

# GIRA LA RUOTA

*Iniziamo a conoscere alcuni dei più semplici principi fisici che sono alla base della meccanica dei robot. Vediamo come le leve e gli ingranaggi permettono il movimento dei robot e quali sono le loro caratteristiche essenziali.*

I robot sono, come abbiamo più volte accennato, il risultato dell'applicazione di discipline eterogenee, come l'elettronica, la fisica, l'informatica e la meccanica. Fino a ora abbiamo introdotto in maniera semplice alcuni concetti legati all'elettricità e, partendo da basi fisiche elementari, siamo arrivati a comprendere il funzionamento

delle prime tipologie di motori elettrici con cui avremo a che fare. Non abbiamo ancora chiarito, tuttavia, come avviene l'interfacciamento tra tali motori e gli elementi attivi dei robot e delle macchine. Il discorso, come al solito, è molto vasto e non può essere affrontato in termini assoluti: le soluzioni adottate nell'industria, infatti, sono numerose e spesso

frutto di studi eseguiti appositamente su specifici progetti. Inizieremo, quindi, a osservare questo mondo a partire dalle macchine più semplici.

**C** I bracci robotici sono un classico esempio nel quale possiamo osservare ingranaggi e leve che operano in contemporanea.



**C** Le ruote dentate sono utilizzate per trasmettere il moto. Le loro forme sono varie e cambiano in base al loro utilizzo.

## PRIMA DI COMINCIARE

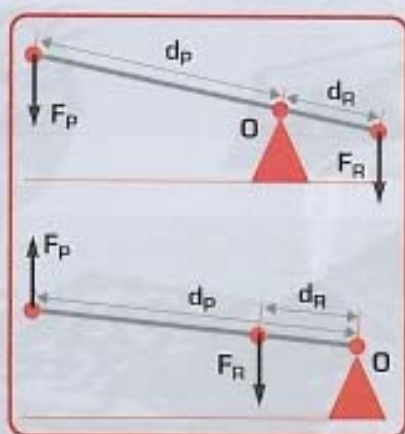
Prima di addentrarci in un'analisi del funzionamento delle trasmissioni di moto, facciamo una breve digressione, tornando a parlare di fenomeni fisici e in particolare di forze meccaniche. Il concetto di forza è noto più o meno a tutti in maniera intuitiva e per questa ragione non ci soffermeremo a descriverne approfonditamente tutte le proprietà, tuttavia è importante far presente che **le forze agiscono rispetto a uno specifico punto, con una ben precisa direzione e una propria intensità**. Riflettiamo, invece, a partire da un esempio pratico e di facile comprensione: immaginiamo di voler rompere una noce. È un'operazione che quasi tutti hanno svolto almeno



una volta nella vita e per la quale si ricorre a un apposito utensile da cucina che tutti conosciamo con il nome di 'schiaccianoci'. Il procedimento è semplice: si prende la noce, si inserisce nello schiaccianoci e si esercita una pressione. Perché è pratica comune ricorrere a tale utensile? Non è una questione di 'presa', ma, piuttosto, stiamo sfruttando le peculiarità di una delle macchine fisiche più conosciute: la leva.

### DATEMI UNA LEVA E SOLLEVERÒ IL MONDO... >>>

Le leve sono macchine semplici (già note e di ampio uso fin dall'antichità) composte da due bracci rigidi e solidali in grado di ruotare rispetto a un punto fisso chiamato fulcro (vedi figura in alto). Sul primo di questi bracci (braccio della resistenza) si considera agente una forza resistiva mentre sull'altro braccio (braccio della potenza) è applicata una seconda forza che ha lo scopo di contrastare il carico precedentemente citato (per superarlo, eguagliarlo o attenuarlo). Introduciamo ora, in maniera semplificata, una grandezza chiamata momento di forza: senza addentrarci troppo in calcoli matematici, essa può essere definita come il prodotto tra l'intensità di una forza e la sua distanza da un asse di rotazione. Tale grandezza è di fondamentale utilità per comprendere le leve. Il loro funzionamento, infatti, si basa proprio sull'uguaglianza tra i momenti delle forze agenti sul braccio della potenza e della resistenza. In termini più 'pratici', definite le forze  $F_P$  e  $F_R$



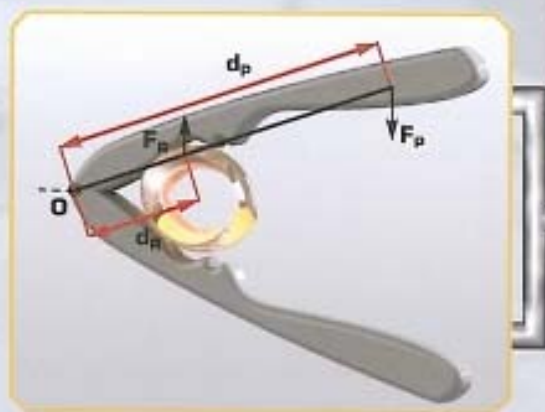
Due tipi di leve: in alto una leva con il fulcro 'O' posto tra la resistenza ' $F_R$ ' e la potenza ' $F_P$ ' rispettivamente a distanza  $d_R$  e  $d_P$ . Sotto, il fulcro è esterno alle forze.

e le distanze dal fulcro  $d_P$  e  $d_R$  vale l'equazione:

$$F_P \cdot d_P = F_R \cdot d_R$$

Tomiamo all'esempio prima citato: in esso lo schiaccianoci svolge il ruolo della leva, la cerniera che unisce le sue metà quello del fulcro, mentre la forza esercitata dalla nostra mano quello della 'potenza'. La noce, infine, è la 'resistenza' su cui stiamo agendo (figura in basso a destra). Osserviamo che la distanza tra il punto di applicazione della forza e il fulcro è molto maggiore

Quando rompiamo una noce sfruttiamo di fatto, in modo inconscio, i principi alla base del funzionamento delle leve. Nell'immagine sono visualizzate le forze ( $F_P$ : potenza,  $F_R$ : resistenza), le lunghezze dei bracci ( $d_R$  e  $d_P$ ) e, infine, il fulcro della leva (O).



rispetto a quella che intercorre tra quest'ultimo e la superficie della noce. Poiché deve valere l'equazione scritta in precedenza, avremo che la forza resistiva sarà pari a  $F_R = F_P \cdot d_P / d_R$ . Dato che, per quanto abbiamo appena osservato,  $d_P$  ha un valore maggiore rispetto a  $d_R$ , la nostra forza arriva sulla noce 'amplificata'.

### LE FORZE DEI MOTORI >>>

Perché parlare di leve? Perché l'analogia di questo tipo di macchina semplice con le articolazioni dei robot è molto stretta. Se ci soffermiamo su un braccio robotico, e in particolare sul 'gomito' di tale arto, notiamo che la sua struttura meccanica è identica alla leva presentata per seconda nella figura in alto (ma con  $F_P$  al posto di  $F_R$  e viceversa). Poiché, in questo caso, avremo  $d_P < d_R$  la forza sul punto della resistenza sarà inferiore a quella della potenza. La forza applicata per attuare il braccio deve, di conseguenza, essere superiore rispetto a quella del carico. Ma, allora, è sempre necessario utilizzare attuatori in grado di esercitare forze molto elevate? Prendiamo come esempio un motore elettrico, analogo a

quelli incontrati nel fascicolo precedente. Chiunque ne abbia visto uno in funzione si sarà accorto di come i motori elettrici operino a velocità elevatissime, senza esercitare, però, forze ugualmente intense. In che

in maniera molto semplice da cosa dipende questo fenomeno. Innanzitutto consideriamo il sistema mostrato a sinistra e stabiliamo una semplice nomenclatura: la ruota con il **diametro più piccolo** è, di solito, quella **motrice** e prende il nome di **pignone**, mentre quella più grande è detta **condotta**. L'interazione tra questi due semplici elementi meccanici costituisce un **ingranaggio**.

La trasmissione del moto inizia dal pignone che mette in rotazione la ruota condotta; le differenze tra i diametri delle ruote dentate e del numero di denti fanno il resto. Immaginiamo che

il pignone abbia un terzo dei denti della condotta. Poiché la trasmissione avviene 'dente a dente', è facile intuire che a ogni giro completo del pignone corrisponderà un terzo di giro della ruota concatenata. Si riduce di un terzo, quindi, il numero dei giri trasmessi all'uscita del sistema di ingranaggi con una diretta riduzione della velocità di rotazione della ruota terminale, ma cosa accade alla forza torcente? Poiché, a meno delle dispersioni dovute agli attriti, la **potenza meccanica** (definita come il prodotto tra la coppia e la velocità angolare del motore) **immessa nel sistema viene interamente trasmessa** all'ultima ruota dentata della riduzione, si può osservare che **alla diminuzione del numero di giri** (o della 'velocità angolare') **prodotta**

**dagli ingranaggi corrisponde un aumento della coppia applicata dall'ultima ruota dentata.**

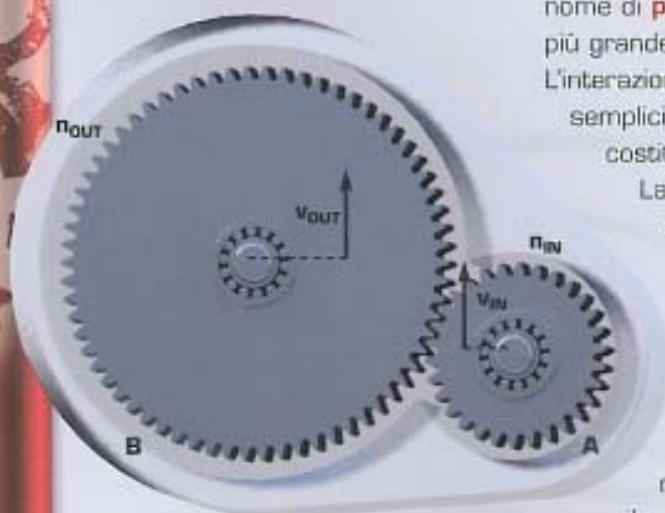
Non solo è possibile osservare questo fenomeno, ma si può anche quantificarlo. Se consideriamo due ruote dentate **A** e **B** [figura a lato], dotate rispettivamente di  $n_{IN}$  e  $n_{OUT}$  denti, e associamo la prima di queste all'albero di un motore capace di produrre una coppia  $C_{IN}$  a una velocità di  $v_{IN}$  giri al secondo, possiamo esprimere i parametri di uscita alla riduzione attraverso le formule:

$$v_{OUT} = v_{IN} \cdot \frac{n_{IN}}{n_{OUT}}$$

$$C_{OUT} = C_{IN} \cdot \frac{n_{OUT}}{n_{IN}}$$

Velocità e coppia sono, di conseguenza, proporzionali al rapporto di riduzione: al diminuire della prima, aumenta proporzionalmente l'altra. Inoltre, **maggiore è la riduzione del numero dei giri e più è elevato il guadagno di coppia ottenuto sull'ultimo ingranaggio**

La complessità degli ingranaggi varia in base alla loro funzione e all'intensità della potenza da trasmettere.



Una coppia di ruote dentate. Il moto è trasmesso dalla ruota motrice (A) a quella condotta (B). Questa configurazione riduce la velocità di rotazione aumentando la forza.

modo, allora, si può sfruttare concretamente il moto prodotto? Come è possibile far compiere ai comuni motori elettrici sforzi apparentemente superiori alle loro capacità?

### LE RIDUZIONI

Tutto ciò è reso possibile dall'impiego delle **riduzioni**. Le riduzioni non sono altro che concatenamenti di **ruote dentate** nei quali l'alta velocità di rotazione applicata sulla ruota di ingresso al sistema viene convertita in un aumento della **forza torcente** (detta **coppia**) dell'ultima ruota. Vediamo

**della catena.** Esistono, tuttavia, anche casi opposti rispetto a quanto detto finora, ossia meccanismi in cui la ruota motrice è dotata di un numero di denti superiore a quello della ruota condotta: in tali situazioni si ottiene un'amplificazione della velocità di rotazione, a discapito della forza torcente utile.

**RIDUZIONE DOPO RIDUZIONE**

Per ora abbiamo affrontato il problema della riduzione considerando esclusivamente una sola coppia di ruote dentate, tuttavia quanto detto può essere esteso a intere catene di ingranaggi. Consideriamo, ad esempio, la figura sottostante nella quale è rappresentato un

**gearbox**, del tutto simile a quelli utilizzati per trasmettere potenza nei robot. Indichiamo con i simboli  $P_A$  e  $P_B$  i due pignoni e con  $C_A$  e  $C_B$  le ruote condotte. Osserviamo che  $P_B$  è montato sullo stesso albero che ospita  $C_A$ , il che significa che la velocità angolare delle due ruote sarà identica. L'azionamento del motore mette in rotazione  $P_A$  che, facendo ruotare  $C_A$ , produce una prima riduzione dei giri secondo il rapporto  $n_{PA}/n_{CA}$ . La velocità intermedia sull'albero che ospita  $C_A$  e  $P_B$  sarà, quindi:

$$v_{MID} = v_{IN} \cdot n_{PA} / n_{CA}$$

Tale velocità subirà una seconda riduzione della coppia di ruote

dentate  $P_B$  e  $C_B$  pari a  $n_{PB}/n_{CB}$ . Alla stessa maniera calcoliamo  $v_{OUT}$  rispetto a  $v_{MID}$ :

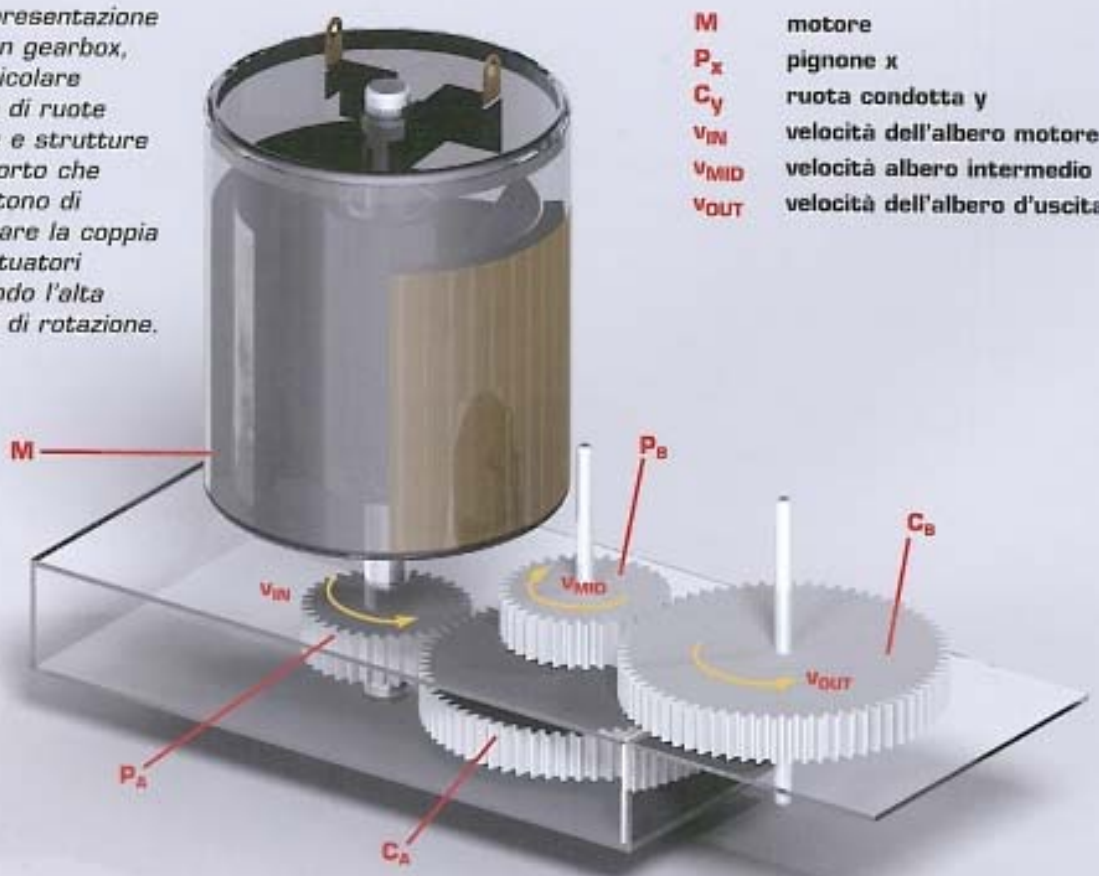
$$v_{OUT} = v_{MID} \cdot n_{PB} / n_{CB}$$

Sostituendo in questa equazione quella precedente otteniamo il rapporto di riduzione totale:

$$\frac{v_{OUT}}{v_{IN}} = \frac{n_{PA}}{n_{CA}} \cdot \frac{n_{PB}}{n_{CB}}$$

Ovviamente, il procedimento appena proposto può essere esteso a riduzioni ancora più complesse, composte da 3, 4 o più stadi. Nel prossimo fascicolo potrai provare gli effetti delle riduzioni meccaniche con l'ausilio di alcuni elementi della Lego Technic simulando l'attuazione di un giunto rotazionale.

*La rappresentazione 3D di un gearbox, un particolare insieme di ruote dentate e strutture di supporto che permettano di aumentare la coppia degli attuatori sfruttando l'alta velocità di rotazione.*



# F O C U S O N

## TANTI TIPI DI RUOTE

Vediamo alcune delle più diffuse tipologie di ruote dentate adoperate nella costruzione delle macchine.



### Ruote dentate semplici

Sono le ruote dentate più 'classiche' e note. Hanno una dentatura parallela all'asse di rotazione e possono essere accoppiate esclusivamente per trasmettere il moto tra assi paralleli.



### Ruote dentate elicoidali

A differenza delle ruote dentate cilindriche, hanno denti 'trasversali' tagliati con una precisa angolazione. Questa particolare geometria aumenta la superficie laterale dei denti favorendo la rotazione.



### Ruote coniche

La dentatura non è realizzata su una superficie cilindrica come nel caso delle ruote dentate semplici ed elicoidali, ma viene ottenuta partendo dalla superficie di un cono ideale. Sono particolarmente utili per trasmettere il moto tra alberi non paralleli.

### Cremagliera

La cremagliera è un tipo di trasmissione formata da una ruota e un binario dentato in grado di slittare lungo la superficie di appoggio. La rotazione della ruota fa avanzare o indietro la 'dentiera' trasformando il moto da rotazionale a lineare.

