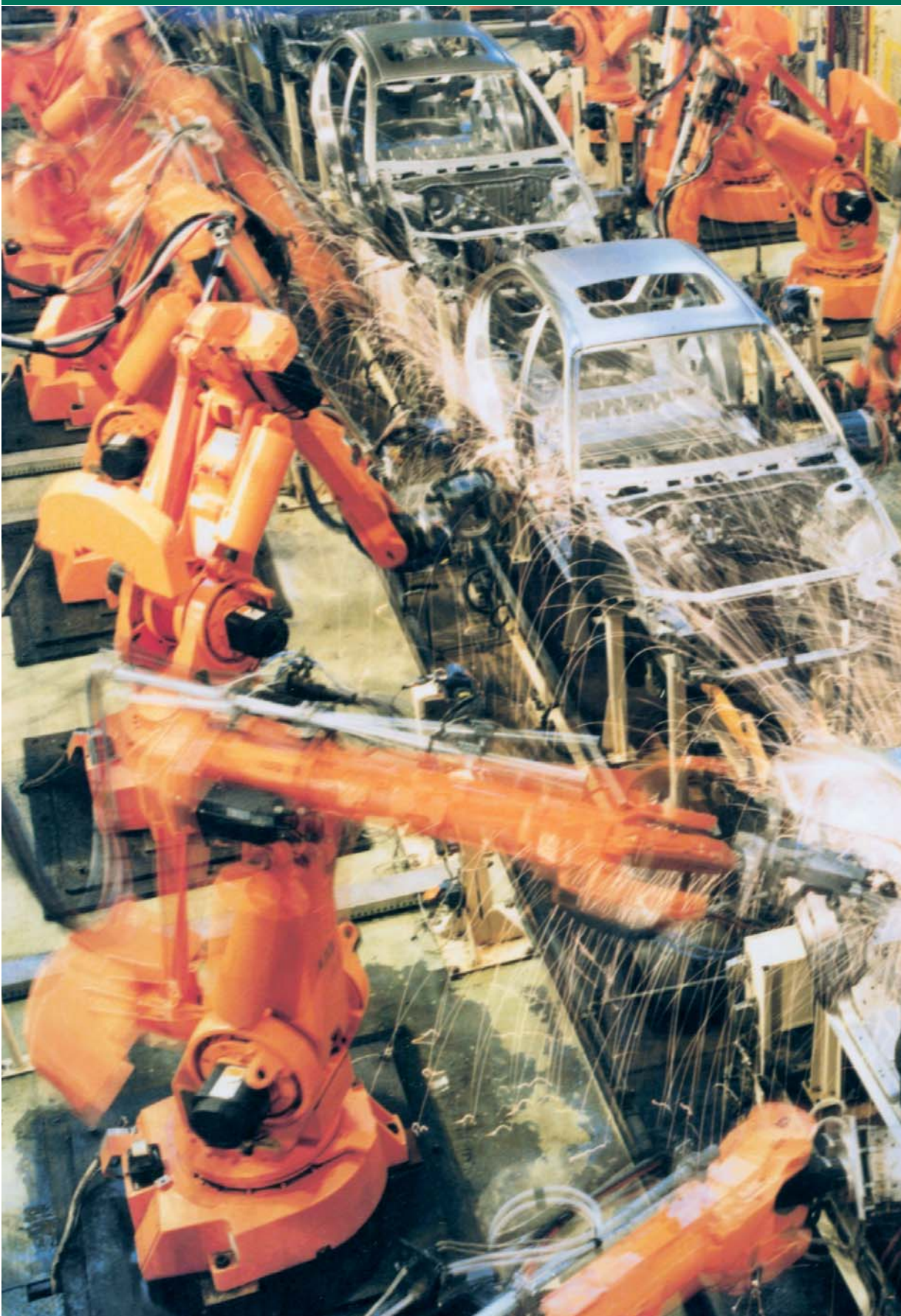


Le macchine



CONTENUTI

- Le macchine semplici
- Organi di trasmissione
- Macchine per la movimentazione dei carichi
- Macchine oleodinamiche
- Macchine pneumatiche
- Macchine termiche
- Motori elettrici
- Automazione industriale

PREREQUISITI

- Conoscenza dei principi fondamentali della fisica
- Conoscenza delle proprietà dei materiali
- Conoscenza delle caratteristiche dei materiali metallici e non metallici

OBIETTIVI

- Conoscere i principi e gli elementi meccanici che sono alla base del funzionamento delle macchine

1 Le macchine semplici

Le pagine che seguono contengono una rapida sintesi dei *principi teorici* e degli *elementi meccanici* che regolano ogni macchina, in modo da rendere più agevole la comprensione del funzionamento delle macchine per la lavorazione dei materiali.

Esamineremo le **macchine semplici**, che sono alla base del funzionamento di ogni dispositivo meccanico, gli **organi di trasmissione**, che rendono possibile trasferire il movimento dagli elementi che lo generano (*motori*) a quelli che lo utilizzano (*macchine operatrici*), i **dispositivi per la movimentazione meccanica dei materiali**, i **dispositivi oleodinamici** e **pneumatici** che, avvalendosi di fluidi in pressione, generano forza o movimento e i **motori termici** e quelli **elettrici**.

Sintetizzeremo infine le caratteristiche fondamentali dei cosiddetti **sistemi automatizzati** che, sfruttando le enormi possibilità offerte dall'informatica, consentono di realizzare dispositivi, detti *robot*, in grado di eseguire con grande precisione operazioni molto complesse [fig. 1].



1 Linea produttiva altamente automatizzata di uno stabilimento per la produzione di autovetture (FIAT).

PER SAPERNE DI PIÙ

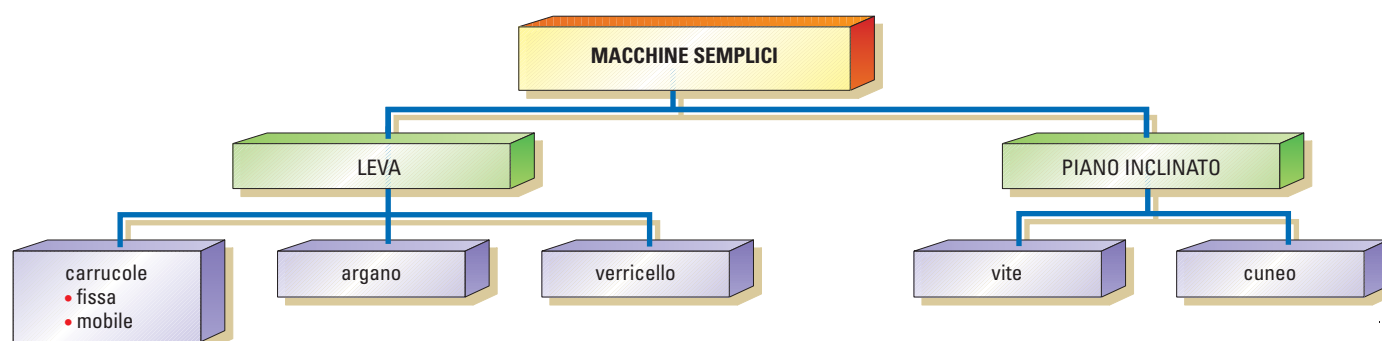
Macchine, strumenti, impianti

Con il termine **macchina** si indica qualsiasi congegno che possa compiere meccanicamente operazioni trasformando una data energia in un'energia (o lavoro) diversa. Il più delle volte le macchine vengono attrezzate con *strumenti* specifici che non sono altro che arnesi atti all'esecuzione di determinate operazioni proprie di un'arte, di un mestiere o di una tecnica.

L'unione di più macchine e attrezzature (strumenti) costituisce un **impianto**.

Le macchine semplici

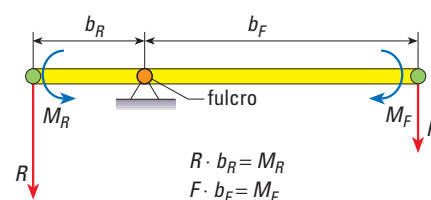
Si chiamano **macchine semplici** quelle che permettono di equilibrare una forza, detta *forza resistente*, con un'altra, detta *forza agente*. Le macchine semplici sono: la **leva**, sul cui principio di funzionamento si basano, per esempio, la *carrucola*, l'*argano* e il *verricello*, e il **piano inclinato**, sul cui principio di funzionamento si basano, per esempio, la *vite* e il *cuneo*.



La leva

La **leva** è costituita da un corpo rigido in grado di ruotare intorno a un punto, detto *fulcro*. Se si applica una forza R in un punto qualsiasi della leva diversa dal fulcro, si produce un *momento* M_R che genera una rotazione intorno al fulcro; la forza R (forza resistente) può essere equilibrata da un'altra forza F (forza agente), che determini un momento M_F uguale e opposto a M_R [fig. 2].

2 Sulla leva agiscono due momenti, uno che tende a farla ruotare in senso antiorario e uno in senso orario; l'equilibrio si raggiunge quando i due momenti sono uguali; nel disegno è rappresentata una leva di primo genere.



A seconda della posizione relativa del fulcro e delle forze R ed F [fig. 2], si hanno tre tipi di leve:

- **leve di primo genere**, quando il fulcro è compreso tra la forza resistente e quella agente; sono leve di primo genere le forbici e le pinze; una leva di questo tipo può essere: *vantaggiosa*, se $b_R < b_F$, *indifferente*, se $b_R = b_F$, *svantaggiosa*, se $b_R > b_F$; un esempio di leva di primo genere vantaggiosa è il *palanchino*;
- **leve di secondo genere**, quando il punto di applicazione della forza resistente si trova tra il fulcro e il punto di applicazione della forza agente; questo tipo di leva è sempre vantaggioso perché b_R è sempre minore di b_F ; un esempio di leva di secondo genere è la *carriola*;
- **leve di terzo genere**, quando il punto di applicazione della forza agente si trova tra il fulcro e il punto di applicazione della forza resistente; questo tipo di leva è sempre svantaggioso; un esempio di leva di terzo genere è la *pinza per il ghiaccio*.

La carrucola

La **carrucola fissa** [fig. 3] può essere considerata come una leva di primo genere a bracci uguali; da un punto di vista teorico essa non è quindi una macchina vantaggiosa, perché la forza da esercitare per sollevare un carico è uguale al carico stesso.

La **carrucola mobile** può essere invece considerata come una leva di secondo genere a bracci uguali; essa è dunque una macchina vantaggiosa perché, grazie al suo braccio doppio, la forza che si applica per sollevare un carico (compreso il peso della carrucola) è la metà del carico stesso. L'insieme di una o più coppie di carrucole fisse e mobili costituisce il **paranco**. La forza da applicare per sollevare un carico risulta pari al carico diviso il numero di carrucole.



3 La carrucola fissa è una leva di primo genere indifferente, infatti serve solo per rendere più agevole il sollevamento dei pesi.

Argano e verricello

L'**argano** è costituito da un tamburo sul quale si avvolge la fune e da un complesso di *rotismi demoltiplicatori* che trasmettono il moto di rotazione al tamburo (coppia rochetto-ruota dentata o vite-ruota elicoidale). L'asse del tamburo è in genere orizzontale; quando è verticale si chiama *cabestano*.

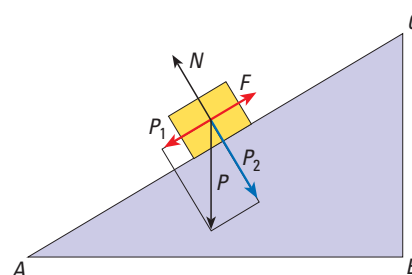
Il **verricello** è un piccolo argano a funzionamento manuale, usato soprattutto da muratori e minatori per sollevare piccoli carichi e nelle barche a vela [fig. 4].



4 Sulle barche a vela ci sono normalmente numerosi verricelli (chiamati *winch*) con la funzione di ridurre lo sforzo per mettere in tensione scotte e cime.

Il piano inclinato

Il **piano inclinato** permette di trasportare un corpo da un punto a un altro più in alto, utilizzando una forza minore di quella necessaria per sollevarlo verticalmente. Esso è costituito da un piano rigido che forma un angolo con il piano orizzontale [fig. 5].



5 Se il corpo è appoggiato su un piano inclinato, la forza F necessaria per tenerlo in equilibrio è uguale e contraria alla componente P_1 del peso parallela alla direzione del piano che trascina il corpo verso il basso.

Vite

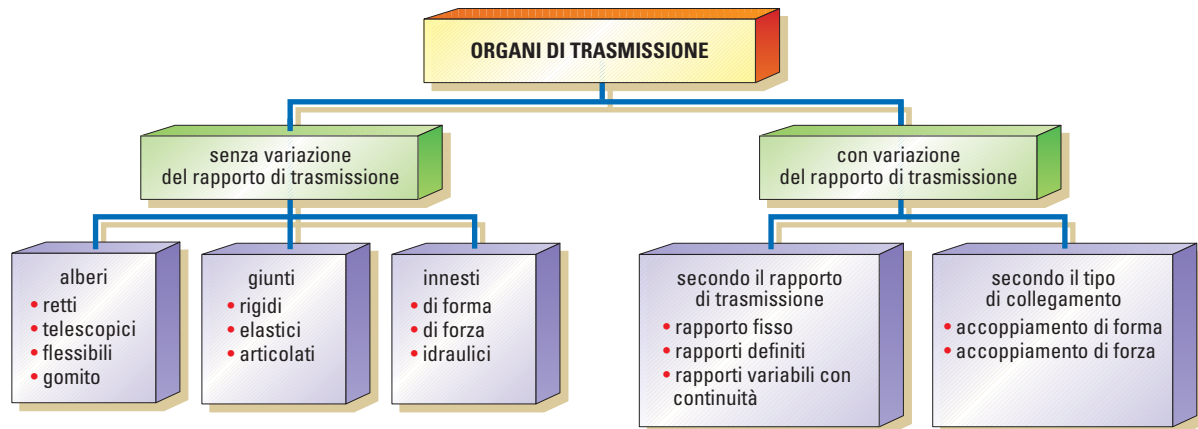
La **vite** è un organo di collegamento o di manovra costituito da un gambo totalmente o parzialmente filettato e provvisto di vari tipi di testa per consentirne l'azionamento.

Cuneo

Il **cuneo** è un prisma a sezione triangolare, di metallo o di altro materiale molto duro, usato per spaccare pietre o legname. Il suo effetto è tanto maggiore quanto più lunghi sono i fianchi rispetto alla base.

2 Organi di trasmissione

2.1 Classificazione secondo il rapporto di trasmissione



L'energia meccanica prodotta dai motori, di solito sotto forma di moto rotatorio, viene trasmessa agli *organi condotti*, attraverso gli **organi di trasmissione**.

A seconda del **rapporto di trasmissione** (cioè il rapporto tra la velocità di rotazione della ruota motrice e quella della ruota condotta) gli organi di trasmissione si distinguono in:

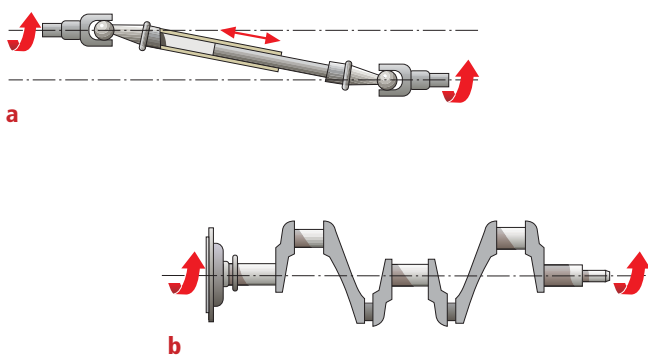
- organi che *non comportano variazioni* del rapporto di trasmissione; essi sono gli **alberi**, i **giunti** e gli **innesti**;
- organi che *comportano variazioni* del rapporto di trasmissione; essi sono detti *trasmissioni*.

Organi di trasmissione senza variazione del rapporto di trasmissione

Alberi

Gli **alberi** realizzano il collegamento tra ruote dentate, **pulegge**, giunti, frizioni ecc. in modo fisso o con possibilità di scorrimento assiale.

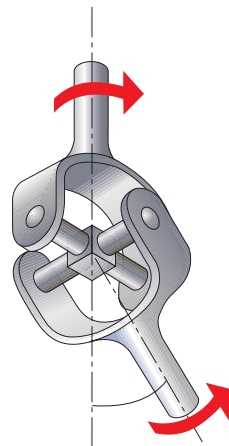
A seconda della funzione gli alberi possono essere **retti**, **telescopici**, **flessibili** o **a gomito** (albero motore) [fig. 1].



1 Differenti tipi di alberi: a) telescopico; b) a gomito.

Giunti

I **giunti** collegano gli alberi in modo permanente. Possono essere **rigidi** (per esempio **alberi calettati**), **elastici** (per esempio giunti a tasselli elastici che consentono piccole variazioni reciproche delle parti unite) e **articolati**. I giunti inoltre consentono il collegamento di alberi non in asse tra loro, i più comuni dei quali sono quelli **cardanici** [fig. 2].



2 Giunto cardanico.

Puleggia

La puleggia è una ruota sorretta da un albero il cui cerchione è di forma tale da poter portare un organo di trasmissione del moto come una cinghia, una catena, una fune ecc. Quando l'organo di trasmissione è una fune, la puleggia non è altro che una carrucola.

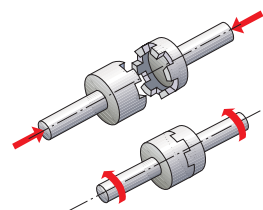
Calettatura

Collegamento rigido, senza possibilità di movimento relativo, tra due organi di macchina, come per esempio un albero e una puleggia.

Innesti

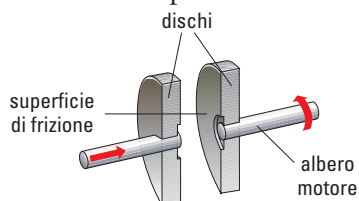
Gli **innesti** collegano gli alberi in modo da consentire il rapido scioglimento del collegamento. Possono essere:

- **innesti di forma**, normalmente realizzati attraverso *innesti dentati*; l'allineamento degli alberi deve essere perfetto e al momento dell'innesto e del disinnesto il moto deve essere arrestato per evitare rotture [fig. 3];



3 Esempio di innesto di forma.

- **innesti di forza**, normalmente realizzati attraverso *innesti a frizione* [fig. 4]; realizzano la trasmissione del moto mediante l'attrito che si genera tra due superfici premute l'una contro l'altra e hanno la peculiarità di iniziare o terminare la trasmissione del moto anche quando le parti sono in movimento; la frizione degli autoveicoli è un esempio di innesto di forza;



4 Innesto a frizione.

- **innesti idraulici**, impiegati in casi particolari e in presenza di sforzi limitati; sono caratterizzati dall'assenza di organi meccanici a contatto, in quanto sfruttano solamente la massa del fluido in movimento. La turbina che nelle centrali idroelettriche ha la funzione di produrre energia elettrica è un classico esempio di innesto idraulico nel quale una prima *girante* spinge il fluido contro una seconda.

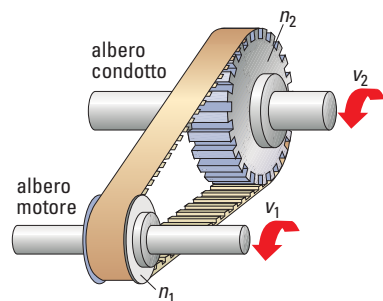
Organi di trasmissione con variazione del rapporto di trasmissione

Gli organi di trasmissione con variazione del rapporto di trasmissione possono essere classificati secondo il **rapporto di trasmissione** o secondo il **tipo di collegamento**.

Trasmissioni secondo il rapporto di trasmissione

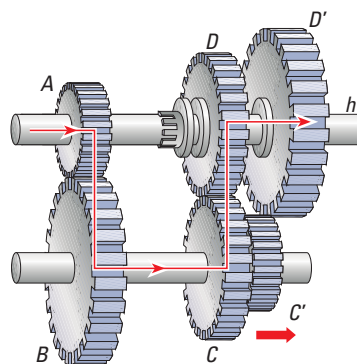
A seconda del modo in cui varia il rapporto di trasmissione, gli organi di trasmissioni possono essere:

- **a rapporto fisso**: sono quelli che consentono un solo rapporto di trasmissione; appartengono a questa categoria i *riduttori di velocità*, che trasmettono all'organo condotto una velocità di rotazione inferiore a quella del motore [fig. 5];



5 Trasmissioni a cinghia dentata. Il rapporto di trasmissione è dato dal rapporto tra il numero di denti della ruota motrice (n_1) e quello della ruota condotta (n_2); la velocità v_1 è maggiore della velocità v_2 .

- **a rapporti definiti**: sono quelli che consentono un numero definito di rapporti di trasmissione; appartengono a questo tipo i *cambi* [fig. 6] degli autoveicoli;
- **a rapporti variabili con continuità** o **variatori continui**: sono quelli che consentono di ottenere un numero illimitato di rapporti di trasmissione.

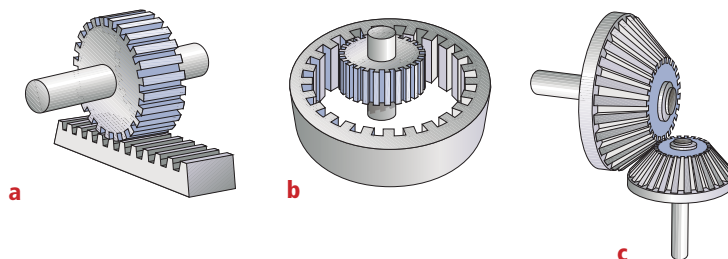


6 Ruote dentate in un cambio di velocità. Il percorso rosso ABCD indica le ruote attive; per variare il rapporto di trasmissione, la ruota C' , libera, si sposta a destra "ingranando" la ruota D' ; il diverso numero di denti delle ruote C' e D' rispetto alle ruote C e D determina una nuova velocità dell'albero h .

Trasmissioni secondo il tipo di collegamento

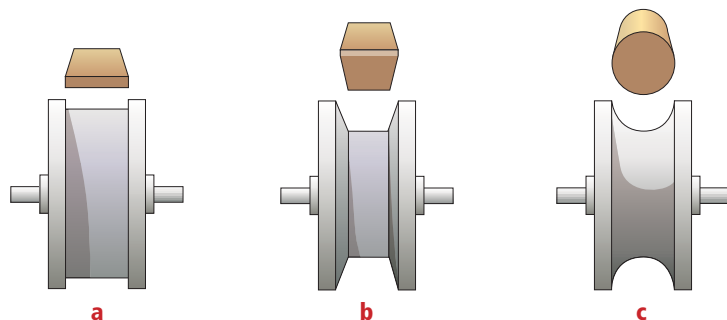
A seconda del modo in cui avviene il collegamento, le trasmissioni con variazione del rapporto di trasmissione possono essere:

- **con accoppiamenti di forma**: sono quelle nelle quali la forma geometrica della parte motrice si adatta a quella della parte condotta, trascinandola nel moto; le principali trasmissioni di forma sono quelle a *cinghia dentata*, a *catena* o a *ruote dentate* [fig. 7];



7 Vari tipi di accoppiamento di forma a ruote dentate in trasmissioni con variazioni del rapporto di trasmissione: a) a cremagliera; b) a cilindro e ruota interna; c) conica.

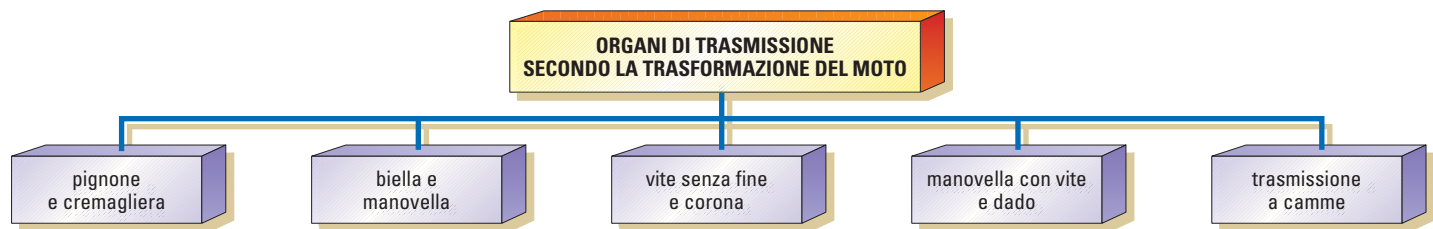
- **con accoppiamenti di forza**: sono quelle che realizzano la trasmissione del moto mediante l'attrito che si genera tra due superfici premute l'una contro l'altra; le trasmissioni con variazione del rapporto di trasmissione con accoppiamenti di forza più diffuse sono quelle a *cinghie piate*, *trapezoidali* o *cilindriche* [fig. 8].



8 Trasmissioni con cinghia piana (a), trapezoidale (b), cilindrica (c).

2 Organi di trasmissione

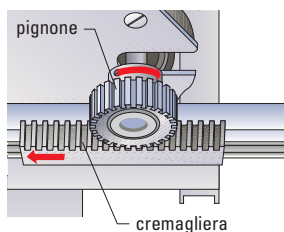
2.2 Classificazione secondo il tipo di moto



Le **macchine motrici** producono un movimento che, a seconda dei casi, può essere *rettilineo*, *rettilineo alternato* (come nel motore a scoppio, [5]) o *rotatorio* (come nella turbina a vapore [6.2]). Questo movimento viene trasmesso alle **macchine operatrici** in diverse maniere mediante i seguenti meccanismi: *pignone-cremagliera*, *biella-manovella*, *vite senza fine-corona*, *manovella con vite e dado*, *trasmissione a camme*.

Pignone-cremagliera

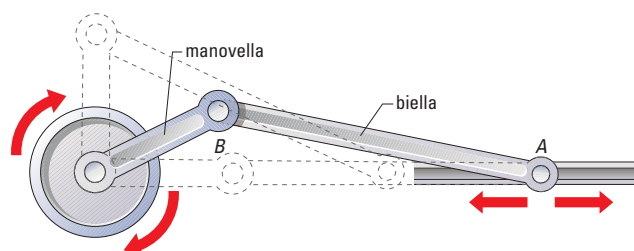
È un meccanismo che trasforma il movimento circolare del **pignone** (una ruota dentata che descrive un movimento circolare attorno al suo asse) nel moto rettilineo della **cremagliera** (un elemento rettilineo dentato) e viceversa [fig. 1].



1 Meccanismo pignone-cremagliera.

Biella-manovella

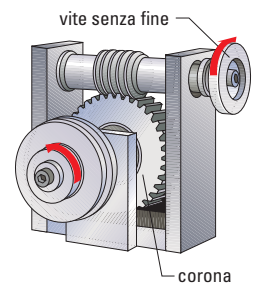
È un meccanismo che trasforma il moto circolare descritto da un elemento rigido chiamato **manovella** nel moto rettilineo alternato di un altro elemento rigido detto **biella**, e viceversa [fig. 2].



2 Meccanismo biella-manovella.

Vite senza fine-corona

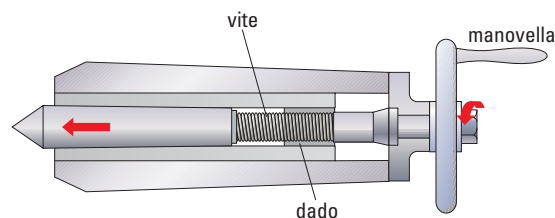
Si tratta di un meccanismo di trasmissione del movimento caratterizzato da assi di rotazione che si incrociano nello spazio. Le parti componenti sono la **vite senza fine** (un elemento cilindrico che dispone di uno o più filetti di forma elicoidale) che costituisce la parte motrice, e la **corona** dentata (una ruota con denti elicoidali della stessa inclinazione di quelli della vite senza fine) [fig. 3]. Questo tipo di meccanismo viene utilizzato per riduzioni della velocità angolare di notevoli entità.



3 Meccanismo vite senza fine-corona.

Manovella con vite e dado

È un meccanismo composto da una **manovella**, una **vite** solidale alla manovella e un **dado** fissato al basamento. È utilizzato per trasformare il moto rotatorio della manovella nel moto rettilineo della vite grazie allo scorrimento dei filetti della vite su quelli del dado [fig. 4].

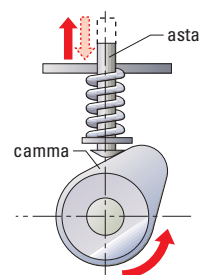


4 Meccanismo manovella con vite e dado.

Trasmissione a camme

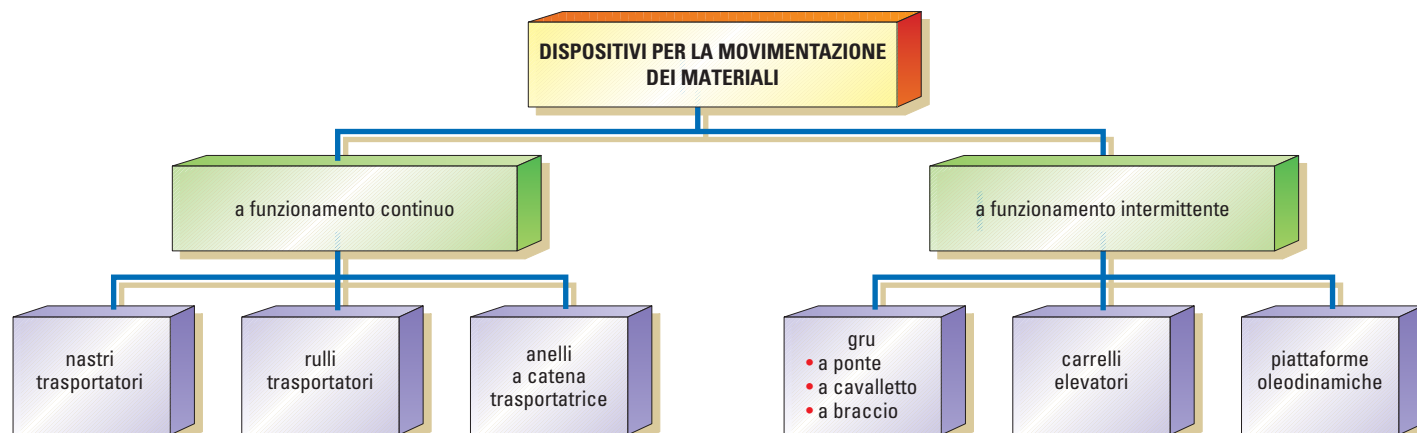
È un meccanismo che trasforma un movimento rotatorio in moto rettilineo alternato. Si realizza per mezzo di un elemento, detto **camma**, vincolato a ruotare intorno a un punto non baricentrico (*eccentrico*) e di un'asta che si sposta in modo rettilineo [fig. 5].

Un classico esempio di trasmissione a camme è la movimentazione delle valvole del motore a quattro tempi [6.2].



5 Trasmissione a camme.

3 Dispositivi per la movimentazione dei materiali



I tipi di macchine impiegate per la movimentazione dei materiali sono talmente numerosi da sfuggire a ogni possibile elencazione. Si può dire che non esiste attività produttiva che non faccia ricorso a dispositivi più o meno complessi per traslare, sollevare e ruotare oggetti [fig. 1].

La **robotica** [9] ha fornito un ulteriore contributo al riguardo, permettendo di gestire movimentazioni complesse e articolate grazie alla sua versatilità e precisione.

I dispositivi per la movimentazione dei carichi nelle fabbriche possono essere:



1 Nella linea produttiva delle autovetture le carrozzerie vengono agganciate e trasportate per mezzo di una struttura aerea in grado di muovere le scocche orizzontalmente e ruotarle su se stesse (FIAT).

- **a funzionamento continuo:** per esempio i *nastri trasportatori*, i *rulli trasportatori*, gli *anelli a catena trasportatrice*;

- **a funzionamento intermittente:** per esempio le *gru*, i *carrelli elevatori*, le *piattaforme di sollevamento* equipaggiate da pistoncini oleodinamici.

PER SAPERNE DI PIÙ

Il carrozzone

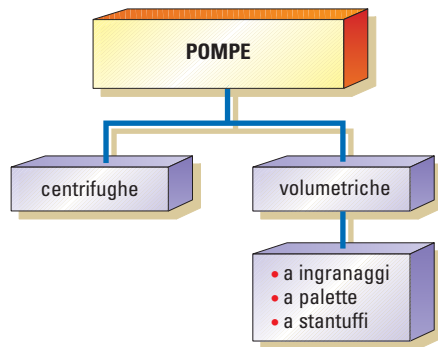
Nelle fabbriche il tipo di gru più usato è la **gru a ponte** (detta anche **carrozzone**) [fig. 2]. Essa è costituita da una travatura, detta **ponte**, che si muove lungo due binari. Il ponte, dotato di un **argano motorizzato**, permette la traslazione dei carichi sospesi sia in senso verticale sia in senso orizzontale.



2 Carrozzone per esterni. Il suo principio di funzionamento è analogo a quello per interni, dal quale si differenzia perché la traslazione del ponte non avviene su binari posti alla stessa quota del carro ma, mediante tralicci, su binari o su ruote gommate disposti alla quota del piano di lavoro.

4 Macchine oleodinamiche

4.1 Le pompe



Le **pompe** sono **macchine oleodinamiche operatrici** che forniscono energia a un liquido.

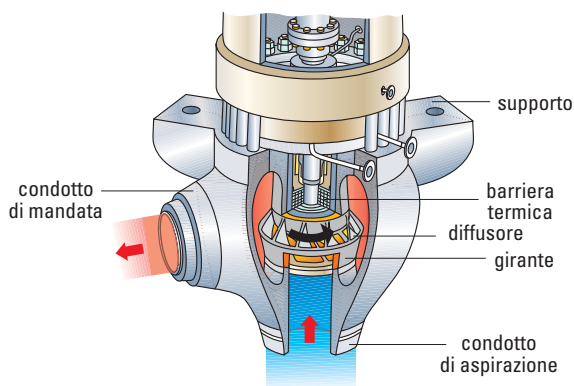
L'energia fornita può essere *energia potenziale* (per esempio per il prelievo di acqua dai pozzi), *energia cinetica* (per esempio per il raffreddamento dei motori termici), *energia di pressione* (per esempio per l'alimentazione di macchine motrici oleodinamiche [4.2]).

Le pompe possono essere *centrifughe* o *volumetriche*.

Pompe centrifughe

Le **pompe centrifughe** sono impiegate per sollevare un liquido a una quota maggiore di quella iniziale.

Sono costituite essenzialmente da una ruota (*girante*) munita di pale fisse e da un collettore per convogliare il liquido in uscita [fig. 1].



1 Pompa centrifuga ad asse verticale.

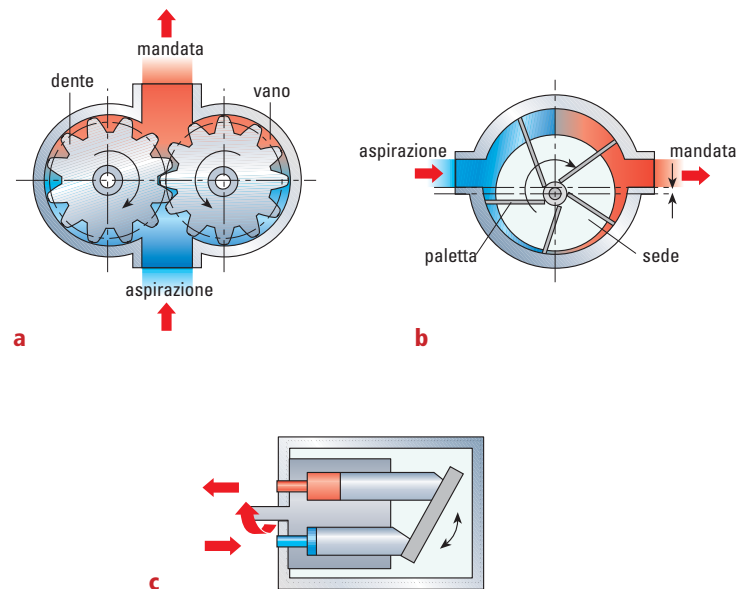
Pompe volumetriche

Le **pompe volumetriche** possono essere: *a ingranaggi*, *a palette* o *a stantuffi* [fig. 2].

La **pompa a ingranaggi** è costituita da un involucro a tenuta stagna contenente due ruote dentate i cui ingranaggi, ruotando, provocano il movimento del liquido dalla zona di aspirazione alla zona di mandata. Questa pompa consente di generare pressioni fino a 200 bar [fig. 2a].

La **pompa a palette** è costituita da una ruota con palette che gira all'interno di una camera circolare: durante la rotazione il liquido viene imprigionato tra due palette e, dopo la rotazione, è costretto a uscire in pressione dalla mandata. Questa pompa consente di generare pressioni fino a 175 bar [fig. 2b].

La **pompa a stantuffi assiale** è costituita da pistoni disposti assialmente in un cilindro il cui stelo è azionato da un disco che ruota intorno a un asse a inclinazione variabile che consente di modificare la portata [fig. 2c]. Questa pompa consente di generare pressioni fino a 400 bar.



2 Pompe volumetriche: (a) pompa a ingranaggi; (b) pompa a palette; (c) pompa a stantuffi.

PER SAPERNE DI PIÙ

Caratteristiche di una pompa

I dati caratteristici di una pompa sono:

- **portata (Q)**: quantità di liquido spostata nell'unità di tempo; si misura in m^3/s (o l/s);
- **prevalenza (H)**: è l'altezza alla quale una pompa è in grado di sollevare una "colonna" di acqua; si misura in metri.

Pompe a membrana

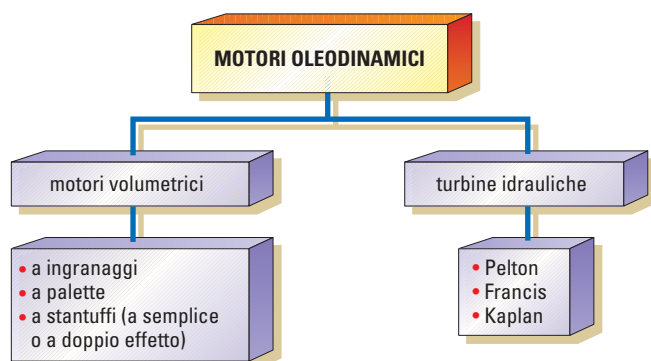
Un particolare tipo di pompe, le cui caratteristiche non rientrano tra quelle sopra descritte, sono le **pompe a membrana**, di largo impiego per il trasporto di fluidi negli impianti industriali. Il principio di funzionamento consiste nell'inserire aria compressa nella camera dove è presente una membrana capace di trasferire la pressione dell'aria compressa al liquido da pompare.

4 Macchine oleodinamiche

4.2 Motori oleodinamici

I **motori oleodinamici** (o **macchine oleodinamiche motrici**) hanno la funzione di trasformare in lavoro utile l'energia contenuta nel liquido in pressione.

A seconda del loro principio di funzionamento essi possono essere *motori volumetrici* o *motori a turbina* (detti più propriamente *turbine idrauliche*).

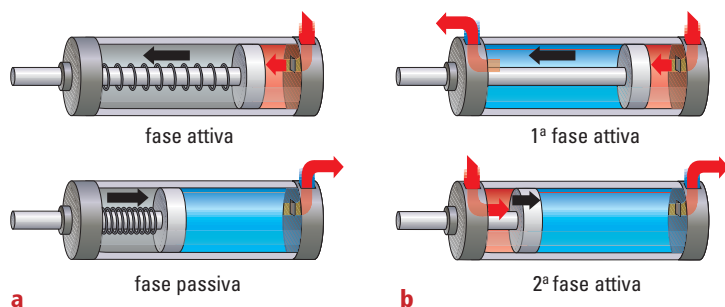


Motori volumetrici

Il principio di funzionamento delle pompe volumetriche descritte nella pagina precedente è invertibile. Esse possono cioè venire utilizzate per trasformare in potenza meccanica la pressione del fluido (olio) e in questo caso non sono più macchine operatrici ma diventano **motori oleodinamici volumetrici**.

I motori oleodinamici volumetrici possono essere *a ingranaggi*, *a palette* e *a stantuffi*.

La **pompa a stantuffo assiale a semplice o a doppio effetto** è un tipo di motore oleodinamico volumetrico di uso piuttosto comune, costituito da un cilindro all'interno del quale scorre uno stantuffo mosso dal liquido in pressione [fig. 1]. Nel cilindro della pompa a semplice effetto la fase attiva è una sola, poiché il ritorno dello stantuffo è garantito dalla presenza di una molla, mentre nel cilindro di quella a doppio effetto le fasi attive sono due. La doppia spinta è consentita dalla presenza di due valvole poste alle estremità del cilindro che fungono alternativamente da carico e scarico.



1 Pompa a stantuffo assiale a semplice effetto (a) e a doppio effetto (b).

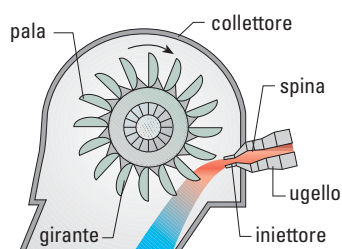
Turbine idrauliche

Le turbine idrauliche oggi in uso sono di tre tipi: *Pelton*, *Francis* e *Kaplan*.

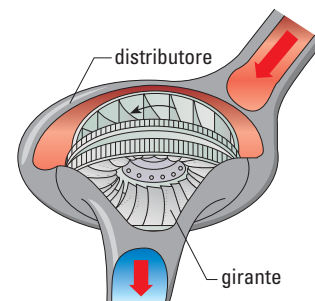
La **turbina Pelton** [fig. 2] è impiegata per portate ridotte con elevate velocità e pressione del fluido. È costituita da un ugello distributore che indirizza il flusso alle pale che hanno una caratteristica forma a doppia cucchiaina solidale con la girante che, per la spinta ricevuta, trasmettono il moto al rotore del generatore elettrico.

La **turbina Francis** [fig. 3] trova conveniente impiego per lo sfruttamento di portate da 5-6 m³/s fino a 100-150 m³/s e con prevalenze da 30-40 m fino a 200-250 m. L'impianto è costituito da una *camera forzata a spirale* che distribuisce l'acqua secondo un vortice, sulla periferia della girante attraverso la serie di pale direttrici del distributore. L'acqua, dopo aver lavorato sulle pale, esce attraverso il diffusore.

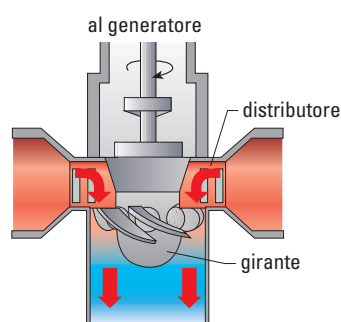
La **turbina Kaplan** [fig. 4] è impiegata quando le portate sono molto grandi (500-600 m³/s) e le prevalenze sono molto piccole (da pochi metri a 20-30 m). Tali condizioni si verificano nelle centrali idroelettriche di fiume. Il funzionamento di questi impianti è simile a quello delle turbine Francis.



2 Turbina Pelton.



3 Turbina Francis.



4 Turbina Kaplan.

4 Macchine oleodinamiche

4.3 Il funzionamento di un impianto oleodinamico

Elementi costituenti un impianto oleodinamico

Gli **impianti oleodinamici** sono sistemi complessi, capaci di ricavare energia sotto forma di pressione da un fluido e trasformarla in energia meccanica.

Gli impianti oleodinamici devono essere dotati dei seguenti elementi:

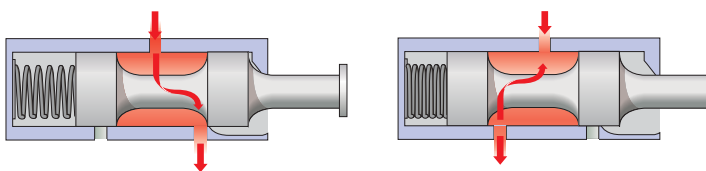
- **serbatoio del fluido:** è il recipiente che contiene il fluido; deve essere dotato di dispositivi per verificare il livello del fluido e deve essere costruito in modo da consentire rabbocchi nel caso di perdite dell'impianto o deterioramento del fluido; i fluidi di più comune impiego sono gli oli minerali, dotati di proprietà anticorrosive, lubrificanti e di viscosità adatta alle specifiche necessità;
- **filtro:** ha la funzione di trattenere impurità che potrebbero intasare o danneggiare l'impianto;
- **pompa oleodinamica:** è un dispositivo che aspira il fluido a una data pressione per espellerlo a una pressione superiore [4.1];
- **elemento motore:** è l'elemento che trasforma l'energia di pressione in lavoro [4.2];
- **elementi ausiliari:** generalmente sono *valvole* che hanno lo scopo di gestire, controllare il funzionamento o ottimizzare il rendimento dell'impianto.

Le valvole

Il corretto funzionamento di ogni macchina, di qualsiasi tipo essa sia, dipende dal suo corredo di elementi ausiliari che ne consentono la messa in funzione, la regolazione, il controllo. Tra questi elementi hanno particolare importanza le **valvole**, che regolano la distribuzione del fluido, l'erogazione della potenza e la sicurezza del funzionamento.

Le valvole più importanti sono:

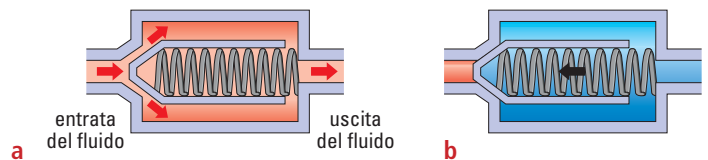
- **valvola di distribuzione:** ha la funzione di regolare il passaggio del fluido aprendo o chiudendo i fori di afflusso o di reflusso mediante il suo spostamento longitudinale all'interno dell'involucro [fig. 1]; può essere ad azionamento manuale, pneumatico o elettrico; in questo ultimo caso si chiama *elettrovalvola* e il suo principio di funzionamento si ba-



1 Valvola di distribuzione.

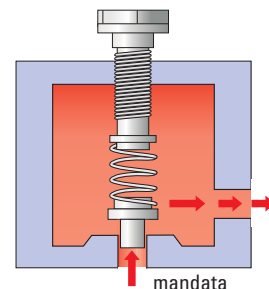
sa sulla creazione di una forza assiale in grado di comandare la valvola, per effetto del passaggio di corrente elettrica attraverso un avvolgimento elettrico;

- **valvola di non ritorno:** è una valvola dotata di un dispositivo a molla che consente il passaggio del fluido in un solo senso; è di grande utilità pratica perché consente, per esempio, di evitare lo svuotamento di un impianto di distribuzione in caso di mancato funzionamento di una pompa [fig. 2];



- 2 Valvola di non ritorno. a) La pressione del fluido di mandata è in grado di comprimere la molla e permettere il passaggio del fluido; b) la forza della molla è superiore a quella del fluido di mandata e quindi impedisce il passaggio del fluido.

- **valvola di regolazione della pressione:** è sempre posizionata a valle della pompa e corredata di un manometro; quando il fluido supera una certa pressione, la valvola apre un condotto in modo da scaricare parte del fluido nel serbatoio, ristabilendo la pressione di esercizio. Alcuni tipi di valvole di regolazione vengono utilizzati per mettere a punto l'impianto (avvio di impianto): esse consentono di regolare la pressione agendo su una vite che spinge una molla, governando l'apertura della mandata [fig. 3];

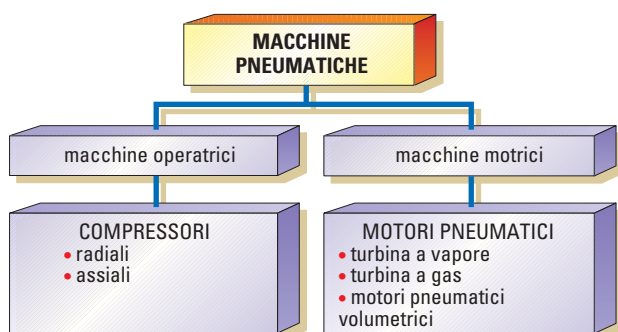


- 3 Valvola di regolazione della pressione.

- **valvola di regolazione della portata e della velocità:** la valvola di regolazione della portata è costituita da una vite che limita la sezione delle uscite, e può essere a un senso o a due sensi; la stessa valvola, se montata allo scarico, ha la funzione di valvola di regolazione della velocità;
- **valvola di scarico rapido:** permette lo scarico del fluido, in caso di necessità, attraverso una membrana che apre e chiude opportune vie d'uscita.

5 Macchine pneumatiche

Si chiamano **pneumatiche** le macchine che sfruttano l'energia contenuta nei gas compressi (normalmente aria). Le macchine pneumatiche possono essere **operatrici** o **motrici**. Le **macchine pneumatiche operatrici** sono i *compressori*, mentre quelle **motrici** (o *motori pneumatici*) sono le *turbine a vapore* o *a gas* e i *motori pneumatici volumetrici*.

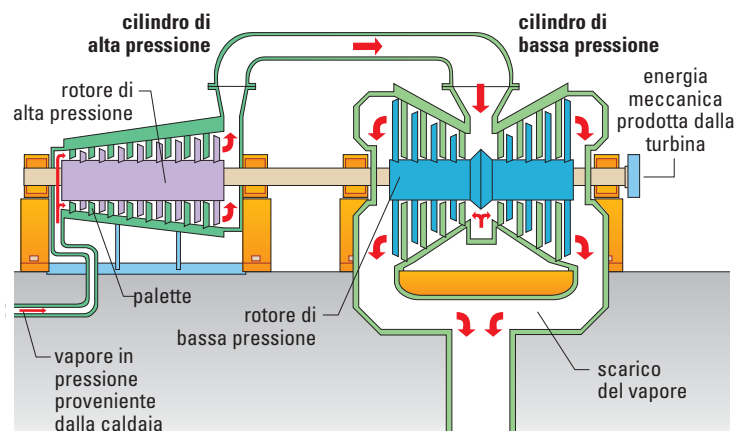


Compressori

L'aria compressa costituisce una preziosa fonte di energia per l'attività industriale. La compressione dell'aria avviene mediante macchine chiamate **compressori**, che trasformano l'energia fornita da un motore (di solito elettrico) in energia di pressione. I compressori possono essere *radiali* o *assiali*. I primi sono utilizzati per portate fino a 60 m³/s con **rapporti di compressione** uguali a 15-20, i secondi sono utilizzati per portate fino a 300 m³/s con rapporti di compressione uguali a 10-13, ottenuti mediante particolari **impianti multistadio**.

Turbine a vapore o a gas

La **turbina a vapore** [fig. 1] è una macchina che trasforma in energia meccanica l'energia termica fornita da una caldaia. Le sue applicazioni più importanti sono nelle *centrali termoelettriche* e nella *propulsione navale*.



1 Turbina a vapore. Il movimento è prodotto in una prima fase attraverso il cilindro ad alta pressione messo in rotazione dal vapore proveniente dalla caldaia; il vapore parzialmente raffreddato viene poi trasferito a un cilindro a bassa pressione.

La **turbina a gas**, molto simile come principio di funzionamento alla turbina a vapore, sfrutta direttamente i gas combusti di un bruciatore ma richiede la compressione dell'aria, che funge da *comburente*, prima della combustione. Grazie alla loro capacità di raggiungere rapidamente elevati livelli di servizio, questi impianti sono impiegati nella produzione di energia elettrica nei momenti in cui il fabbisogno aumenta repentinamente.

Motori pneumatici volumetrici

I **motori pneumatici volumetrici** generano un moto continuo con velocità di rotazione anche molto elevata e hanno il pregio di poter essere arrestati di colpo senza subire danni. Il loro principio di funzionamento è analogo a quello dei compressori, ma il flusso d'aria al loro interno si muove in senso inverso. Il tipo di motore pneumatico volumetrico di più comune impiego è quello **rotativo a palette**, adatto soprattutto per piccole potenze. Esempi di motori pneumatici volumetrici di uso molto comune nei reparti produttivi delle aziende sono i **trapani** e gli **avvitatori** [fig. 2].



2 Avvitatore pneumatico utilizzato in una linea di montaggio di autoveicoli (FIAT).

PER SAPERNE DI PIÙ

Differenza tra compressori e ventilatori

Il comune *ventilatore* non è altro che un particolare tipo di compressore, la cui funzione principale è quella di provocare il movimento dell'aria per migliorare il benessere termico all'interno di un ambiente. I ventilatori differiscono dai compressori per il minore rapporto di compressione.

Rapporto di compressione

È il rapporto tra la pressione di mandata e quella di aspirazione del gas o dell'aria. Viene di solito indicato con la lettera greca β (beta).

Impianto multistadio

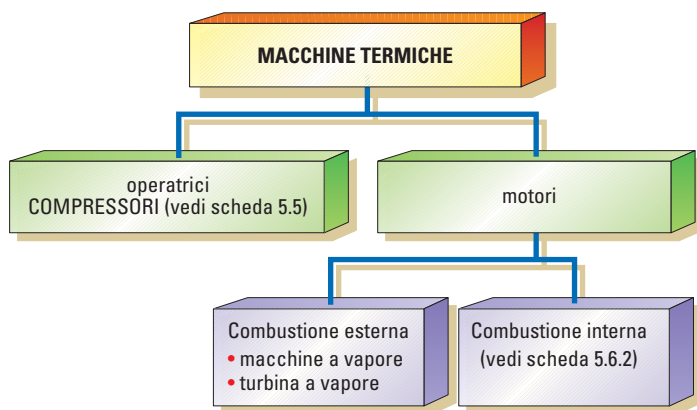
È un impianto costituito da una batteria di macchine, ciascuna delle quali sfrutta l'energia residua dello stadio precedente.

6 Macchine termiche

6.1 Motori a combustione esterna

Le **macchine termiche** sono quelle il cui funzionamento si basa sul principio della *comprimibilità dei fluidi*. La ragione del loro nome deriva dal fatto che a ogni trasformazione dello stato di un fluido comprimibile sono associati dei fenomeni termici.

Le macchine termiche possono essere *operatrici* o *motrici*.



Macchine termiche operatrici

Le **macchine termiche operatrici** non sono altro che i **compressori** [5]: durante la compressione dell'aria, infatti, si determina un aumento della temperatura.

Motori termici

Le **macchine termiche motrici** hanno la caratteristica di compiere una doppia trasformazione di energia:

- 1^a trasformazione: l'**energia chimica** del combustibile si trasforma in **energia termica** di un fluido attraverso un processo di **combustione**;
- 2^a trasformazione: l'**energia termica** ottenuta si trasforma in **energia meccanica**, per mezzo dell'espansione del fluido.

Le macchine termiche motrici possono essere:

- **motori a combustione esterna** (o *esotermici*), nei quali la combustione e l'espansione del fluido riscaldato avvengono in ambienti separati;
- **motori a combustione interna** (o *endotermici*), nei quali la combustione e l'espansione del gas avvengono in un unico ambiente.

Combustione

Reazione chimica di *ossidazione* di un materiale *combustibile* con forte sviluppo di calore, che avviene in presenza di un *comburente* (cioè di una sostanza che fornisce ossigeno).

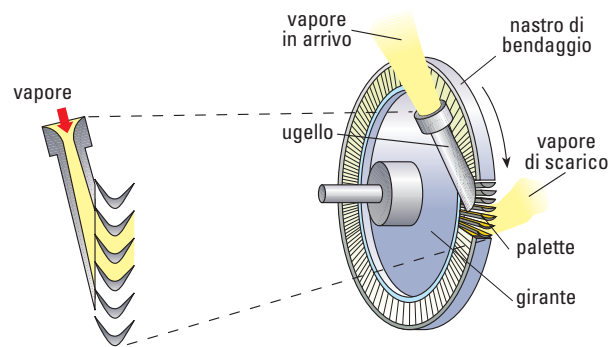
Motori a combustione esterna

I **motori a combustione esterna** sono quelli in cui l'energia del combustibile è utilizzata per produrre vapore in una camera detta *caldaia* e il vapore viene poi utilizzato per produrre lavoro meccanico.

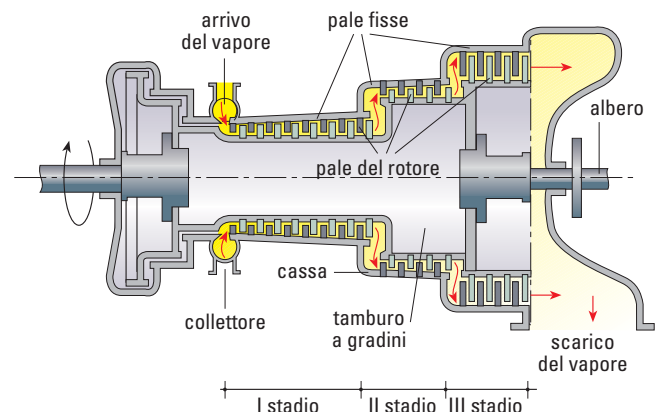
Sono motori a combustione esterna le *macchine a vapore*, ormai superate dai motori elettrici, e le *turbine a vapore*.

Le turbine a vapore si possono distinguere in:

- **turbine ad azione** [fig. 1]: nelle quali la trasformazione in energia cinetica dell'energia posseduta dal vapore avviene direttamente colpendo le pale della girante;
- **turbine a reazione** [fig. 2]: nelle quali la trasformazione in energia cinetica dell'energia posseduta dal vapore avviene attraverso un sistema di pale fisse e mobili.



1 Turbina ad azione: il vapore, colpendo le pale della girante, mette in rotazione l'albero fornendo energia meccanica.

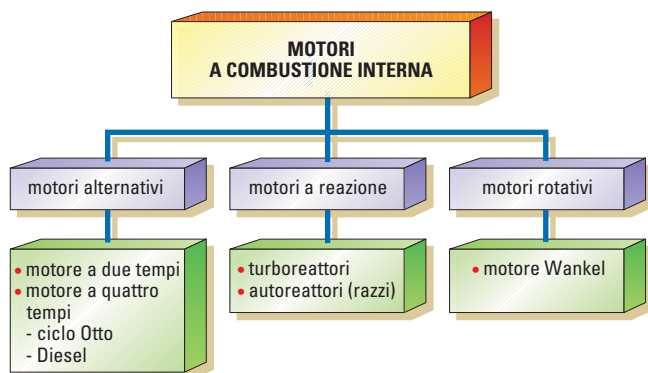


2 Turbina a reazione: l'energia cinetica fornita dal vapore è trasformata in energia meccanica per mezzo di un sistema di pale fisse e mobili. Per aumentarne il rendimento le turbine a reazione sono dotate di più stadi.

6 Macchine termiche

6.2 Motori a combustione interna

I **motori a combustione interna** utilizzano combustibili gassosi o liquidi facilmente nebulizzabili (benzina, gasolio, metano). Essi possono essere suddivisi in *motori alternativi*, *a reazione* e *rotativi*.



Motori alternativi

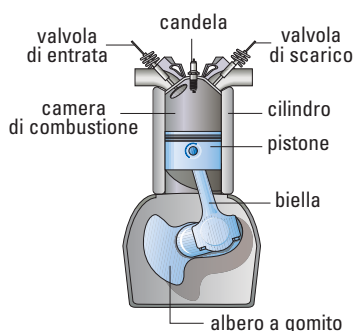
I **motori alternativi** sono soprattutto impiegati per l'autotrazione. Essi sono costituiti da un cilindro entro il quale scorre un pistone con moto rettilineo alternativo; attraverso un sistema biella manovella [2.2] il moto viene trasformato in rotatorio. Le fasi necessarie per trasformare l'energia chimica del combustibile in energia meccanica costituiscono il cosiddetto *ciclo di lavoro*. A seconda del metodo di immissione del combustibile nella camera di combustione (cilindro) i motori alternativi possono essere *a quattro tempi*, di uso frequente per potenze medio-grandi, e *a due tempi* per potenze minori.

A seconda delle modalità di combustione, i motori a quattro tempi possono essere a *ciclo otto* o *Diesel*.

Nel **motore a ciclo Otto** la combustione (*scoppio*) della miscela, costituita da aria più combustibile e dosata dal *carburettore*, viene innescata da una scintilla provocata, al momento opportuno, da un dispositivo detto *candela* [fig. 1].

Nel **motore a ciclo Diesel** il combustibile viene iniettato all'interno del *cilindro* dopo la compressione dell'aria e la combustione avviene spontaneamente per l'alta temperatura raggiunta. Nei motori Diesel, il carburatore e la candela dei motori a ciclo Otto sono sostituiti dall'*iniettore-pompa*.

Il **motore a due tempi**, a differenza di quello a quattro tempi, compie un *ciclo di lavoro* completo in un giro dell'albero motore che corrisponde a due corse del pistone.



1 Parti fondamentali di un motore a scoppio a quattro tempi. Il moto rettilineo alternato del pistone viene trasformato in rotatorio attraverso un sistema biella-manovella (biella-albero motore).

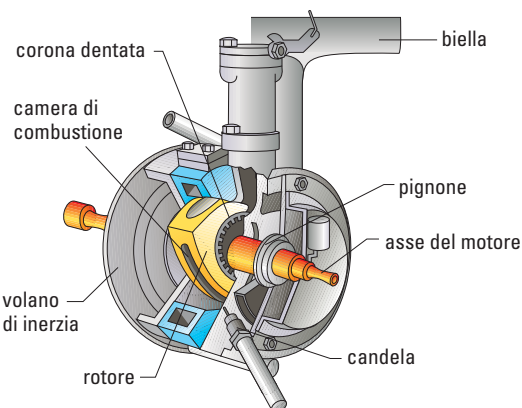
Motori a reazione

I **motori a reazione**, detti anche **turbine a gas**, sfruttano la spinta dei gas di scarico. Sono motori molto leggeri, di dimensioni contenute e capaci di grandi potenze. Questi motori possono essere dotati di giranti (**turbine**) spinte dai gas di scarico e allora prendono il nome di **turboreattori**. Se invece sono privi di parti in movimento, vengono detti **autoreattori** se sfruttano propellente liquido, o **razzi** se utilizzano propellente solido. Questi motori sono impiegati quasi esclusivamente nel campo aerospaziale.

Motore rotativo Wankel

Il **motore rotativo Wankel** è un motore termico a quattro tempi nel quale, a differenza di quanto accade nel motore a ciclo Otto, il pistone, invece di avere un moto rettilineo alternato, si muove secondo un moto rotatorio [fig. 2]. È meno rumoroso dei motori tradizionali, ha vibrazioni ridotte, dimensioni e peso minori ed è di costruzione più economica; non è però in grado di sviluppare elevate potenze.

Il motore Wankel è impiegato per piccole auto e per motori fuoribordo di piccole imbarcazioni.



2 Parti fondamentali di un motore Wankel: si noti la particolare forma del rotore, avente funzione di pistone dei motori alternativi, e della corona dentata al suo interno, che permette il trasferimento del moto all'albero motore tramite un pignone.

PER SAPERNE DI PIÙ

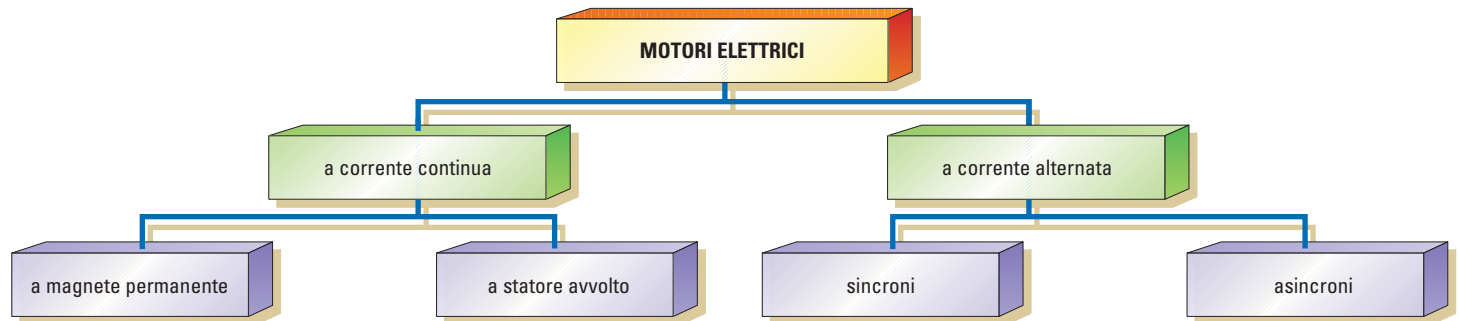
Motore Multijet

I motori Diesel negli ultimi anni hanno avuto grande sviluppo anche nel settore delle auto di piccole e medie cilindrata, in virtù di importanti sviluppi delle tecnologie di costruzione.

L'ultima generazione di questo tipo di motori è il cosiddetto **Multijet**, che si distingue dai precedenti Diesel Common rail per la combustione più lenta e graduale, a parità di gasolio bruciato all'interno del cilindro, ottenuta aumentando il numero delle iniezioni (da due a cinque) per ogni singola combustione.

Queste innovazioni hanno consentito notevolissime riduzioni dei consumi di carburante, accompagnate da una diminuzione delle emissioni acustiche e inquinanti.

7 Motori elettrici



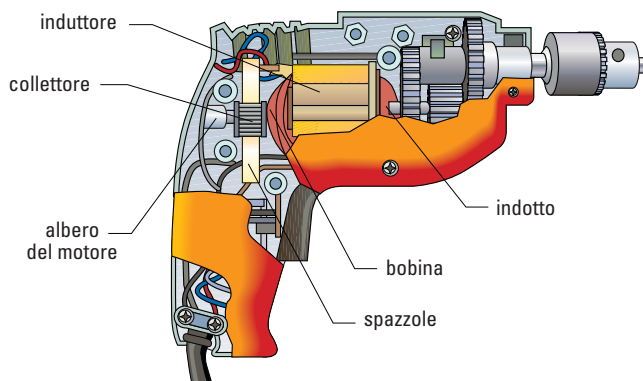
I **motori elettrici** sono macchine motrici che trasformano l'energia elettrica in energia meccanica.

Il loro funzionamento si basa sui principi dell'elettromagnetismo, cioè sfruttano le proprietà attrattive e repulsive dei campi magnetici, in particolare quelli generati dalla corrente elettrica.

Un motore elettrico [fig. 1] è costituito da un elettromagnete, detto *induttore* (o *statore*), e da una parte rotante costituita da un anello di ferro attorno al quale sono avvolte in serie numerose bobine, detta *indotto* (o *rotore*).

Mandando una corrente elettrica all'induttore si genera un campo magnetico che interagisce con quello delle elettrocalamite dell'indotto, mettendolo in rotazione.

A seconda del tipo di corrente che alimenta l'induttore i motori possono essere *a corrente continua* o *a corrente alternata*.



1 Struttura del motore elettrico di un trapano.

PER SAPERNE DI PIÙ

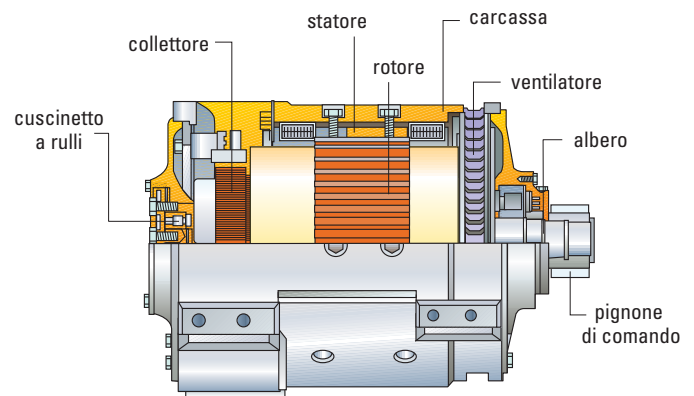
Le **prestazioni di un motore elettrico** sono determinate dalle seguenti grandezze:

- *coppia* o momento che il motore è in grado di vincere;
- *numero di giri*, che esprime la capacità del motore di variare la velocità di rotazione quando varia la tensione di alimentazione.

Motori a corrente continua

I *motori a corrente continua* richiedono un apposito alimentatore, dal momento che per gli impieghi industriali e civili è normalmente disponibile solo corrente alternata. Essi sono:

- i **motori a magnete permanente**, essi hanno lo statore costituito da un magnete permanente, il rotore con più avvolgimenti e il collettore ripartito in settori;
- i **motori con statore avvolto** [fig. 2], in cui il campo magnetico prodotto dallo statore viene realizzato per mezzo di un elettromagnete.



2 Motore elettrico a corrente continua a statore avvolto.

Motori a corrente alternata

I *motori a corrente alternata* o *universali* possono essere:

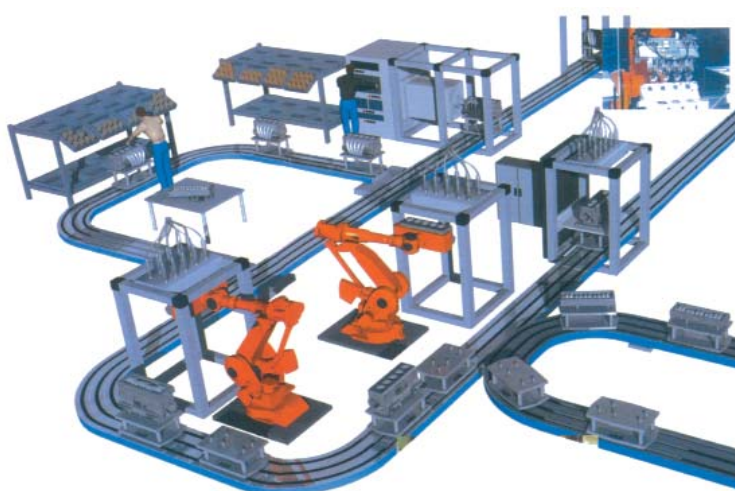
- **motori sincroni**, nei quali il campo magnetico generato dal rotore rimane fisso rispetto al rotore stesso (cioè ruota alla stessa velocità angolare). Il campo magnetico dello statore cambia invece continuamente direzione perché è percorso da corrente alternata;
- **motori asincroni**, in cui l'avvolgimento dello statore è percorso da corrente alternata e il campo magnetico generato cambia continuamente direzione.

8 Automazione industriale

8.1 Sistemi di controllo numerico delle macchine

L'automazione industriale e il controllo numerico

L'avvento dell'informatica ha consentito grandiosi progressi nelle capacità di **controllo automatico** dei sistemi di produzione [fig. 1]. È dunque ormai prassi comune che in tutte le officine il movimento di una macchina utensile sia “governato” da un elaboratore elettronico digitale che, a partire dal disegno del pezzo, gestisce tutte le operazioni necessarie per la lavorazione: dalla scelta dell'utensile, al calcolo delle traiettorie, alla velocità ottimale.



1 Linea di produzione robotizzata: i robot sono la soluzione ideale per la movimentazione dei materiali e il montaggio, poiché offrono un risultato di alta qualità in termini di precisione e velocità.

L'elaboratore elettronico sostituisce dunque l'operatore che trasmetteva le informazioni alla macchina agendo sui vari comandi.

Per **controllo numerico** di una macchina si intende un sistema automatico (elettronico, elettromeccanico, meccanico) che permette di autoregolarne i parametri di funzionamento. I controlli numerici rappresentano uno dei settori più tipici e importanti nel campo dell'automazione. Essi possono essere classificati, in base ai movimenti che comandano, in due grandi categorie: *punto a punto* o *a percorso continuo*.

Nel **sistema punto a punto** viene controllata la posizione che l'organo mobile deve raggiungere e non la traiettoria del movimento, mentre in quello **a percorso continuo** gli organi mobili sono costantemente sotto controllo e le successive posizioni devono corrispondere, in ogni istante, alla traiettoria desiderata tra punto iniziale e punto finale.

Macchine utensili a controllo numerico

Le macchine utensili sono governate da un particolare tipo di sistema di **controllo numerico** ottenuto abbinando alla macchina utensile un'**unità di governo** che ne gestisce completamente il funzionamento.

Oggi sono disponibili numerosissimi tipi di **macchine utensili a controllo numerico**, dalle più semplici (torni, fresatrici, alesatrici ecc.) opportunamente modificate per consentirne la gestione informatica, a quelle più universali in grado di eseguire lavorazioni diverse, come, ad esempio, i cosiddetti **centri di lavorazione a elevata produttività**, provvisti di sistemi automatici di cambio utensile e di movimentazione dei pezzi sui pallets.

PER SAPERNE DI PIÙ

Unità di governo e PLC

Con l'espressione **unità di governo** si intende un microcomputer a servizio della macchina utensile e, il più delle volte, incorporato in essa, dotato di monitor e di tastiera. Al suo interno si trovano i *dispositivi di comando* per tutte le funzioni della macchina (motori, pompe ecc.) e il *sistema di controllo* che riceve e analizza i segnali provenienti dai sensori della macchina utensile.

Il **PLC** o *Programmable Logic Controller* è un computer per la gestione dei processi industriali che esegue un programma ed elabora i segnali digitali ed analogici provenienti da sensori e diretti agli attuatori dell'impianto.

Un esempio: l'utilizzo dei PLC nell'imbottigliamento dei liquidi

Durante l'operazione di riempimento le bottiglie scorrono lungo il ponte di imbottigliamento in sincronia con il nastro trasportatore [fig. 2]. Il liquido viene pompato nel tubo di riempimento tramite una pompa a pistone e per ottenere un dosaggio perfetto si usa il criterio tempo/pressione: cioè il liquido viene mantenuto a pressione costante e la valvola di riempimento viene aperta per un tempo costante. Il cambiamento da ampolla a bottiglia, a lattina ecc. di dimensioni e forme diverse, avviene

semplicemente premendo un pulsante. I parametri di riempimento vengono memorizzati nel pannello operatore.



2 Particolare di una linea di imbottigliamento che utilizza il sistema PLC.

9 La robotica

9.1 I robot industriali

I **robot** costituiscono la forma più avanzata dell'automazione industriale, rendendo possibile lavorare pezzi dalle forme più diverse, senza necessità di interventi manuali sull'impianto per cambiare attrezzature o effettuare altre modifiche. Essi non solo consentono di migliorare i livelli di qualità della produzione industriale eliminando possibili "errori umani", ma migliorano anche le condizioni di lavoro riducendo le necessità di effettuare lavorazioni pericolose o dannose per la salute (verniciatura, saldatura ecc.).

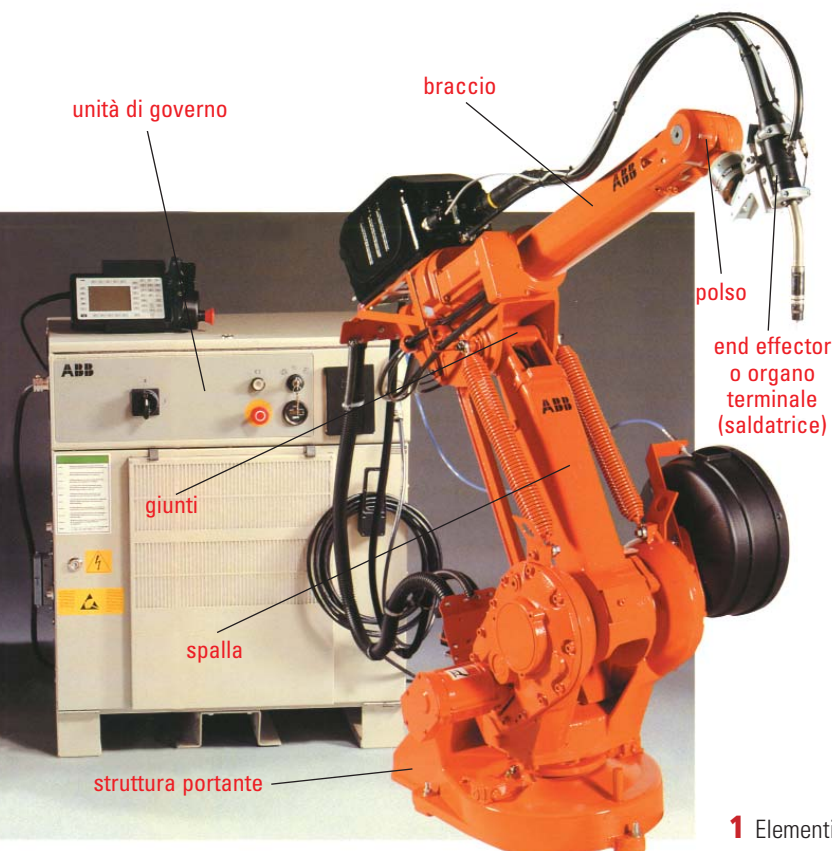
I robot industriali di ultima generazione

Negli ultimi anni, i robot si sono evoluti e hanno raggiunto **gradi di libertà**, livelli di precisione, velocità e capacità di carico sempre maggiori. In campo industriale essi svolgono ormai lavorazioni che richiedono grande accuratezza, come forature, fresature e tagli con il laser, e sono dotati di sistemi di visione molto precisi. Nel campo automobilistico, sono impiegati per la saldatura con sistemi laser e laser ottici con una o più sorgenti, consentendo di ridurre tempi e spazi e di aumentare la qualità delle carrozzerie.

I robot sono ormai di uso comune anche nella industria per

Gradi di libertà del robot

I *gradi di libertà* (o, più correttamente, *gradi di mobilità*) di un robot sono i movimenti, rotatori o traslatori, che possono effettuare gli elementi che lo compongono.



le operazioni di pallettizzazione e stoccaggio, specialmente in ambienti pericolosi e in condizioni di lavoro difficili.

Fra i robot industriali più utilizzati vi è il *braccio robotico* (o *braccio manipolatore*): si tratta di una macchina molto versatile, costruita a imitazione del braccio umano ma spesso dotata di un maggior numero di gradi di libertà. È interessante, e motivo di qualche inquietudine, osservare che questo tipo di macchine è spesso utilizzato per produrre altri robot simili, rendendo attuale quanto premonizzato dalla fantascienza a proposito delle *macchine autoreplicanti*.

Struttura di un robot industriale

Un robot industriale [fig. 1] è costituito da due parti fondamentali:

- *struttura meccanica*;
- *unità di governo*.

La **struttura meccanica** del robot è costituita da una *catena cinematica aperta*, intesa come insieme di corpi rigidi (braccio, spalla, polso) collegati tra loro (quindi con possibilità di movimento). Ciascun componente della catena cinematica del robot è denominato *link* ed è collegato agli altri componenti per mezzo di giunti (*joint*) con varie forme e funzionamenti.

Gli elementi (link e joint) che compongono un robot sono:

- **struttura portante**, sulla quale è fissato il braccio. Può essere fissa (pavimento, pareti o soffitti) oppure mobile in modo da permettere al robot un ampio campo di azione (incastellature rotanti e/o traslanti su rotaie, slitte o carrelli);
- **spalla**, che collega la struttura portante al braccio; di solito è dotata di un giunto che permette la rotazione del braccio secondo uno o più assi;
- **polso**, che collega il braccio all'organo terminale, formato da giunti rotanti che permettono all'organo terminale un gran numero di movimenti;
- **organo terminale** (*end effector*): può avere funzioni molto simili a quelle di una mano umana oppure di un attrezzo o utensile specifico (pinza di saldatura, pistola di verniciatura, elettrocalamita ecc.).

UN PO' DI STORIA

La parola **robotica** proviene dal ceco *robota*, che significa "lavoro pesante" o "lavoro forzato". Il termine è stato introdotto dallo scrittore ceco Karel Čapek, nel 1920, nel suo racconto *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*. L'equivalente termine inglese *robotics*, compare per la prima volta in un racconto di fantascienza del 1941 dello scrittore Isaac Asimov intitolato *Bugiardo! (Liar!)*.

1 Elementi fondamentali di un robot antropomorfo.

9 La robotica

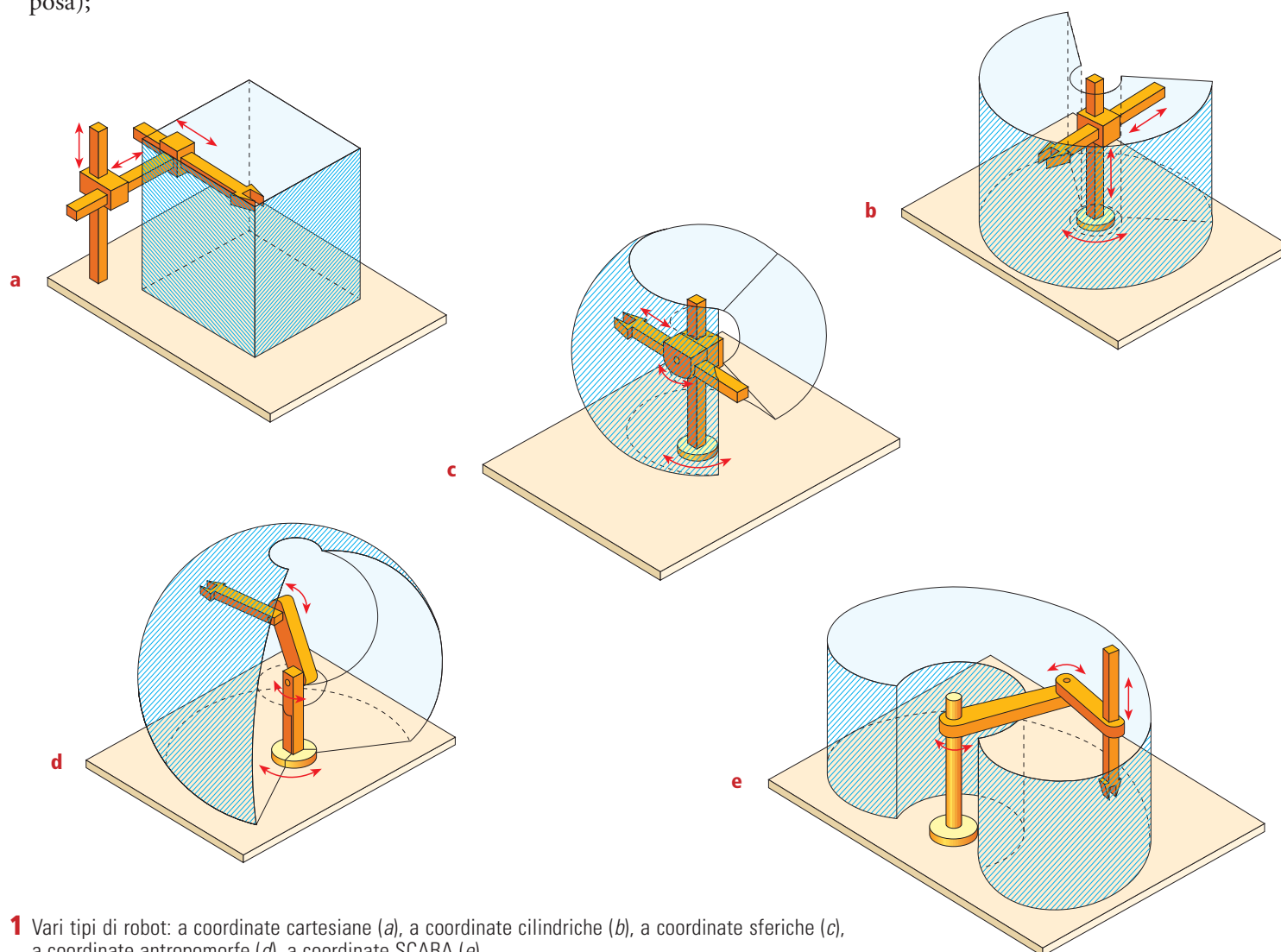
9.2 Classificazione dei robot industriali

Classificazione dei robot in funzione della struttura meccanica

A seconda della loro *struttura*, dei *movimenti* e del *volume di lavoro* (cioè della “*regione spaziale*” entro la quale l’utensile del robot può agire), i robot possono essere classificati:

- **a coordinate cartesiane [fig. 1a]:** fanno compiere all’organo terminale traslazioni su tre assi ortogonali, perché dispongono di tre gradi di libertà principali, ai quali si devono sommare le movimentazioni del *polso*. Il *volume di lavoro* è un prisma a base rettangolare che ne consente l’utilizzo in lavorazioni di assemblaggio e di posizionamento accurato degli oggetti manipolati;
- **a coordinate cilindriche [fig. 1b]:** sono in grado di compiere due movimenti traslatori e almeno un movimento rotatorio attorno all’asse della colonna portante. Il *volume di lavoro* assume una forma cilindrica, permettendo velocità di movimento molto elevate. Vengono utilizzati principalmente per movimentazioni di tipo *pick and place* (afferra e posa);

- **a coordinate sferiche o polari [fig. 1c]:** si differenziano dai robot a coordinate cilindriche per aver sostituito il moto di traslazione del braccio lungo la colonna portante con un moto rotatorio (*beccheggio*). Il *volume di lavoro* ha forma sferica;
- **a coordinate articolate o antropomorfe [fig. 1d]:** sono quelli che simulano meglio i movimenti del braccio umano; sono provvisti di giunti alla spalla e al gomito, capaci di ruotare attorno a un asse orizzontale, mentre la base portante può ruotare attorno a un asse verticale consentendo al robot di lavorare in uno spazio quasi sferico; questo tipo di robot è il più utilizzato, in quanto permette all’organo terminale un ampio *volume di lavoro* e un’ottima manovrabilità degli organi di presa;
- **a coordinate SCARA [fig. 1e]:** sono robot simili a quelli a coordinate articolate, dai quali si differenziano per avere i giunti della spalla e del gomito rotanti attorno ad assi verticali invece che orizzontali.



1 Vari tipi di robot: a coordinate cartesiane (a), a coordinate cilindriche (b), a coordinate sferiche (c), a coordinate antropomorfe (d), a coordinate SCARA (e).

VERIFICA

- 1 Identifica almeno un tipo di macchina semplice che utilizzi ogni giorno.
- 2 La frizione di un'autovettura è un collegamento a:
 - A giunto rigido
 - B innesto di forza
 - C innesto di forma
 - D giunto articolato
- 3 Per collegamento a catena si intende:
 - A giunto snodato
 - B trasmissione con accoppiamento di forma
 - C trasmissione a rapporti variabili
 - D giunto a doppio effetto
- 4 Il variatore di un ciclomotore è un dispositivo di trasmissione a:
 - A rapporto fisso
 - B rapporti definiti
 - C rapporto variabile con continuità
 - D rapporto discontinuo
- 5 Quali tipi di trasmissione si possono utilizzare per trasformare un moto rotatorio in rettilineo alternato?
- 6 Quali tipi di trasmissione si possono utilizzare per trasformare un moto rotatorio in rettilineo?
- 7 Quali tipi di trasmissione si possono utilizzare per trasformare un moto rettilineo alternato in rotatorio?
- 8 Definisci la differenza tra macchine operatrici e motori.
- 9 Tra le valvole elencate di seguito, quale utilizzeresti per mettere in sicurezza un serbatoio la cui pressione interna può superare quella di sicurezza?
 - A valvola di regolazione di pressione
 - B valvola di regolazione di portata
 - C valvola di scarico rapido
 - D valvola di non ritorno
- 11 Un motore termico trasforma energia chimica in energia:
 - A termica
 - B potenziale
 - C meccanica
 - D elettrica
- 12 Riporta alcuni esempi di motori a combustione interna ed esterna.
- 13 Qual è la differenza sostanziale tra un motore a benzina e un motore diesel?
- 14 Nel motore Wankel il pistone si muove con moto:
 - A rettilineo alternato
 - B rotatorio
 - C ellittico
 - D vario
- 15 Quali di questi non è un motore elettrico?
 - A motore a magnete permanente
 - B motore Wankel
 - C motore sincrono
 - D motore a statore avvolto
- 16 Quale tipo di movimento caratterizza i motori elettrici?
- 17 Che cosa si intende per gradi di libertà di un robot?
- 18 Definisci con una rappresentazione geometrica lo spazio di lavoro di un robot a coordinate cilindriche.
- 19 Elenca gli elementi che compongono un robot industriale.
- 20 Quali tipi di robot sono rappresentati nei seguenti disegni?

