Nella elaborazione dei dati, riferentesi ai pixel estratti dalle varie regioni dell'immagine dell'oggetto, possono essere ricavati dei parametri dipendenti dalla forma di detta immagine.

Si ottengono dei "descrittori di forma" che possono essere utilizzati per il confronto degli stessi con quelli del modello dell'oggetto memorizzati.

Vi sono vari descrittori di forma: Ne ricordiamo alcuni:

Area       Insieme dei pixel che appartengono alle regioni connesse.

Perimetro   Insieme dei pixel di confine tra regioni non connesse tra loro.

Grassezza   É il rapporto tra il quadrato del perimetro e l'area:  $\frac{p^2}{A}$ .

Centro di gravità   Coordinate del punto rispetto al quale il momento statico della superficie è nullo.

Numero di fori    La superficie può contenere un numero di fori che la contraddistingue.

Ecc.

Se occorre riconoscere un solo oggetto, che può essere presente o meno sullo sfondo, basta in tal caso effettuare il confronto con pochi parametri, che può ridursi ad uno solo se l'orientamento dell'oggetto è fisso.

Se occorre riconoscere oggetti diversi che si presentano sul piano di appoggio, occorre confrontare, di volta in volta, l'immagine dell'oggetto in esame con i modelli memorizzati.

Per facilitare l'operazione di riconoscimento, conviene costituire delle classi di equivalenza dei descrittori di forma, ponendo nella stessa classe quei modelli aventi la stessa proprietà. Così porremo nella stessa classe tutti quelli che fanno dei fori, oppure quelli che hanno la stessa superficie. Ecc.

Nell'analisi dell'immagine, si analizzano le classi. Così, analizzando la classe avente una certa superficie, vengono subito escluse dal riconoscimento quei modelli che non hanno tale superficie e rientrano quelli che la soddisfano. Si passa quindi ad analizzare un altro descrittore di forma, escludendo quei modelli che non lo soddisfano e facendo rientrare gli altri. Così per continue esclusioni si arriva al riconoscimento dell'immagine dell'oggetto che soddisfa a determinati descrittori di forma.



## 6.9 UNITÀ DI CONTROLLO - PROGRAMMAZIONE DEI ROBOT

### 6.9.1 Unità di controllo

Per poter movimentare un robot con la gestione in contemporanea dei suoi assi, occorre una particolare unità di governo nella quale sia possibile effettuare la programmazione del moto con controlli sulla traiettoria sulla velocità di lavoro ecc.

All'unità di controllo possono essere affidati diversi compiti

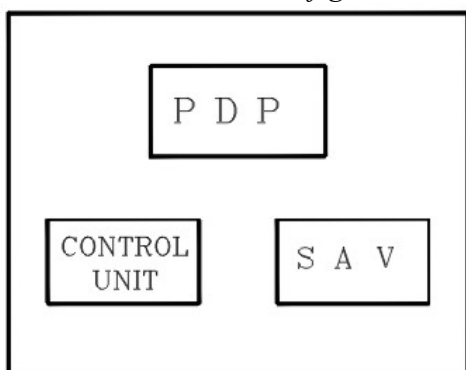
- *Esecuzione di programmi*  
Il robot deve essere programmato per eseguire una sequenza di movimenti, di operazioni come l'apertura e chiusura pinza, il riconoscimento del pezzo e di ostacoli ecc. Il programma si traduce in una sequenza di istruzioni codificate e memorizzate nella memoria principale dell'unità di controllo.
- *Controllo del movimento*  
Il controllo del moto può avvenire sia sulla posizione che sulla velocità con catene chiuse di retroazione.  
Il controllo di posizione può essere effettuato solamente sulla posizione iniziale e finale nello spostamento da un punto all'altro dell'effettore, oppure sulla intera traiettoria con la quale lo stesso si porta dal punto iniziale al finale.
- *Trasformazione delle coordinate cartesiane in quelle di giunto*  
Nella programmazione l'utente adopera le coordinate cartesiane rispetto al riferimento  $x_0, y_0, z_0$  solidale alla base di appoggio. Occorre che queste vengano trasformate in coordinate di giunto, determinanti i moti degli attuatori che portano l'effettore nella posizione voluta e con l'orientamento desiderato.
- *Interfaccia utente*  
L'unità di controllo può colloquiare con l'utente, verso il quale invia messaggi sulle operazioni che sta effettuando il robot, sullo stato attuale del sistema ed eventuali errori e mal funzionamenti che si possono verificare, e può ricevere, da parte dell'utente, delle domande sul funzionamento.
- *Comunicazioni con altre unità di controllo*  
Con porte seriali tipo RS 232, RS 485 l'unità di controllo può comunicare con altre unità. Ciò risulta molto importante, come si vedrà, nella fabbrica automatizzata "CIM", nella quale vengono posti sotto controllo tutti i fattori che possono influire sull'andamento dell'azienda, attraverso sistemi programmabili gestiti da computer, collegati tra loro in modo da ottenere un continuo scambio di informazioni.

#### 6.9.1.1 Sistema a blocchi

Si prende come esempio il sistema di controllo della COMAU

L'Unità si divide in tre parti fondamentali:

*fig.6.9.1*



#### **P.D.P**

È la parte elettrotecnica che fornisce le tensioni ausiliarie 220-110-24 Volt.

#### **CONTROL UNIT**

Parte elettronica nella quale vengono elaborati i segnali di comando.

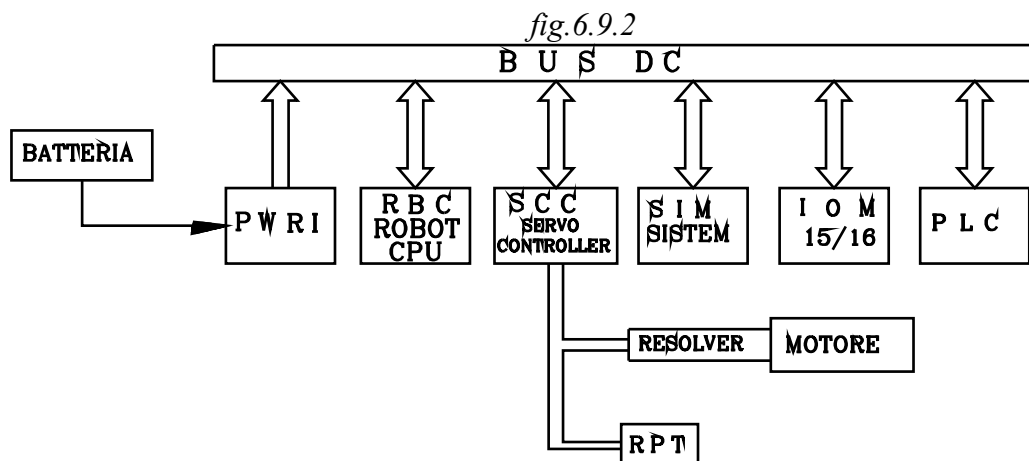
#### **S.A.V**

Parte di potenza.

L'Unità di Controllo usa la tecnica RESOLVER sia per l'elaborazione del segnale di posizione, che di velocità.

Con la tecnica RESOLVER della COMAU si ottiene sia un trasduttore incrementale che assoluto.

L'Unità di Controllo è un sistema a BUS nel quale si possono distinguere i seguenti blocchi fondamentali



### PWRI

È la parte di alimentazione che serve le schede elettroniche. Le memorie, di tipo RAM, vengono mantenute attive per mezzo di una batteria tampone, la quale conserva la carica per 1000 ore.

Se viene a mancare la tensione in rete più di 20 msec cade un segnale ed avverte il microprocessore; dopo altri 5 msec, se la tensione non ritorna al valore voluto viene disattivato il sistema e si accende un Led di avviso.

### RBC

È la Scheda Master principale che ha il compito di governo: gestire i programmi, il video, la tastiera; ad essa è legata la diagnostica.

Pannello operatore -contiene i programmi nella RAM DISK.

### SCC

Controllore di movimento.

Controlla fino a 8 assi.

Da un lato è collegato all'unità di potenza PWRI dall'altro con il RESOLVER.

### SIM

Permette di collegare l'UNITÀ con il mondo esterno o con il PLC contenuto nella UNITA' stessa.

La scheda contiene gli ingressi e uscite di sicurezza sia del robot che del mondo esterno.

### IOM

Scheda contenente 16 ingressi e 15 uscite.

#### 6.9.1.2 Sistema di controllo ad anello chiuso -tecnica resolver

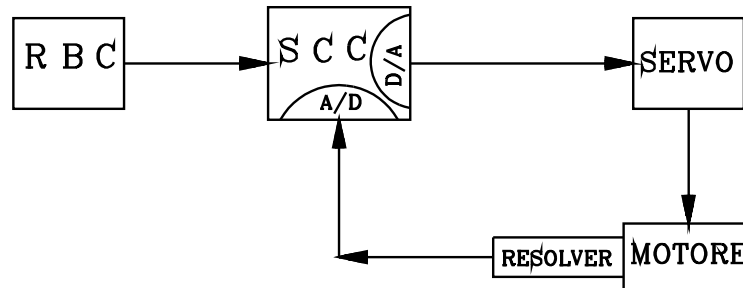
Dalla scheda master principale RBC escono i segnali provenienti dal programma di movimentazione *fig.6.9.3*.

Digitando un programma, si creano due file: in uno vi sono le istruzioni del programma, nell'altro le variabili con le quote, velocità ecc.

I valori sono dati in bit.

I segnali che escono dalla RBC sono digitali, per essere utilizzati per il comando dei motori occorre trasformarli in forma analogica.

fig.6.9.3



All'uscita del controllore di movimento SCC, le istruzioni di comando per i motori vengono trasformati da digitali in analogici.

La catena di retroazione si ha tra il controllore di movimento SCC, il servomotore, il motore e il resolver, che invia il segnale di posizione all'SCC. Per l'elaborazione in questo del segnale di retroazione, occorre trasformare il segnale analogico proveniente dal resolver in digitale.

La istruzione di movimentazione è costituita da una posizione iniziale A ed una finale B.

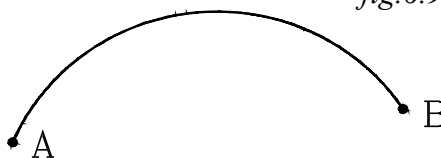
Alla posizione iniziale e finale vengono associati valori che si riferiscono alle coordinate degli assi.

L'istruzione può essere data in due modi diversi:

### 1. *Modo Joint*

Viene data solamente l'indicazione della posizione iniziale e finale.

fig.6.9.4



La scheda master RBC, automaticamente elabora un insieme di posizioni intermedie nella maniera più conveniente al sistema.

L'istruzione è del tipo

*MOVE TO A*  
*MOVE TO B*

### 2. *Con interpolazione*

In questo caso oltre a dare l'indicazione della posizione iniziale e finale, si specifica il tipo di interpolazione con il quale si intende congiungere il punto iniziale A e finale B.

Così, ad esempio, se si vuole che dal punto A al punto B si vada con un tratto rettilineo, l'istruzione è del tipo:

*MOVE LINEAR TO A*

fig.6.9.5



Il segnale che esce dalla scheda RBC è il segnale *Target Position "TP"*

### 6.9.1.2.1 Elaborazione del segnale di errore "FE"

Il segnale  $TP$  è digitale e viene inviato nella scheda SCC.

Il segnale di posizione  $TP$  viene confrontato con quello proveniente dal RESOLVER. Questo è stato trasformato da Analogico in Digitale, ottenendo il segnale  $RP$  (Resolver Position).

Viene effettuata la differenza :

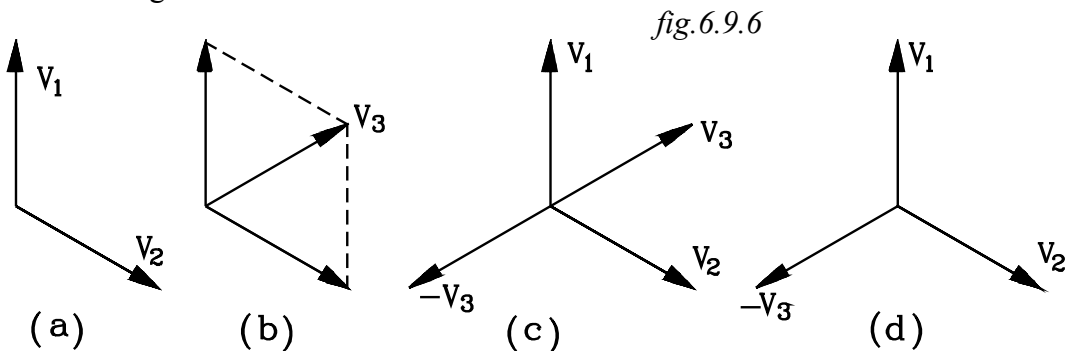
$$TP-RP=FE \quad (6.9.6)$$

ottenendo il segnale di errore  $FE$  (*Following Error*) che andrà a comandare il motore

Ogni 10 msec viene emesso dalla scheda RBC un segnale *Target Position "TP"* e, dalla differenza di questo con il segnale del Resolver (trasformato in forma digitale), viene ricavato l'errore  $FE$ .

Nella scheda SCC il segnale  $FE$  ottenuto viene trasformato da Digitale in Analogico; e questo deve comandare il motore in corrente alternata di un asse.

Dal segnale  $FE$  vengono elaborati due vettori  $V_1$   $V_2$  sfasati di  $120^\circ$  come in *fig.6.9.6 (a)*; si ottengono cioè due correnti (tensioni) sinusoidali sfasate di  $120^\circ$ , aventi il valore max proporzionale al segnale di errore  $FE$



I due vettori entrano nel SERVO nel quale viene effettuata la loro somma, ottenendo un terzo vettore  $V_3$  che risulta  $60^\circ$  in ritardo rispetto a  $V_1$ .

Invertendo la fase di  $V_3$  si ottiene il vettore  $-V_3$  che risulta a  $120^\circ$  in ritardo rispetto a  $V_2$ .

In tal modo si ottengono tre correnti sinusoidali con la stessa ampiezza e sfasate di  $120^\circ$  l'una rispetto all'altra, costituendo così un sistema di correnti trifase simmetrico ed equilibrato.

Il sistema di correnti trifase va ad alimentare il motore per determinare la posizione imposta dal programma.

Il motore ruoterà fino a che il segnale di errore  $FE$  risulta nullo, e ciò avviene quando il segnale di posizione comandato  $TP$  risulta uguale al segnale proveniente dal Resolver  $RP$ , indicante la posizione raggiunta.

Nel sistema COMAU sia il controllo di posizione che di velocità sono ottenuti dal Resolver.

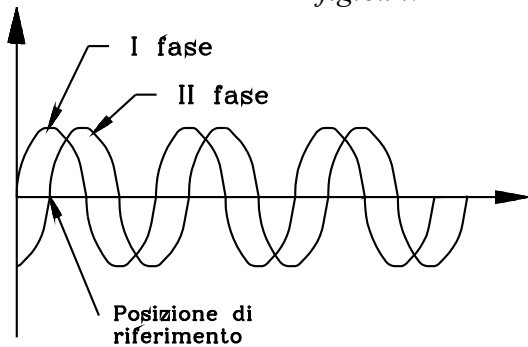
Ogni segnale di *Target* che perviene alla SERVO viene suddiviso in 10 più piccoli e ogni 200  $\mu\text{sec}$  viene controllato il Resolver.

Alla fine vengono elaborati due *RP* uno di posizione e uno di velocità che verranno confrontati nella SCC con i segnali di *Target* provenienti dalla scheda RBC.

Il Sistema a resolver della COMAU può far compiere al robot sia i micro che i macromovimenti. Il resolver può funzionare sia come resolver incrementale che assoluto.

Un solo resolver si presenta come un trasduttore incrementale; infatti dopo un giro si ottengono gli stessi segnali del precedente.

fig.6.9.7



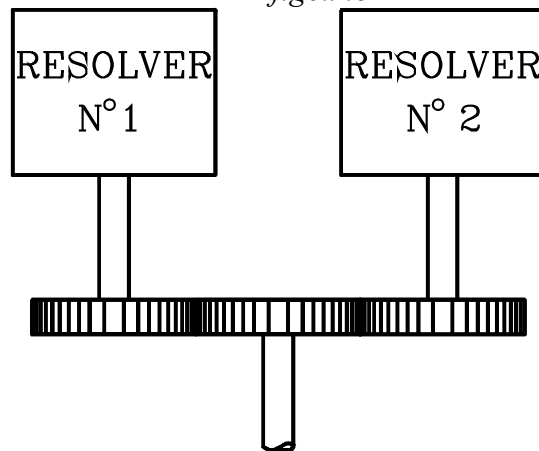
Per segnare lo zero " $\Theta=0$ " si prende come riferimento il punto corrispondente alla posizione per la quale il segnale nell'avvolgimento II passa per zero.

Ricordiamo che inviando il segnale nel rotore del resolver i due segnali uscenti dallo statore sono sfasati di  $90^\circ$  elettrici.

Per ottenere un resolver assoluto una prima soluzione semplicistica si può ottenere mettendo un sensore di prossimità a metà giro del rotore. In tal modo il n° di giri dà il movimento grossolano e la rotazione entro un giro determina il movimento fine.

Un'altra soluzione percorsa è stata il sistema a due resolver.

fig.6.9.8



Il moto dall'albero del motore viene trasmesso ad un pignone sul quale ingranano due ruote dentate i cui numero di denti differiscono di un solo dente (127, 128).

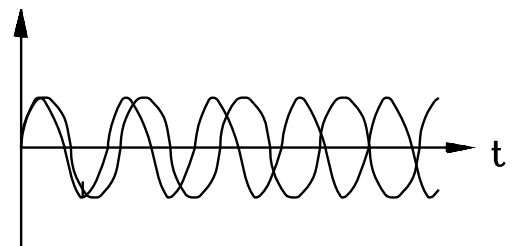
fig.6.9.9

Ciascuna ruota dentata porta il moto ad un resolver.

I due resolver, così ruotano con numero di giri leggermente diversi; in tal modo vengono prelevati due segnali sinusoidali che si sfasano continuamente.

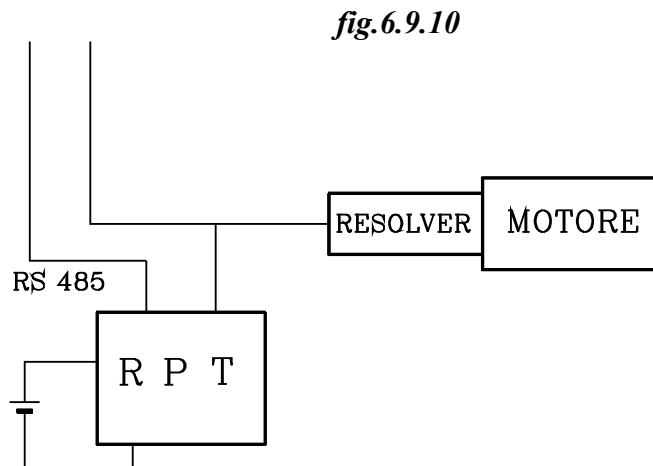
Ne viene che la loro somma non risulta mai uguale durante la rotazione di più giri.

Si ha così un corrispondenza biunivoca tra rotazione assoluta (posizione) e segnale.



Il sistema a due revolver molto preciso ma comporta un elevato costo.

La COMAU ha messo a punto un sistema ad un solo resolver, con l'aggiunta di una scheda che funge da contatore di giri: scheda RPT.



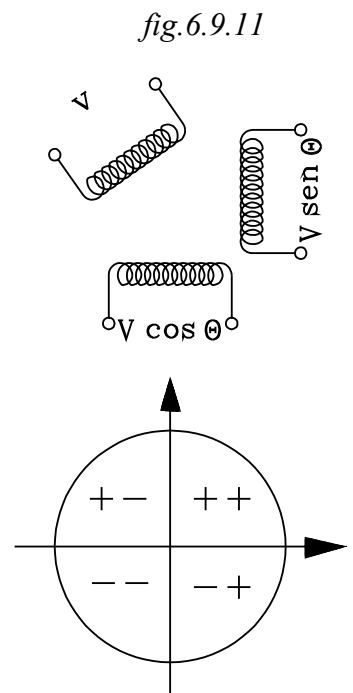
Consideriamo lo schema del resolver. Il rotore viene alimentato con una tensione sinusoidale 6V picco-picco e frequenza 4.86KH. Nei due avvolgimenti a 90° meccanici vengono prelevate tensioni una secondo il seno e l'altra secondo il coseno.

Passando da un quadrante all'altro variano i segni delle funzioni tale cambiamento di segno determina il segnale che incrementa il contatore della scheda RPT.

La scheda RPT è collegata con il robot mediante una linea seriale RS 485, nella quale viene comunicata la posizione del robot stesso.

La posizione del robot viene memorizzata nella RPT, per cui se si spegne e si muove il robot, quando riaccendo la scheda RPT ricorda la posizione precedente, la confronta con quella nuova del robot, viene elaborato il segnale di errore che riporta il robot nella posizione che aveva nella posizione finale che aveva lasciato prima dell'interruzione.

Da quanto detto è compito della SCC + SERVO dare i segnali di controllo per micromovimenti, mentre la scheda RPT, contando i giri, dà i segnali per i movimenti grossolani.



## 6.9.2 PROGRAMMAZIONE DEI ROBOT

### 6.9.2.1 Generalità

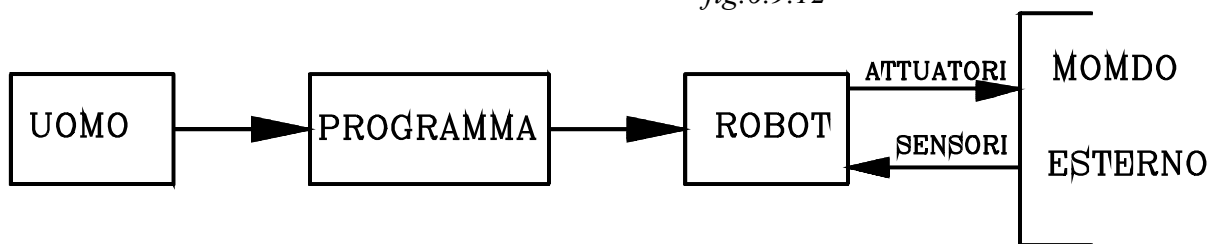
Nel funzionamento del robot occorre distinguere due interazioni fondamentali: tra uomo e robot e questo con il mondo esterno.

L'uomo interagisce con il robot programmando questo per l'esecuzione di un determinato compito.

L'azione del robot sul mondo esterno può avvenire senza la verifica dei risultati ottenuti, oppure con un continuo controllo delle operazioni effettuate e la verifica degli obiettivi prefissati, attraverso segnali emessi dai sensori esterni.

Nel primo caso il robot funziona a catena aperta e non vengono rilevati eventuali errori, nel secondo caso si ha il funzionamento a catena chiusa "*feedback*" dove, come noto, è l'errore stesso che pilota gli attuatori a muoversi fino a che l'errore si annulla.

fig.6.9.12



Il rapporto uomo robot si esplica principalmente attraverso la programmazione.

Il programma di un robot si compone essenzialmente da una serie di comandi di posizione che deve assumere l'effettore, con possibilità o meno di indicare la traiettoria che deve seguire per spostarsi da un punto all'altro.

Possono essere imposte nelle condizioni al contorno altri, parametri ed istruzioni: come la velocità di lavoro e di spostamento rapido, il comando di apertura e chiusura pinza, l'acquisizione di segnali esterni che condizionano il ciclo di lavoro, ecc.

I programmi possono differire a seconda del compito che viene assegnato al robot e delle prestazioni che esso deve assolvere nella movimentazione. Il programma poi sarà diverso a seconda del rapporto che il robot deve avere con il mondo esterno: esso può essere a catena aperta o con feedback.

Una distinzione rilevante dei programmi riguarda se questi avvengono *in linea*, con apprendimento nel posto di lavoro o *fuori linea*, in ufficio tecnico, al di fuori del posto di lavoro.

Nel primo caso il robot viene programmato portando l'effettore fisicamente nelle posizioni che deve assumere nel ciclo di lavoro: facendo muovere uno alla volta i motori degli assi o conducendo per mano l'effettore stesso. Le posizioni assunte dall'effettore e, in alcuni programmi, anche le traiettorie vengono memorizzati. Il robot poi ripeterà le operazioni apprese.

Nella programmazione *fuori linea*, le operazioni di movimentazione del robot vengono descritte per via matematica, attraverso linguaggi evoluti che comunicano all'unità di governo i dati necessari allo svolgimento del compito che dovrà assolvere il robot.

Vengono qui di seguito descritti brevemente i diversi tipi di programmazione dei robot. A seconda del tipo di controllo, si hanno:

- Programmi per cicli sequenziali con segnali ON OFF.
- Programmi con autoapprendimento punto - punto.
- Programmi di autoapprendimento continuo di posizione.

- Programmi fuori linea con linguaggi evoluti.

### 6.9.2.2 Programma per manipolatori sequenziali - Segnali ON - OFF

In questi robot la movimentazione viene effettuata spostando un asse alla volta.

Il programma consiste in una successione di istruzioni di muovere i singoli giunti in posizioni prefissate, controllate da finecorsa. Il ciclo di lavoro è una successione di fasi sequenziali: in ogni fase il giunto predisposto inizia il movimento solamente quando è ultimato quello del giunto mosso nella fase precedente.

In questi robot come attuatori possono essere utilizzati cilindri pneumatici che muovono uno alla volta gli elementi della catena cinematica principale. Il controllo della posizione ottenuta è effettuata da finecorsa, i quali elaborano i segnali di comando delle successive fasi del ciclo di lavoro.

I robot che meglio si adattano ad essere utilizzati come robot sequenziali sono quelli a struttura principale cilindrica o articolata orizzontale. vengono utilizzati per il carico e scarico di materiali posti in posizioni fisse. Il collegamento con il mondo esterno avviene mediante segnali emessi da sensori di prossimità, che condizionano lo svolgimento del ciclo di lavoro, che può essere sincronizzato a quello di altri meccanismi o macchine utensili ai quali il robot è asservito.

Così, per esempio, prima di iniziare il ciclo di movimentazione per la manipolazione di un pezzo, possono essere emessi da uno o più sensori di prossimità segnali indicanti la presenza e la posizione corretta del pezzo. Questi segnali, in AND con quelli dei finecorsa attivati, danno il consenso dell'inizio della fase di movimentazione.

Per la programmazione di un robot di questo tipo non serve una particolare unità di controllo sofisticata. il programma può essere fisso ottenuto con un circuito cablato oppure può essere programmato con un PLC.

### 6.9.2.3 Programmazione con autoapprendimento

L'autoapprendimento può riguardare:

- Solamente la memorizzazione del punto dal quale dovrà iniziare lo spostamento dell'effettore e quello finale di arrivo.
- La memorizzazione, oltre del punto iniziale e finale di spostamento dell'effettore, anche una serie di punti intermedi nella traiettoria.
- La memorizzazione del punto iniziale e finale di spostamento dell'effettore e l'imposizione di muoversi secondo una traiettoria congiungente i due punti.

#### 6.9.2.3.1 Programmazione punto punto in robot sequenziali

La programmazione si ottiene per autoapprendimento, portando l'effettore nella posizione da memorizzare, azionando un motore alla volta degli elementi della catena cinematica del robot. Raggiunto il punto finale, attraverso spostamenti sui singoli assi, si memorizza la posizione.

I motori vengono mossi uno alla volta pigiando dei tasti posti su di un tastierino portatile.

Per portare l'effettore nella posizione di memorizzazione viene posto il commutatore  $C$  nella posizione  $A$ , come in *fig.6.9.13*, ponendo il tastierino in comunicazione con il motore che comanda il moto su di un asse.

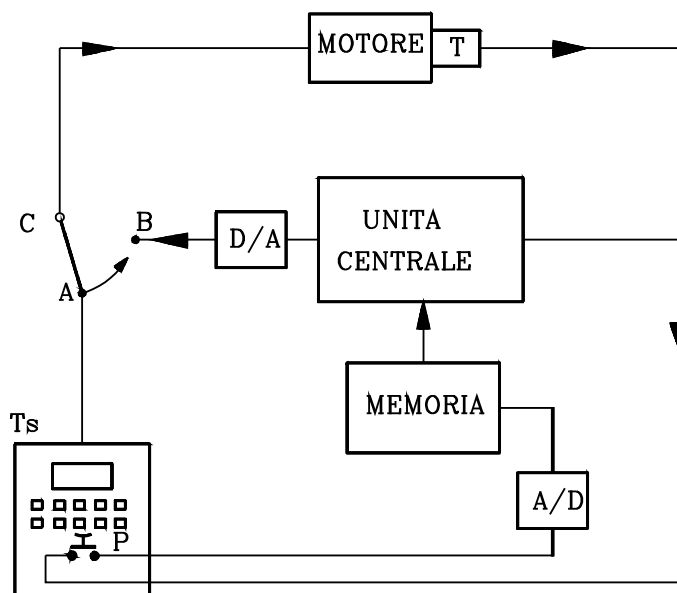
Un trasduttore  $T$  rileva, durante lo spostamento dell'effettore, le coordinate del giunto mosso dal motore.

Raggiunta la posizione voluta, viene premuto il pulsante  $P$  su tastierino, che pone in comunicazione il trasduttore con la memoria e viene così memorizzata la coordinata di giunto corrispondente a detta posizione.

Evidentemente se il segnale prodotto dal trasduttore è di tipo analogico, occorrerà trasformarlo in digitale.



fig.6.9.13



Dopo aver memorizzato tutte le posizioni del ciclo di lavoro, il commutatore *C* viene commutato nella posizione *B*, in modo da interdire il collegamento del tastierino con il motore e e collegare questo all'Unità Centrale, chiudendo la catena di controllo.

A questo punto il programma memorizzato viene prelevato dalla memoria ed attuato.

Questo tipo di programmazione si presta ad essere utilizzato per robot cilindrici, cartesiani ed articolati orizzontali, ma non per gli articolati verticali.

Nella programmazione possono essere gestiti ingressi ed uscite di tipo ON OFF provenienti da PLC che servono per sincronizzare il ciclo di lavoro del robot con quello di macchine utensili alle quali il robot può essere asservito.

### 6.9.2.3.2 Programmazione di autoapprendimento con insegnamento diretto dei punti

Nei robot articolati verticali si può effettuare una programmazione di autoapprendimento dei punti, prendendo per mano l'effettore conducendolo nelle posizioni che dovrà assumere nella manipolazione e memorizzarle attraverso un'unità di programmazione portatile, munita di tastiera.

Durante lo spostamento a mano dell'effettore i motori debbono essere in folle e sbloccati i sistemi di frenatura. Una delle caratteristiche importanti che si richiede al robot per l'utilizzo di questo tipo di programmazione è la maneggevolezza.

Si ottiene ancora un programma punto - punto con controllo contemporaneo su tutti gli assi interessati al moto. Non si hanno informazioni sulle posizioni intermedie tra il punto di partenza e quello di arrivo. Il robot si porterà dalla prima alla seconda posizione, percorrendo la traiettoria che gli risulterà più conveniente.

Ciò che interessa nella programmazione è il punto iniziale e finale. Se si vuole effettuare un particolare percorso, specialmente per evitare eventuali ostacoli, si possono infittire i punti memorizzati.

La velocità che l'effettore deve avere nel percorrere un tratto può essere programmato a parte o fissandolo durante la programmazione in autoapprendimento.

Sono stati messi a punto dei sistemi di autoapprendimento per punti che vengono automaticamente memorizzati uno di seguito all'altro e molto vicini tra loro, durante lo spostamento a mano dell'effettore da una posizione all'altra.

I punti sono sulla traiettoria percorsa, ed essendo molto fitti danno una informazione abbastanza precisa di essa.

In questo caso non solamente si memorizza il punto di partenza e di arrivo dell'effettore della fase di lavoro, ma anche la traiettoria da percorrere.

È chiaro che il compito di manovrare il robot nella fase di autoapprendimento viene affidato ad un operatore specializzato esperto nella operazione che dovrà eseguire il robot: saldatura, foratura, ecc. L'operatore conduce per mano l'effettore, eseguendo l'operazione che il robot, istruito, dovrà ripetere.

### 6.9.2.3.3 Programmazione con Unità di Programmazione

Può avvenire che il robot da manovrare per l'operazione di autoapprendimento è di notevoli dimensioni, tanto da non essere maneggevole.

In tal caso si può adoperare, per programmare il ciclo di lavoro, una *unità di programmazione* che ricopia il robot che lo dovrà eseguire, avente gli stessi ingombri, costruito con materiale leggero, senza motori e perfettamente equilibrato.

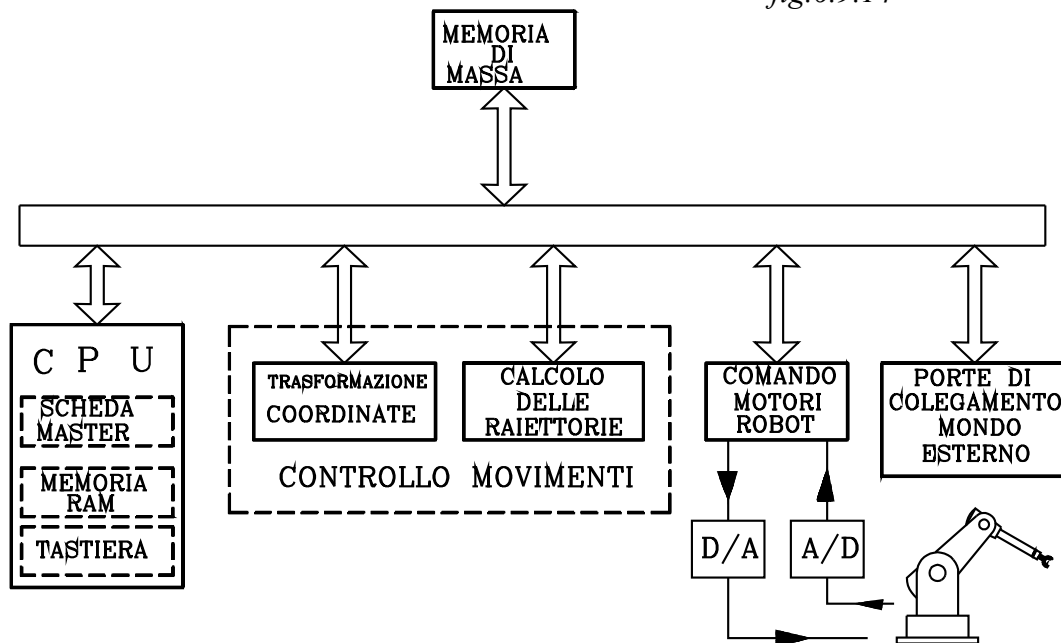
L'unità di programmazione si può programmare in un ambiente che ricopia quello di lavoro. Il programma ottenuto per autoapprendimento, conducendo per mano l'effettore montato sull'unità di apprendimento, viene memorizzato e poi trasferito all'unità di controllo in linea, sul quale è allacciato il robot di lavoro.

### 6.9.2.3.4 Programmazione con autoapprendimento ed interpolazione

In questo tipo di programmazione si conduce per mano l'effettore, si memorizzano dei punti di posizione fondamentali e questi vengono poi collegati con traiettorie ad interpolazione lineare, circolare, parabolica, ecc.

Le interpolazioni vengono introdotte attraverso tasti funzione, posti sulla tastiera portatile o sulla consolle dell'unità di controllo.

fig.6.9.14



Da tastiera si possono introdurre molte altre istruzioni riguardanti: la velocità costante di percorrenza di una traiettoria di lavoro, la velocità massima dei percorsi passivi, con

accelerazione alla partenza e decelerazione in arrivo, effettuare operazioni di specularità (Miror) dei percorsi, imporre l'attesa di segnali esterni dai sensori o da un PLC. ecc.

Data la complessità del sistema, per il funzionamento occorre l'impiego di più microprocessori che collochino tra loro, e uno master, che coordini il traffico di istruzioni.

Le istruzioni viaggiano su i bus *fig.6.9.14*. Il programma viene prelevato dalla memoria per essere eseguito istruzione per istruzione. Supponiamo che una di queste sia di movimento dell'effettore in una determinata posizione dello spazio di lavoro. La posizione è stata data in coordinate assolute rispetto alla terna  $x_0, y_0, z_0$ , Esse debbono essere trasformate in coordinate di giunto, occorrenti per il movimento contemporaneo dei motori dei singoli assi: deve essere risolto il problema cinematico inverso. Questo avviene con un opportuno microprocessore dedicato dell'unità di controllo.

Conosciuta la posizione iniziale e finale del moto dell'effettore viene calcolata la traiettoria di interpolazione tra i due punti.

Elaborate queste istruzioni, viene impartito il comando di movimento ai motori. Tutti i segnali sono forniti in forma digitale, occorre trasformarli in analogici per comandare i motori generalmente di questo tipo.

Le posizioni degli assi vengono rilevate dai trasduttori che forniscono il segnale di retroazione. Se il trasduttore è di tipo analogico, occorre trasformare il segnale da esso emesso in digitale, in modo che possa essere comparato con quello di riferimento ed ottenere, così, il segnale di errore, che va a comandare i motori.

Il sistema è munito di porte di ingresso e uscita di interfaccia, per il transito dei segnali di interazione tra il robot e il mondo esterno, attraverso sensori, rilevanti informazioni riguardanti sia il posto di lavoro che gli oggetti da manipolare.

Per l'elaborazione di alcuni segnali sensoriali, quali quelli di visione vi sono microprocessori dedicati.

### 6.9.2.3.5 Programmazione fuori linea

Con linguaggi evoluti (tipo: Basic, Pascal...), è possibile programmare le successive posizioni che deve assumere l'effettore del robot nel ciclo di lavoro e le traiettorie che le congiungono. Inoltre vengono programmate altre istruzioni, come particolari azioni che debbono compiersi in corrispondenza dei segnali provenienti da sensori esterni, le velocità con le quali debbono essere percorse le traiettorie, ecc.

La programmazione viene fatta fuori linea: fuori del posto di lavoro.

La programmazione fuori linea riveste particolare difficoltà, in quanto occorre ricreare in forma matematica un modello sia dell'oggetto da manipolare che del posto di lavoro (mondo esterno). Con i linguaggi evoluti le istruzioni sono semplificate e di facile interpretazione: verranno poi interpretate o compilate in modo da tradursi in linguaggio macchina.

Riguardo ai tipi di linguaggi occorre distinguere tre livelli di evoluzione: da quelli *espliciti e deterministici* attuali a quelli *impliciti* futuri. Non viene preso in considerazione, perché abbandonato, il linguaggio di programmazione a livello dei giunti, nel quale le istruzioni sono date in coordinate di giunto.

#### 1. Linguaggio dedicato alla manipolazione, espresso in coordinate assolute

In questo tipo di linguaggio le istruzioni sono costituite da una sequenza di ordini di movimenti da impartire all'effettore, da un punto di partenza ad uno di arrivo, precorrendo una certa traiettoria, con una certa velocità, una certa accelerazione di partenza e una

decelerazione di arrivo. Le posizioni sono date in coordinate cartesiane assolute rispetto al riferimento  $x_0, y_0, z_0$ .

Il linguaggio è di tipo *esplicito*: sono esplicitamente assegnati i singoli movimenti che l'effettore dovrà eseguire per compiere una operazione. Questa è suddivisa in tanti segmenti di istruzione.

### 2. *Linguaggi a livello degli oggetti*

In questo tipo di linguaggio le istruzioni, non si riferiscono ai singoli movimenti, ma agli effetti che essi debbono produrre sull'oggetto sul quale debbono agire.

Così, se i movimenti dell'effettore debbono produrre l'afferraggio di un oggetto  $x$ , l'istruzione diviene "*Afferra x*" che comprende l'insieme dei moti riferiti all'effetto che debbono produrre sull'oggetto  $x$ .

Questo linguaggio si dice di tipo *implicito*, in quanto implicitamente (e non esplicitamente) sono definiti i moti che compiono l'azione sull'oggetto.

### 3. *Linguaggi a livello del compito*

È un linguaggio più evoluto del precedente, in quanto è riferito al compito che deve assolvere il robot e questo può comporsi di più operazioni, come l'assiemeamento di un motorino elettrico.

I linguaggi attualmente usati industrialmente sono di tipo esplicito; quelli impliciti sono ancora a livello di sperimentazione. Essi rappresentano la strada obbligata per ottenere robot intelligenti, che possono interagire autonomamente con il mondo esterno, assumendo decisioni anche in presenza di eventi imprevisti.

Per la programmazione fuori linea, e in special modo nei linguaggi impliciti, occorre che siano memorizzati dei modelli: del pezzo da manipolare, del posto di lavoro e dell'ingombro della struttura del robot. Ciò comporta una effettiva difficoltà operativa. Va poi, posto in rilievo, che, tenuto pur conto dei modelli memorizzati, elaborato il programma, questo va poi messo a punto sul posto di lavoro, in quanto i modelli sono una schematizzazione della realtà.

#### *Vantaggi della programmazione fuori linea*

La programmazione fuori linea offre indiscutibili vantaggi.

- Durante la programmazione non viene occupato l'impianto e il posto di lavoro.
- Si possono preparare i programmi in ufficio tecnico nella fase di studio, prima della installazione.
- Si ottengono matematicamente posizioni e traiettorie precise. Risulta quindi indispensabile la programmazione fuori linea negli assemblaggi. In questi, possono essere asserviti al robot sensori esterni: di visione o tattili di misura di forze e coppie, in modo che, se l'assemblaggio non è corretto, si ha il rilievo di uno sforzo anomalo e può essere ripetuta l'operazione.
- La programmazione può prevedere, a tavolino, interazioni con i sensori esterni con cicli condizionali del tipo *IF...THEN...*

#### **6.9.2.3.5 Tecniche CAD CAM**

Con sistemi CAD - CAM si possono ottenere rappresentazioni sia dell'oggetto che del posto di lavoro, con tutte le informazioni necessarie alle operazioni che deve compiere il robot, relative: alla geometria dell'oggetto da manipolare, al baricentro di esso, al suo peso, alla sua posizione nel posto di lavoro rispetto agli altri oggetti, ecc.

In tal modo è possibile fissare: le posizioni che dovrà assumere l'effettore, il suo orientamento, le traiettorie che esso dovrà percorrere tra una posizione all'altra.

Il robot opera nello spazio; occorre quindi che le informazioni sull'oggetto siano di tipo tridimensionale, queste possono comprendere superfici, volumi secondo un certo modello.

Si hanno modellatori a diversi livelli, costituenti un sistema modulare, in modo che il livello più basso si possa integrare poi con quello a livello superiore.

Si distinguono:

#### *Modellatori Wirframe*

L'oggetto viene rappresentato attraverso gli spigoli e il suo contorno, come se esso fosse realizzato con *fil di ferro*. Si ha una rappresentazione incompleta, riguardante solamente dei bordi delle superfici che compongono l'oggetto.

#### *Modellatori di superficie*

Consentono di ottenere informazioni sui punti interni alle superfici componenti l'oggetto, oltre che ai suoi bordi. In tal modo è possibile operare sulle superfici dell'oggetto.

Un modellatore *Wirframe* può essere integrato con quello di *superficie*.

#### *Modellatori solidi*

Consentono di ottenere informazioni sui punti interni al solido, racchiuso tra le superfici esterne, oltre che dei punti interni a queste e dei loro bordi.

Un modellatore *Wirframe* può essere integrato con quello di *superficie*, e questo con il *modellatore solido*.

Con il modellatore solido si può avere una conoscenza completa dell'oggetto e dell'ambiente.

Con il programma CAD si deve riprodurre sullo schermo l'effettiva area di lavoro: il pezzo da manipolare o sul quale occorre effettuare una lavorazione e gli altri oggetti che sono posti nel volume di lavoro, con la possibilità di conoscere le rispettive distanze.

Dal programma CAD si passa al CAM nel quale vengono introdotti i parametri di lavoro.

È possibile, così, programmare (part program) le posizioni che l'effettore del robot deve assumere e le traiettorie che deve percorrere da una posizione all'altra con determinate velocità, le operazioni accessorie, ecc.

Programmate tutte le informazioni, relative alla movimentazione e a tutte le operazioni accessorie, necessarie per lo svolgimento dell'operazione che deve effettuare il robot, con il *"Post Processor"* si tramuta il programma effettuato al CAM in linguaggio proprio del robot e quindi eseguibile da questo.

Il sistema è sempre dotato di un modello di simulazione computerizzato, che è capace di simulare, tridimensionalmente, in modo preciso, l'operazione che dovrà svolgere sul posto di lavoro il robot. Nella simulazione sono visualizzati sullo schermo: l'oggetto, tutte le apparecchiature accessorie e gli altri oggetti posti nel posto di lavoro, con possibilità di ingrandimento dei particolari, in modo che l'operatore possa visionare le singole parti come se fosse sul posto di lavoro. Potrà così controllare agevolmente la correttezza delle traiettorie che eseguirà l'effettore e che questo non incontri ostacoli nel suo percorso.

## 7 LA FABBRICA AUTOMATICA

### 7.1 Il lungo cammino verso la fabbrica automatica

L'automazione studia l'impiego di un insieme di mezzi tecnici per il funzionamento di meccanismi, di un impianto o di un intero processo senza l'intervento dell'uomo (automatico).

Il livello di automazione di un processo è misurato dal grado di autonomia che esso ha di funzionare senza l'intervento dell'uomo: l'assenza completa di questo, salvo l'avvio, determina la completa automatizzazione.

L'idea di automatizzare un processo non è del tutto recente. Si ha un esempio di automazione totale di un processo, nella realizzazione a Filadelfia, nel 1784, di un mulino per la macina del frumento completamente automatizzato.

Già nella prima Rivoluzione Industriale, con l'invenzione della macchina a vapore e la sua applicazione come forza motrice, sono stati introdotti nei processi di fabbricazione molti meccanismi automatici, capaci di ripetere dei cicli fissi di movimentazione.

È solamente con l'introduzione dell'elettronica ed informatica nei processi produttivi che l'automazione si è spinta ad ottenere sistemi che si autoregolano e governano, con la possibilità di effettuare operazioni logiche, correggere errori ed operare anche decisioni di scelta del programma più opportuno tra quelli memorizzati, in modo da rispondere ad un evento non previsto nel ciclo di lavorazione in atto.

Diamo qui un breve cenno del cammino dello sviluppo industriale e il grado di automazione introdotto, partendo dalla produzione di tipo artigianale a quella futura di Qualità Totale.

#### 7.1.2 Dalla produzione artigianale a quella industriale di serie

Fino alla metà del 1700, prima della rivoluzione industriale, i beni di consumo venivano prodotti dalle botteghe artigiane. L'attività in queste era svolta con lavori esclusivamente manuali, con l'impiego di pochi mezzi tecnici, di utensili e macchine elementari.

Tutta l'organizzazione della produzione e amministrativa era diretta dal maestro proprietario, che aveva alle sue dipendenze qualche garzone di bottega o pochi discepoli specializzati nei lavori.

La forza motrice per la trasformazione della materia grezza al prodotto finito era principalmente affidata alla forza muscolare, amplificata da macchine semplici, leve, carrucole, ecc.

Nella bottega artigiana il prodotto veniva eseguito, molto spesso, direttamente dal maestro aiutato dal garzone di bottega, o, per lavori più complessi, da pochi operai sotto la direzione dello stesso maestro o di un suo discepolo.

Ciascun operaio nella bottega artigiana eseguiva tutto il ciclo di lavoro dell'opera a lui affidata e di sua competenza e specializzazione.
---

A causa dei pochi mezzi tecnologici a disposizione, del modo di lavorare, della elementare organizzazione, la produzione ottenuta dalle botteghe artigiane era scarsa, e il prodotto, ottenuto con tante ore di lavoro, doveva essere immesso sul mercato con un prezzo elevato per essere remunerativo, tanto, che molti beni di consumo potevano essere acquistati solamente da pochi.

Le scoperte scientifiche, e principalmente l'invenzione delle macchine motrici che potevano fornire in uscita una elevata potenza meccanica, ottenuta dalla trasformazione da altre fonti di

energia, permise di muovere meccanismi sempre più complessi ed evoluti, potendo ottenere così una maggiore quantità di prodotto con miglioramento della qualità.

Ciò determinò un aumento notevole della produzione, e il prezzo del prodotto, rispetto a quello ottenuto artigianalmente, poté di molto diminuire, pur risultando remunerativo.

Con l'allargamento del mercato e per fronteggiare la concorrenza, che, col sorgere di più industrie fabbricanti lo stesso prodotto, si andava facendo sempre più pressante, si presentò il problema di organizzare il lavoro in modo che non solamente si avesse una elevata produzione, ma anche una elevata economicità per ottenerla. La diminuzione del costo di produzione poteva permettere di immettere sul mercato il bene prodotto ad un prezzo competitivo.

Una delle variabili che influisce sul prezzo del prodotto è il tempo impiegato per la fabbricazione: diminuendo questo, aumenta il numero di elementi prodotti, e il costo di produzione, ripartendosi su questi, diminuisce.

Occorreva velocizzare le operazioni occorrenti per ottenere il prodotto.

#### *La suddivisione del lavoro*

Per velocizzare il ciclo di lavoro si pensò di suddividerlo in successive fasi, in modo da ottenere il prodotto con una sequenza di operazioni elementari da affidare ciascuna ad un operaio, il quale, ripetendola continuamente, si specializza in essa.

Si pensò che ogni operazione, ottenuta con la specializzazione di determinati movimenti ripetitivi, poteva essere eseguita con rapidità, e la somma delle successive operazioni determinava la fabbricazione del prodotto con elevata velocità di produzione.

#### **7.1.2.1 Il Taylor - Il Taylorismo**

Il Taylor si può ritenere il fondatore della scienza dell'organizzazione del lavoro e della razionalizzazione delle lavorazioni alle macchine utensili.

I suoi studi si rivolsero sia all'utilizzazione delle macchine utensili che dell'uomo.

Con numerose esperienze, determinò le leggi fondamentali che regolano le lavorazioni alle macchine utensili, definendo le relazioni che legano i parametri di taglio (Velocità di taglio, profondità di passata avanzamento, durata dell'utensile ecc.), in modo da ottenere la massima utilizzazione della macchina, minimizzando il tempo di lavorazione.

Lo stesso metodo rigoroso di analisi, impiegato per la ottimizzazione dei movimenti delle macchine, applicò nello studio della razionalizzazione del comportamento che deve avere l'uomo nell'effettuare le operazioni di manipolazione degli oggetti o nelle lavorazioni manuali.

Suddivise le operazioni di movimento in tanti atti elementari, per determinare la sequenza più conveniente, all'ottenimento del risultato con il minor tempo e minore sforzo possibile.

Il Taylor stabilì che il personale addetto alle lavorazioni dovesse essere addestrato con opportuna preparazione professionale e gli dovesse essere assegnato il compito in base alle sue capacità e tendenze.

Nella organizzazione del lavoro il Taylor pensò che vi dovesse essere una suddivisione delle mansioni e competenze affidate a persone specializzate.

Il sistema organizzativo studiato e proposto dal Taylor tende a razionalizzare il lavoro e punta all'aumento della produzione prescindendo però dai problemi di distribuzione del prodotto su mercato e del consumo.

### 7.1.2.1 Ford

Henry Ford applicò per la prima volta nella costruzione di automobili il sistema di lavorazione a catena.

Prima, nella fabbricazione di un prodotto, questo era fermo ed erano gli operai che si spostavano nei vari reparti.

Nella lavorazione a catena si inverte il moto relativo tra uomo e prodotto: è questo che su trasportatori si sposta in successive stazioni ove si ferma, e un operaio, fisso sul posto, effettua sui pezzi delle semplici operazioni.

Si eliminò così molto tempo passivo, che si determinava nello spostamento degli operai nei vari reparti per portarsi sul prodotto, mentre lo spostamento di questo poteva essere velocizzato dai trasportatori meccanici per portarsi da una stazione all'altra.

Il tempo di produzione è ora caratterizzato dalla cadenza, corrispondente al tempo di attesa per effettuare l'operazione più lunga.

Con la lavorazione a catena si ottennero cicli di produzione veloci, con ridotta durata dei processi produttivi e massima utilizzazione del capitale.

Nei posti della catena di montaggio, ove le operazioni sono ridotte a semplici movimenti poteva essere impiegato personale non qualificato; tanto che, a chi rimproverava al sistema la monotonia delle operazioni, Ford rispondeva che molti lavoratori apprezzavano proprio questo tipo di lavoro nel quale non *occorreva sfruttare la mente e li sollevava da ogni preoccupazione*.

Con la lavorazione a catena nasce la standardizzazione dei prodotti che risultano, entro determinate tolleranze, tutti uguali e che a loro volta possono essere costituiti da particolari base standardizzati.

Ford non si occupò solamente della produzione, ma prese in considerazione anche il fattore importante riguardante il consumo del prodotto immesso sul mercato.

Ogni persona, egli pensava, è un potenziale cliente e affinché possa essere un effettivo consumatore occorre che abbia una disponibilità economica. Perché ciò avvenga occorre effettuare la politica dell'alta produttività, alti salari e piena occupazione.

Ogni lavoratore è un potenziale consumatore. Un disoccupato è un cliente impossibilitato ad acquistare il prodotto.

## 7.2 LA FABBRICA CON AUTOMAZIONE RIGIDA

Con il sistema di lavorazione a catena e la standardizzazione dei prodotti si è potuto realizzare una automazione del processo produttivo come sequenza automatica di operazioni effettuate da macchine, monouso, monoscopo, specializzate ad eseguire determinate lavorazioni, in modo da ottenere una serie di pezzi tutti uguali.

Nascono le *"Linee Transfert"*.

Queste sono impianti automatizzati capaci di realizzare un prodotto attraverso operazioni che si succedono sequenzialmente ed in modo del tutto automatico.

Il pezzo, bloccato in una apposita attrezzatura, viene trasportato da una stazione all'altra, ove permane in un determinato tempo, detto *cadenza*, per essere sottoposto ad una prefissata lavorazione.



Ogni stazione è progettata per eseguire sempre la stessa lavorazione sul pezzo che si ferma in essa nel tempo di cadenza.

La cadenza è data dal tempo per effettuare l'operazione più lunga.

In questa fase di industrializzazione, con l'introduzione della catena di montaggio e i *Transfert*, dalle linee di produzione in serie escono prodotti tutti uguali, composti, principalmente, da particolari standardizzati.

Molto personale a basso livello professionale viene impiegato nella catena di montaggio per l'esecuzione di semplici operazioni di manipolazione, carico scarico di materiali, ecc. Il personale specializzato è adibito alla messa a punto delle unità operatrici delle stazioni del transfert e delle attrezzature o alla manutenzione.

L'automazione impiegata in questo tipo di produzione è rivolta alla automatizzazione dei cicli di lavorazione effettuata al transfert ed al trasporto dei prodotti; non riguarda il montaggio e la manipolazione dei pezzi affidata alla manualità, né alcune lavorazioni come la saldatura e verniciatura che vengono effettuate manualmente.

L'automazione che si ottiene con i transfert è rigida; nel senso che le successive operazioni eseguite nelle stazioni sono affidate a macchine utensili monoscopo, specializzate ad effettuare sempre le stesse lavorazioni prefissate.

Non vi è nessuna possibilità di modificare il ciclo di lavorazione. Per ottenere da una stazione anche una sola fase di lavorazione diversa da quella prestabilita a progetto, occorre modificare fisicamente l'unità operatrice che è adibita ad effettuarla. Ciò comporta: fermare la linea, cambiare l'unità e metterla a punto.

La produzione di una serie diversa, magari della stessa famiglia di prodotti, con alcune modifiche, comporta la riprogettazione della linea.

La linea transfert dunque ha lo svantaggio di non avere alcuna flessibilità per il cambiamento del ciclo di lavoro, ma presenta il vantaggio di una produttività molto elevata. Essa è adatta per la produzione di pezzi standardizzati di una serie aperta.

### **7.3 Necessità della flessibilità - Verso la Qualità Totale**

L'evoluzione delle comunicazioni e dei trasporti ha portato ad un allargamento del mercato, che ha aumentato di molto la sua dinamicità, con richieste di nuovi prodotti da parte di una clientela sempre più esigente e volubile nei gusti, tendente a acquistare prodotti di moda che dura un brevissimo periodo. Inoltre un prodotto deve essere diversificato per soddisfare diversi gruppi di clienti, aventi gusti ed esigenze diverse che si modificano nel tempo.

Per rispondere alle richieste del mercato, occorre aumentare la velocità di immissione in esso di nuovi prodotti, diversificati nei gusti, con possibilità di variare agevolmente particolari sia estetici che di funzionamento.

La concorrenza permette una ampia scelta sul prodotto da acquistare. È evidente che sarà preferito quello che soddisfa il cliente nelle esigenze, che non solo aveva già programmato ma

anche in quelle che non si aspettava che le venissero offerte e di cui, consapevolmente o inconsapevolmente, aveva bisogno.

Il cliente nell'acquisto di un prodotto non solo vuole che esso risponda all'uso, ma anche che siano soddisfatte altre esigenze, sia di natura estetica che di somministrazione di appropriati servizi.

Supponiamo che due beni di consumo della stessa specie (due meccanismi) rispondano all'uso.

Il primo è offerto con tre anni di garanzia, con la sicurezza di un pronto intervento in caso di guasti, essendo disponibile sul territorio una rete di assistenza; siano facilmente reperibili i pezzi di ricambio.

L'altro bene di consumo non è offerto con l'erogazione degli stessi servizi: ha un anno di garanzia, non vi sia sul territorio appropriata assistenza, risulta difficoltoso il reperimento dei pezzi di ricambio.

È evidente che il cliente, nei due casi, pur acquistando beni di consumo che entrambi rispondono all'uso (perché funzionano) in effetti acquisterà due prodotti diversi. Il primo ha una quantità di prodotto in servizi maggiore dell'altro.

E diciamo che il primo ha maggiore **Qualità** del secondo perché, tra le altre cose, determina un grado maggiore di *soddisfazione del cliente*.

Per essere competitivi sul mercato nasce la necessità di produrre con **Qualità**.  
(UNI 9001 - 9002 - 9003 - 9004)

L'obiettivo è quello di lavorare in **Qualità Totale**.

Diamo qui un cenno della nuova filosofia della "Qualità totale" che è alla base della organizzazione aziendale futura. Con essa viene modificato il sistema basato sulla gerarchia rigida, nella quale si ha l'esecuzione passiva di istruzioni impartite dai livelli superiori e trasmesse, a catena, via via, ai livelli inferiori, senza possibilità di adattamenti e modifiche.

La complessità delle tecnologie avanzate, richiedente esperti nei vari settori che concorrono al buon funzionamento del sistema, ha mutato il rapporto tra le maestranze, chiamate sempre di più ad una corresponsabilizzazione in lavori di équipe, come un gioco di squadra.

Ciò proviene dal nuovo concetto di lavorare in **Qualità**.

La **Qualità** non si riferisce più solamente a quella del prodotto, come rispondenza di esso all'uso, ma investe tutta l'attività dell'azienda e tutte le sue funzioni: dalla amministrazione, progettazione, programmazione produzione, vendite ecc.

La **Qualità** si intende estesa a tutti i livelli, dalla direzione generale agli operatori e impiegati.

Occorre intanto definire il prodotto come una qualsiasi cosa concreta o di servizio che una qualsiasi persona od ente dà ad un'altra persona od ente che costituisce il *cliente*.

Con questa definizione di prodotto, un'azienda ha sia clienti esterni che interni, costituiti dai suoi dipendenti.

Ogni elemento del personale aziendale lavora in rapporto con gli altri, e quindi riceve e dà prodotti risultanti del lavoro svolto, ed è nello stesso tempo cliente e fornitore.

Scopo della **Qualità** è quella di ottenere un prodotto che soddisfi il cliente nelle sue esigenze sia esplicite che implicite (inespresse).

Ricordando che il personale è un cliente interno dell'azienda, ne viene che perché questa lavori in **Qualità** occorre che il personale, come cliente interno sia soddisfatto.

La soddisfazione del lavoro non è solamente quella remunerativa (senz'altro indispensabile) ma anche di partecipazione all'attività in modo da poter espletare le proprie capacità.

Ogni persona si deve sentire come facente parte di una squadra vincente.

Tutti in Azienda, a tutti i livelli, concorrono a fare **Qualità**.

La **Qualità** è misurata dalla totalità degli attributi e delle caratteristiche di un prodotto che possono soddisfare le esigenze espresse o inesprese del cliente (esterno o interno).

L'obiettivo del lavorare in **Qualità** è di immettere sul mercato un prodotto, rispondente all'uso, ad un prezzo competitivo, che soddisfi il cliente nelle sue esigenze, con una organizzazione e attività che minimizzi tutti i costi in modo da ottenere il migliore profitto (aumentare la profittabilità).

Perché il prezzo del prodotto risulti competitivo e vi sia una alta profittabilità, occorre che si abbia a tutti i livelli aziendali una elevata elasticità in modo da poter prontamente intervenire correggere errori od imperfezioni in qualsiasi punto del flusso delle sue attività.

Nella produzione occorre ridurre al minimo tutte le inefficienze, gli sprechi e gli scarti. Non si deve arrivare a produrre prodotti buoni e scarti ed effettuare la cernita alla fine della produzione.

Nel vecchio concetto di controllo di qualità alla fine della produzione si ha un filtro: si effettua una cernita e i pezzi buoni si immettevano sul mercato i difettosi venivano scartati o aggiustati.

Questo modo di lavorare crea inefficienza. Occorre effettuare la **Qualità** a monte e non controllare alla fine la qualità del prodotto: fare la qualità nella progettazione, nella produzione negli acquisti dei materiali, nelle vendite.

Il concetto di Controllo di qualità cambia in quello di *ASSICURAZIONE DELLA QUALITÀ*.

Ogni processo ogni attività aziendale ha un suo cliente che è quello a cui fornisce il lavoro effettuato (cliente interno o esterno). Se il risultato ottenuto dal processo non è conforme alle attese del cliente occorre che, prontamente, venga modificato il prodotto fornito.

Si deve instaurare un feedback tra tutti i livelli di organizzazione aziendale, in modo che proprio dal riscontro di errori ed inefficienze riscontrate in un livello si possa modificare il prodotto ad esso fornito dal livello superiore.

In conclusione.

La **Qualità Totale**, in effetti è un atteggiamento che sfiora la filosofia che va ad influenzare i comportamenti delle persone e proprio per questo è difficile dal realizzarsi appieno.

È un qualcosa che tende ad un coinvolgimento totale di tutto il personale aziendale come i componenti di una squadra: significa proprio cambiare mentalità ed il modo di affrontare il lavoro.

Perché venga adottata in azienda occorre, per prima cosa, che vi sia la convinzione dei rami dirigenti, altrimenti non decollerà mai. Ma quando, in futuro più aziende l'adotteranno e ne riconosceranno i frutti benefici, allora le altre, giocoforza, dovranno convertirsi all'idea.

Ora se come filosofia di principio di lavoro di squadra può essere adottata come politica aziendale di ogni azienda per la realizzazione effettiva della **Qualità Totale** occorre una organizzazione ed un dispendio di energia non indifferente, con una quantità notevole di documentazioni per *l'Assicurazione di Qualità*.

Occorre uno scambio continuo di informazioni con feedback a tutti i livelli. Questo può avvenire più facilmente in una fabbrica automatizzata.

#### **7.4 LA FABBRICA CON AUTOMAZIONE INTEGRATA - IL CIM**

Da quanto detto precedentemente, risulta evidente la tendenza ad estendere l'automazione, intesa come controllo di processo produttivo con mezzi informatici, in tutti i settori dell'azienda.

L'obiettivo finale è quello di ottenere un sistema integrato di automazione totale, nel quale si possano tenere sotto controllo tutti i fattori e le variabili che concorrono a determinare l'andamento dell'azienda e i suoi risultati: La progettazione, l'impostazione dei processi produttivi, la produzione, il flusso dei materiali, il rapporto col mondo esterno, le fluttuazioni del mercato ecc.

Tutto ciò si può ottenere con sistemi programmabili da computers, collegati tra loro, in modo che si abbia un continuo scambio di informazioni tra i vari livelli.

si ottiene così un controllo totale di tutte le attività, a partire dagli obiettivi strategici aziendali fino ad arrivare al controllo delle singole macchine, ottenendo alla fine la *"fabbrica completamente automatizzata"*. Questa è denominata con la sigla CIM (Computer Integrated Manufacture).

Questa è la fabbrica del futuro. Attualmente è solamente un modello di riferimento. In alcune industrie l'automazione si è spinta a diversi livelli fino ad ottenere linee automatizzate, ma non fino alla completa automatizzazione integrata di tutti i settori dell'azienda.

La strategia da impiegare per l'estensione dell'automazione dai livelli più bassi ai più alti e quella modulare: si può ottenere per successivi gradi di integrazione.

Occorre che un processo parziale di automazione fino ad un certo livello, possa, poi, integrarsi con altri dello stesso livello e questi possano poi essere gestiti ad un livello gerarchico superiore, così via per gradi successivi, fino ad arrivare al controllo totale di tutte le attività, in modo da ottimizzare *"L'OBIETTIVO STRATEGICO FINALE DELL'AZIENDA"*.

Le diverse attività nella quali si può suddividere un sistema di automazione integrato possono riassumersi nelle seguenti categorie.

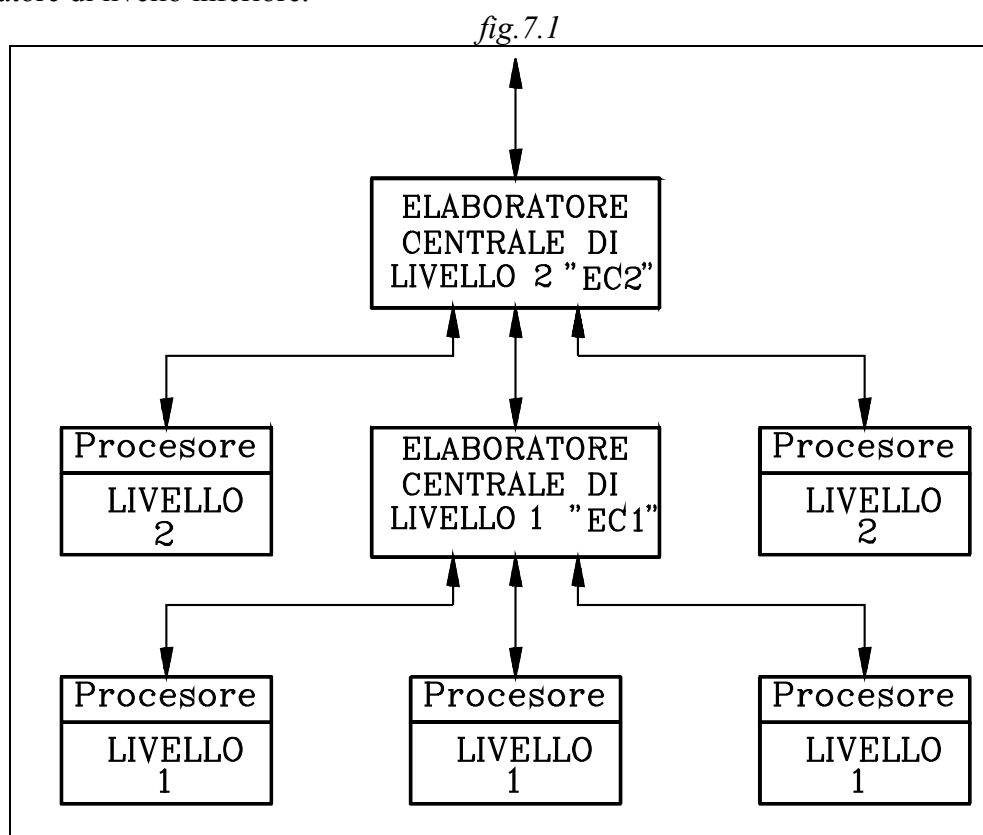
- Gestione aziendale - Strategie d'azienda.
- Progettazione.
- Scelta ed acquisto materiali.
- Programmazione del processo produttivo - Studio dei cicli.

- Produzione.
- Vendite - Commercializzazione - Andamento del mercato.

Un continuo flusso di informazioni debbono scambiarsi le diverse attività, fino ad estendersi a tutto l'ambiente produttivo, per arrivare, alla fine ad un computer centrale che sovrintende alla gestione dell'intera fabbrica.

Per l'elaborazione e l'utilizzo delle informazioni occorre una suddivisione gerarchica dei livelli.

Ogni elemento di un livello può avere un proprio elaboratore (per esempio una macchina CNC un PLC) e questi fanno capo ad un elaboratore centrale di livello, il quale sintetizza tutti i dati ricevuti dai singoli elementi del livello e trasmette informazioni sui risultati ottenuti ad un elaboratore centrale di livello superiore. Questo a sua volta trasmette informazioni e comandi all'elaboratore di livello inferiore.



Così gli elementi del livello 1 di *fig. 7.1* sono collegati con l'elaboratore centrale di livello EC1. Questo sintetizza i dati ricevuti e li trasmette all'elaboratore centrale EC2 di livello superiore e riceverà da questo i comandi che smisterà ai vari elementi di livello.

In tal modo si ha la possibilità di un continuo controllo della correttezza dei risultati ottenuti da un livello corrispondenti ai comandi di riferimento ricevuti da un livello superiore.

Un elaboratore centrale di livello cioè riceve da quello superiore istruzioni corrispondenti all'obiettivo di riferimento e trasmette a questo informazioni sui risultati ottenuti. In caso che i risultati non corrispondono all'obiettivo l'errore effettuerà le modifiche necessarie.

Come si è detto l'automatizzazione di una azienda può avvenire per gradi e un livello di automazione più basso può essere poi gestito da un altro a livello gerarchico superiore .

Diamo una breve panoramica dei livelli di automazione possibili, fino alla completa automazione dell'azienda, comprendente anche il livello gestionale.

#### 7.4.1 Livello 0

È un sistema di automazione elementare quale può essere un impianto o una macchina con circuiti a logica cablata costituiti da attuatori e trasduttori che forniscono i segnali di tipo ON OFF di avvenuto comando. Il controllo è quello dato dai finecorsa determinano la sequenza ciclica.

In generale il livello 0 è costituito da attuatori il cui funzionamento è controllato direttamente da trasduttori che verificano l'avvenuto funzionamento o che siano verificate alcuna condizioni sul parametro controllato. Per esempio un termostato controlla la temperatura e il funzionamento dell'impianto avviene entro un certo intervallo di valori.

#### 7.4.2 Livello 1

È il livello di automazione riguardante una singola macchina controllata da un processore di bordo come una macchina a controllo numerico. L'automazione è qui ristretta ad un singolo processo di lavorazione programmabile.

#### 7.4.3 Livello 2

A questo livello si ha il controllo di una cella di lavoro costituita da più macchine a CNC.

Si ha un continuo flusso di informazione tra i processori del livello inferiore 1 a bordo delle singole macchine CNC e un computer centrale di cella. Questo sovrintende alla gestione del ciclo lavorativo, facendo intervenire secondo un programma le diverse macchine CNC.

Durante il ciclo di lavoro, dei PLC ricevono i segnali da opportuni sensori e, attraverso il programma emetteranno segnali in modo da avere un coordinamento delle lavorazioni alle macchine CNC e il carico e scarico dei pezzi attraverso i robot. Si ha quella che viene denominata "*Isola di Lavoro*".

In ogni isola vi è un processore per ogni macchina CNC uno per ogni PLC e per ogni Robot. Tutti questi processori fanno capo al computer centrale di cella che gestisce l'isola di lavoro.

Nell'isola viene effettuato un ciclo di lavoro su più macchine, con movimentazione dei pezzi da una macchina all'altra, attraverso robot o appositi trasportatori.

I computer che sovrintendono alle varie isole di lavoro elaborano dati che vanno all'ingresso di un computer centrale. questo controllerà che le informazioni ricevute dalle isole corrispondano all'obiettivo di riferimento. La non rispondenza determina una opportuna modifica.

Vi è sempre un continuo controllo; per cui non si effettua il passo successivo della sequenza di un processo se l'informazione ricevuta dall'avvenuto comando non corrisponde a quello di riferimento. Se si presenta questa eventualità, si ha un segnale di retroazione di richiesta di modifica, in modo da raggiungere l'obiettivo di ottenere il risultato pari a quello di riferimento comandato.

Quando tutto è secondo lo standard prefissato, allora l'unità di controllo elabora il segnale che permette di effettuare l'operazione successiva.

Per ottenere il continuo scambio di informazioni tra il computer centrale e quelli che sovrintendono alla singole celle occorre un opportuno sistema di comunicazione. Così pure vi deve essere un sistema di comunicazione che coordina i segnali dei PLC. Per questo, in ogni cella vi può essere un PLC "master che fa capo e comunica con altri "slave" attraverso delle sottoreti.

Riguardo alle comunicazioni tra l'elaboratore centrale e le diverse isole di lavoro va tenuto presente che queste, nelle successive integrazioni di automatizzazione possono essere state acquistate da costruttori diversi e quindi rispondenti a standard differenti di comunicazione. Occorre in questo caso far uso di particolari reti locali di comunicazione dette reti LAN (Local Area Network).

#### **7.4.4 Livello 3**

Con la isole di lavoro collegate attraverso i computer di cella a quello centrale viene gestita la produzione programmata e pianificata ad un livello superiore che può essere automatizzato con sistemi CAD CAE CAM.

Con il sistema CAD (Computer Aided Design) si ottiene il disegno e la progettazione assistita dal computer.

Con sistemi evoluti si possono ottenere modelli tridimensionali dai quali ricavare le diverse viste di pianta prospetto profilo. Una modifica sul modello determina l'aggiornamento di tutte le viste effettuate. Con pacchetti software dedicati si possono ottenere molti supporti alla stesura del disegno e alla progettazione.

Importante per il migliore sfruttamento delle possibilità del sistema CAD è il suo collegamento a sistemi di data base, che rendono disponibili, al momento opportuno, tutti i dati necessari per la migliore scelta tra le soluzioni possibili di un problema di natura progettuale di scelta dei materiali, ecc. Inoltre, dalle informazioni ottenute, è possibile stabilire gli acquisti da effettuare conoscendo anche le eventuali attrezzature e materiali giacenti in magazzino.

Occorre dire a questo proposito che per una buona conduzione aziendale le giacenze di materiali a magazzino devono ridursi al minimo o meglio debbono essere annullate: tanto materiale deve entrare quanto ne deve uscire come prodotto finito: tutto si deve esaurire nel flusso di lavorazione.

Con il sistema CAE (Computer Aided Enginereeng) si può usufruire della ingegnerizzazione del processo assistita dal computer.

Con i sistemi CAD CAE si ha una gestione della fase progettuale molto flessibile, con la convenienza di poter effettuare rapide modifiche e l'aggiornamento dei disegni; inoltre si ha la possibilità di analizzare il comportamento delle strutture alle sollecitazioni su modelli matematici di esse. Molte altre analisi possono essere effettuate su modelli di meccanismi con simulazione del loro funzionamento.

Dalla progettazione si passa, attraverso sistemi CAM, alla pianificazione della produzione ed alla programmazione dei cicli di lavoro.

Effettuato il modello del pezzo da produrre si può passare in area di disegno per effettuare le viste oppure in area del controllo numerico per la programmazione dei cicli di lavoro. Con la simulazione delle lavorazioni si possono prevedere i tempi di lavorazione.

Pianificato il tutto i programmi delle lavorazioni alle macchina utensili e tutte le altre informazioni inerenti la produzione vengono trasmessi al livello delle celle di lavoro.

Con un flusso di informazioni in senso inverso si effettuerà una continua verifica dei risultati ottenuti confrontandoli con gli obiettivi prefissati a progetto. In caso di non conformità agli obiettivi si impartiscono opportuni aggiustamenti.

#### **7.4.4 Livello 4**

Con questo livello si ottiene la completa automatizzazione della fabbrica, comprendente la gestione e la strategia aziendale, la previsione dei bilanci e i consuntivi.

Fissati gli obiettivi con tecniche di simulazione si possono ottenere delle previsioni che influiscono sulle decisioni da prendere.

Ora è chiaro che, dal punto di vista informatico, non vi sono difficoltà nella elaborazione dei dati, esse invece risiedono nella introduzione di tutti i parametri che agiscono sui risultati che può ottenere l'azienda.

L'obiettivo finale è di gestire l'azienda in chiave di "marketing" e tendere alla "Qualità totale".

Il marketing è il metodo di gestire l'azienda con minor rischio e maggiori profitti e con la maggiore soddisfazione dei clienti.

Occorre una approfondita ricerca di mercato e capire bene i problemi dei clienti e poter confezionare la giusta e migliore soluzione di essi.

Occorre: offrire al *giusto* mercato il prodotto *giusto*, al prezzo *giusto*, tramite la distribuzione *giusta*, con la comunicazione *giusta*.

Con l'aiuto del mezzo informatico si possono assumere delle decisioni. Queste possono essere di tipo programmato: "*decisioni programmate*" o non programmato: "*decisioni non programmate*".

Le decisioni di tipo programmato si ottengono in riferimento a problemi ricorrenti già risolti in precedenza; sfruttando quindi casi ed eventi sperimentati.

Nelle decisioni non programmate occorre far ricorso a simulazioni evolute che possono indicare la giusta decisione tra varie possibili.

È chiaro che vi deve essere un continuo scambio di informazioni con i livelli inferiori, in modo che, in corrispondenza di nuove decisioni prese, vi corrispondano le modificazioni dei programmi di produzione impostandoli secondo le nuove necessità.

Il tutto fa capo ad un computer principale a livello di fabbrica che comunica con rete LAN con i livelli inferiori.

Dai livelli inferiori e dai rapporti con l'esterno (mercato, vendite ecc.) perverranno al computer centrale le informazioni che possono modificare ed aggiustare le decisioni strategiche.

## 7.5 SISTEMI FLESSIBILI DI LAVORAZIONE - FMS

Un sistema flessibile di lavorazione *FMS (Flexible Manufacturing System)* riguarda l'automatizzazione della gestione di produzione.

Con un sistema flessibile di lavorazione FMS su una stessa linea o centro di lavoro vengono fatti affluire pezzi diversi di una stessa famiglia e dopo essere stati riconosciuti vengono lavorati secondo un programma prestabilito.

La flessibilità della lavorazione risiede: nella possibilità di lavorare nella stessa linea o centro di lavoro pezzi diversi con la stesse unità operatrici e nel poter effettuare modifiche di un ciclo di lavorazione, cambiando solamente il programma e non l'unità operatrice.

Viene tolta quella rigidità riscontrata nei transfert tradizionali, ove in ogni stazione vi è una unità operatrice dedicata ad una operazione specializzata. Cambiare la fase di lavoro in una di queste stazioni comportava modificare per via hardware l'unità operatrice.



Nella produzione con sistema flessibile, le modifiche si effettuano per via software cambiando qualche riga di programma.

È chiaro con questo nuovo modo di lavorare l'ottenimento di una grande versatilità e flessibilità del sistema a subire in modo molto rapido dei cambiamenti, potendo così rispondere prontamente ai comandi provenienti dai livelli superiori di automazione.

Il sistema FMS comunica ai livelli superiori le informazioni che costituiscono i segnali di retroazione dei risultati ottenuti nella produzione.

Nei centri di lavoro i pezzi da lavorare vengono portati con trasportatori, di vario tipo: vie a rulli, navette su rotaie o carrelli filoguidati. Ogni pezzo può pervenire in *modo casuale* e, per essere lavorato, occorre che sia riconosciuto, in modo che venga attivato il programma di lavoro specifico prefissato.

Per il riconoscimento si usano dei codici, il più usuale dei quali è quello a barre, che viene letto con sistemi ottici o magnetici.

Riconosciuto il pezzo il computer, che sovrintende all'isola o centro di lavoro, avvia lo specifico programma che effettua sequenzialmente le operazioni per la lavorazione. Per effettuare questa può avvenire che debbono colloquiare più computer di macchina diverse: CNC per la lavorazione, PLC per i segnali ON OFF per il consenso a diverse operazioni e robot per carico e scarico pezzi.

Il pezzo quindi viene preso dal trasportatore, montato automaticamente sulle macchine CNC. Dopo aver subito la lavorazione, viene posto di nuovo sul sistema di trasporto.



[clic qui per precedente](#)



[Clic qui per la pagina iniziale](#)



[Clic per VOLUME 2°](#)