

## 3.1

## 1 I manovellismi

## 1.1 Generalità

I *manovellismi* sono particolari meccanismi costituiti da più aste collegate tra di loro mediante *cerniere* (manovellismi *piani*) o *snodi* (manovellismi *sferici*). Le *cerniere* consentono alle aste che compongono il manovellismo di ruotare su un piano. Gli *snodi* sono articolazioni sferiche che permettono alle aste di compiere rotazioni nello spazio. Cerniere e snodi sono utilizzati anche nelle costruzioni edili in acciaio (Figura 1, 2).

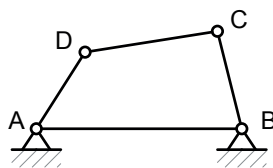
**Figura 1**  
Costruzioni  
edili in  
acciaio:  
cerniera.



**Figura 2**  
Costruzioni  
edili in  
acciaio: snodo  
sferico.



## 1.2 Quadrilateri articolati



**Figura 3**  
Quadrilatero articolato.

I *quadrilateri articolati* sono tra i più semplici manovellismi piani. Sono costituiti da quattro aste incernierate a due a due alle estremità; una di queste (*telaio*) è collegata rigidamente all'incastellatura della macchina (asta AB di Figura 3); l'asta opposta al telaio (asta CD di Figura 3) è chiamata *biella*.

Le aste BC e AD, incernierate all'asta fissa e ruotanti rispettivamente attorno ad A e B, prendono il nome di *manovelle* quando possono compiere rotazioni complete, *bilancieri* quando la loro mobilità è limitata a una frazione di giro.

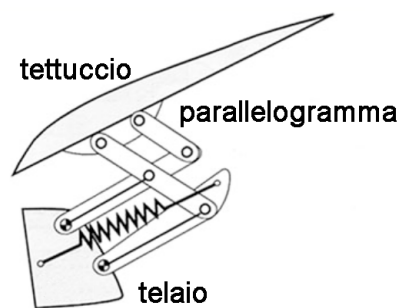
Le due posizioni estreme che limitano il campo di mobilità di un bilanciere vengono chiamate *punti morti*; esse vengono raggiunte quando la biella si trova sovrapposta o allineata con uno dei due bilancieri.

I quadrilateri articolati trovano applicazione in molti settori, quali ad esempio:

- le gru da porto (Figura 4), dove devono mantenere allo stesso livello grossi carichi durante il trasferimento di questi ultimi;
- i meccanismi per l'apertura dei tettucci delle autovetture (Figura 5) ecc.



**Figura 4**  
Gru da porto.



**Figura 5**  
Schema del meccanismo di apertura del  
tettuccio di un'autovettura.

I quadrilateri articolati vengono suddivisi in *quadrilateri articolati di Grashof* e *quadrilateri articolati non di Grashof*.



Franz Grashof  
(1826-1893).

### Quadrilateri articolati di Grashof

Nei *quadrilateri articolati di Grashof*, dette:

- $S_1$ , la somma delle lunghezze dell'asta più corta e di quella più lunga;
- $S_2$ , la somma delle lunghezze delle rimanenti due aste;

risulta :

$$S_1 \leq S_2$$

### Quadrilateri articolati non di Grashof

Sono *quadrilateri articolati non di Grashof* i quadrilateri in cui si ha:

$$S_1 > S_2$$

I quadrilateri in cui è:

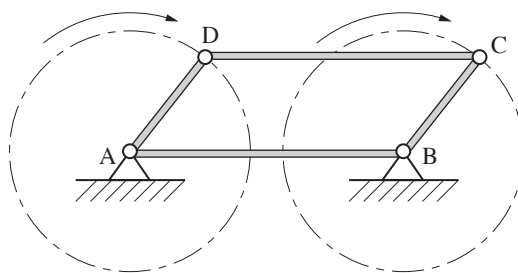
$$S_1 = S_2$$

costituiscono una classe limite a cui appartengono alcuni noti meccanismi, quali il *parallelogramma articolato*, l'*antiparallelogramma articolato* e i *quadrilateri isosceli* come il *quadrilatero di Galloway*.

Di seguito prendiamo in considerazione inizialmente questi ultimi meccanismi nell'ordine in cui sono stati elencati; successivamente vengono esaminati i *quadrilateri articolati di Grashof* propriamente detti e i *quadrilateri articolati non di Grashof*.

### Parallelogramma articolato

Il *parallelogramma articolato* (Figura 6) è il manovellismo piano maggiormente diffuso.



asta AB: membro fisso o telaio  
aste AD e BC: manovelle  
asta DC: biella

**Figura 6**  
Schema di un  
parallelogramma  
articolato:

È composto da quattro aste, incernierate a due a due alle estremità, che fanno assumere al meccanismo la forma di un parallelogramma in quanto le aste opposte sono tra di loro uguali e parallele. Una di esse (*membro fisso* o *telaio*, asta AB di Figura 6) è fissata rigidamente all'incastellatura della macchina; le altre sono libere di muoversi, compatibilmente con le articolazioni che le tengono collegate tra di loro. Le *manovelle* (aste AD e BC) ruotano ciascuna attorno a una cerniera fissata al telaio e possono compiere giri completi. La *biella* (asta DC) è l'asta opposta al membro fisso.

Quando la manovella AD è posta in rotazione, costringe la manovella BC a ruotare nello stesso senso. La cerniera C descrive allora una circonferenza avente lo stesso raggio di quella descritta dalla cerniera D, dato che è  $AD = BC$ .

Di seguito, alcuni esempi d’impiego dei parallelogrammi articolati.

Braccio portalampada	Tenda alla veneziana	Cassetta porta-attrezzi
		
Pantografi		
		
per disegno	per crick	per ferrovia
Piattaforme di lavoro		
		
aeree verticali con due parallelogrammi articolati accoppiati	a braccio telescopico	autocarrate

Antiparallelogramma articolato

Anche nell’*antiparallelogramma articolato* (Figura 7) le aste opposte sono a due a due uguali tra di loro.

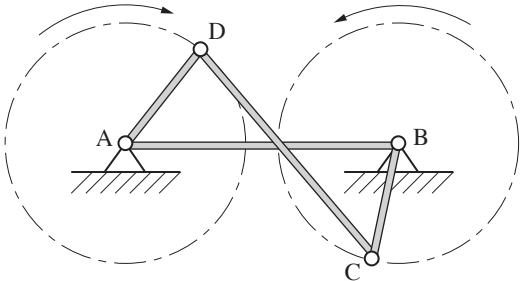


Figura 7  
Schema di un antiparallelogramma articolato.

Si differenzia dal parallelogramma articolato per le seguenti caratteristiche:

	Parallelogramma articolato	Antiparallelogramma articolato
Le manovelle AD e BC ruotano:	in senso concorde.	con sensi discordi.
Se una manovella, ad esempio l'asta AD, ruota con moto circolare uniforme:	anche l'altra manovella (asta BC) ruota con moto circolare uniforme e con la stessa velocità angolare di AD.	l'altra manovella (asta BC) compie rotazioni complete nello stesso tempo della AD, ma ogni giro viene compiuto in parte con velocità angolare crescente e in parte con velocità angolare decrescente.

Entrambi i manovellismi, intesi come meccanismi di trasmissione del moto tra due alberi paralleli, sono caratterizzati da un rapporto di trasmissione  $i = 1$ .

Quadrilatero di Galloway

Il *quadrilatero di Galloway* (Figura 8) è un manovellismo in cui le aste uguali a due a due sono quelle adiacenti e il membro fisso è costituito da una delle aste minori (asta AB di figura).

Le aste AD e BC sono due manovelle e ruotano con sensi concordi. Anche questo manovellismo, come l'antiparallelogramma articolato, trasmette un moto circolare tra due alberi paralleli, ma con queste particolarità:

- la manovella più corta (manovella AD) ruota con velocità angolare  $\omega_{AD}$  doppia rispetto alla velocità angolare  $\omega_{BC}$  della manovella più lunga (manovella BC). Ovvero si ha:

$$\omega_{AD} = 2 \omega_{BC}$$

Se consideriamo AD come manovella motrice, possiamo concludere che il rapporto di trasmissione vale 2. Ovviamente, vale 1/2 se la manovella motrice è l'asta BC;

- se una delle due manovelle ruota con moto circolare uniforme, l'altra manovella compie ogni giro in parte con velocità angolare crescente e in parte con velocità angolare decrescente.

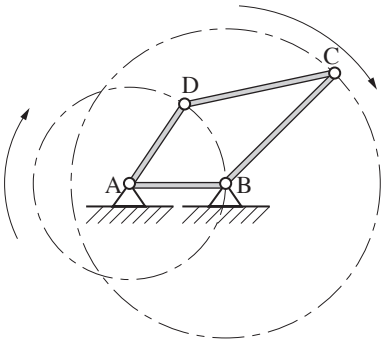


Figura 8  
Schema di un quadrilatero di Galloway.

Quadrilateri articolati di Grashof

Nei *quadrilateri articolati di Grashof* propriamente detti, come già anticipato, la somma delle lunghezze dell'asta più corta e di quella più lunga è minore della somma delle lunghezze delle rimanenti due aste.

Questo tipo di quadrilatero articolato può quindi presentare:

- una manovella e un bilanciere,
- due bilancieri,
- due manovelle,

a seconda di come è posizionata l'asta più corta rispetto al telaio.

Diversamente, un *quadrilatero articolato non di Grashof* può avere solo due bilancieri, qualunque sia la posizione dell’asta più corta rispetto al telaio.

Esaminiamo ora i *quadrilateri articolati di Grashof*.

Osservazione

Nei quadrilateri di Grashof delle Figure 9, 10, 11, 12 l’asta AB è l’asta più lunga, l’asta AD è l’asta più corta e risulta:

$$(\overline{AB} + \overline{AD}) < (\overline{CD} + \overline{BC})$$

Per questi quadrilateri, in base a come l’asta più corta è posizionata rispetto al telaio, si presentano tre casi:

1. L’asta più corta è adiacente al telaio: il quadrilatero è a manovella e bilanciere (Figura 9a, b).

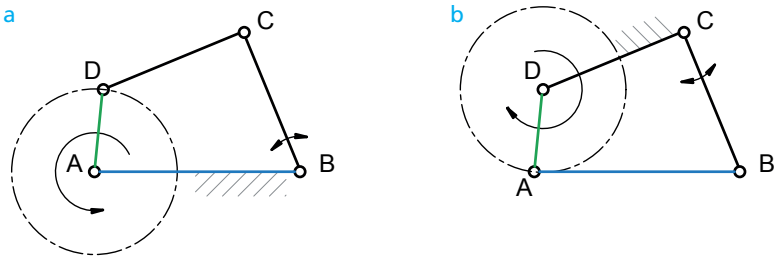


Figura 9  
a Asta più corta adiacente al telaio all’estremità A;  
b asta più corta adiacente al telaio all’estremità D.

Il quadrilatero formato dalla gamba del ciclista (BD con articolazione C al ginocchio), dal telaio (BA) e dalla pedivella della bicicletta (AD) costituisce un quadrilatero di Grashof di questo tipo (Figura 10).

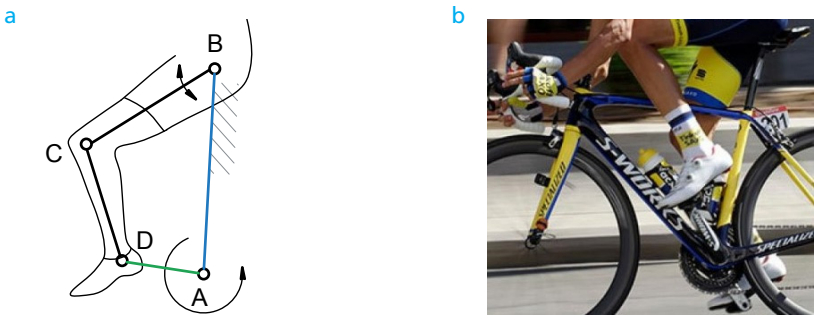


Figura 10  
Asta AD = pedivella.

2. L’asta più corta è l’asta opposta al telaio, ovvero è la biella: il quadrilatero è a doppio bilanciere (Figura 11).

3. L’asta più corta è il membro fisso: il quadrilatero è a doppia manovella (Figura 12).

Rientrano in quest’ultima tipologia, con le dovute distinzioni, i casi limite del parallelogramma articolato, antiparallelogramma articolato, quadrilatero di Galloway.

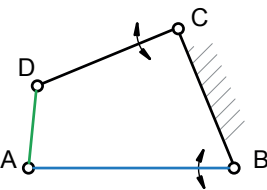


Figura 11

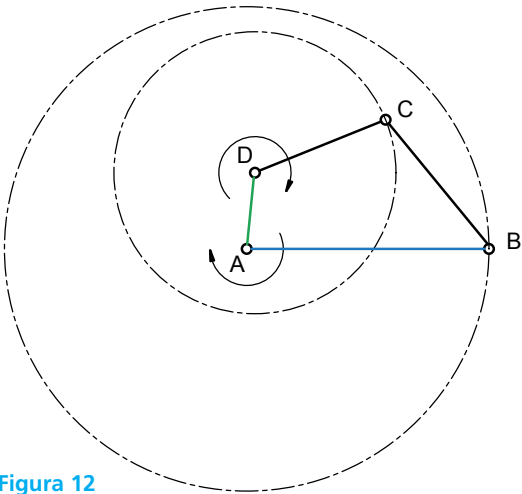


Figura 12

### Quadrilateri articolati non di Grashof

I quadrilateri articolati non di Grashof sono tutti a doppio bilanciare, qualunque sia il posizionamento dell'asta più corta rispetto al telaio. Nelle Figure 13, 14, 15, 16 questa caratteristica è stata evidenziata mediante l'esame del comportamento di un quadrilatero *non di Grashof* avente l'asta più corta posizionata di volta in volta in modo sempre differente rispetto al telaio.

#### Osservazione

Nei quadrilateri non di Grashof delle Figure 13, 14, 15, 16 l'asta AB è l'asta più lunga, l'asta AD è l'asta più corta e risulta:

$$(\overline{AB} + \overline{AD}) < (\overline{CD} + \overline{BC})$$

Si presentano tre casi anche per questi quadrilateri:

1. l'asta più corta è adiacente al telaio all'estremità D (Figura 13) oppure all'estremità A (Figura 14);

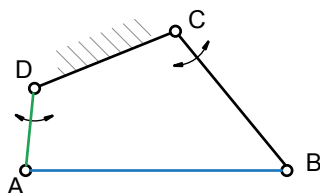


Figura 13

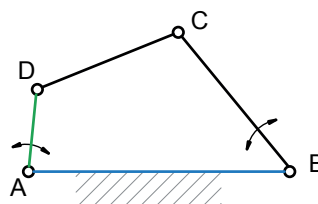


Figura 14

2. l'asta più corta è l'asta opposta al telaio, ovvero è la biella (Figura 15).

#### Nota bene

Sono a doppio bilanciare anche i quadrilateri di Grashof in cui l'asta più corta è la biella (Figura 11).

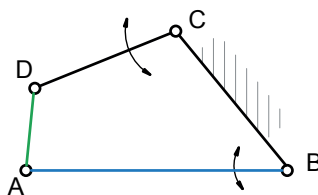


Figura 15

3. l'asta più corta è il membro fisso (telaio) (Figura 16).

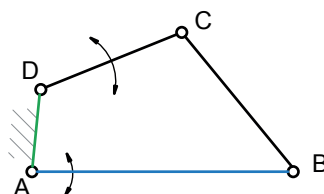


Figura 16

### 1.3 Meccanismi particolari: il meccanismo di Peaucellier-Lipkin e il meccanismo di Watt

#### Premessa

Nella meccanica è importante avere a disposizione un meccanismo a cerniere capace di trasformare il moto circolare di una cerniera nello spostamento in linea retta di un'altra cerniera. Cioè, in pratica, un meccanismo capace di far compiere a un membro di una macchina un moto rettilineo senza l'utilizzo di guide, cioè senza parti striscianti.

Il meccanismo di Peaucellier-Lipkin risolve questo problema, anche se la sua complessità ne rende difficile la realizzazione pratica. Il meccanismo di Watt, invece, ne offre una soluzione approssimativa che tuttavia viene comunemente adottata nella pratica.





Charles Nicolas Peaucellier (1832-1919).



Lipman Lipkin (1846-1876).

Meccanismo di Peaucellier-Lipkin

Il *meccanismo di Peaucellier-Lipkin* (Figura 17) è costituito da sette aste incernierate. Quattro di esse (AQ, QB, BP e AP), della stessa lunghezza, formano un rombo; due, più lunghe, uguali tra di loro, sono incernierate a due vertici opposti del rombo (A e B) e tra di loro in un punto fisso (O). La settima asta, PL, obbliga P a descrivere un cerchio passante per O. Il punto Q si muove su una retta perché il funzionamento del meccanismo è basato su una proprietà geometrica: la *proprietà dell'inversione circolare*. In base a tale proprietà, quando l'asta PL viene posta in rotazione, mentre l'estremità P compie un arco di cerchio di centro L, la cerniera Q si sposta di moto rettilineo senza bisogno di guide.

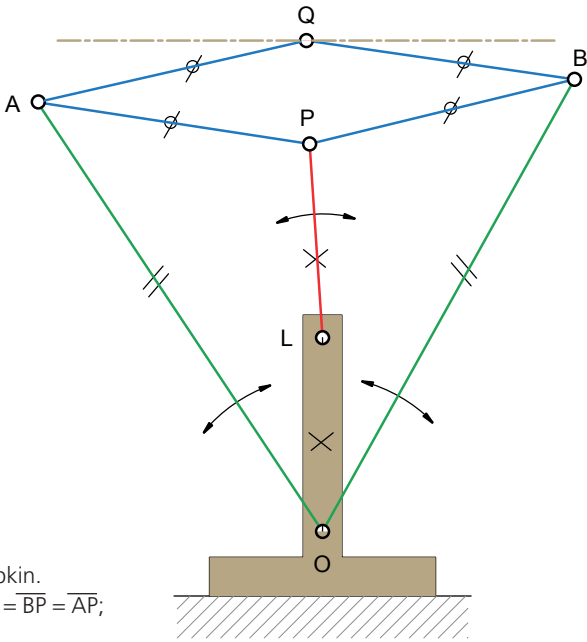


Figura 17  
Meccanismo di Peaucellier-Lipkin.  
Legenda:  $\overline{AO} = \overline{BO}$ ;  $\overline{AQ} = \overline{QB} = \overline{BP} = \overline{AP}$ ;  $\overline{PL} = \overline{LO}$ .

Meccanismo di Watt

Il *meccanismo di Watt* è tuttora usato quando si vuole generare un moto pressoché rettilineo privo di guide, cioè senza parti striscianti. È costituito da tre aste incernierate, due delle quali, AB e CD, di uguale lunghezza e una, BC, molto più corta (Figura 18).

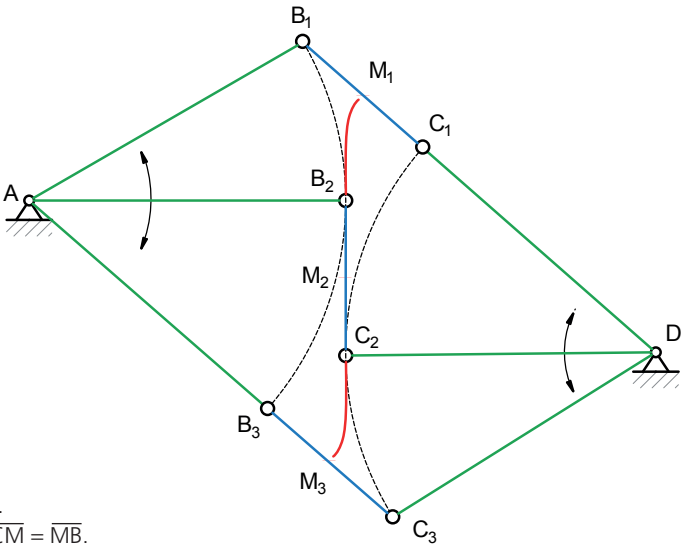
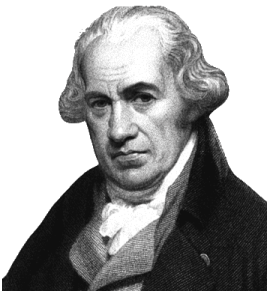
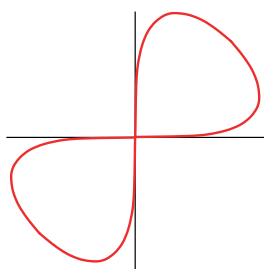


Figura 18  
Meccanismo di Watt.  
Legenda:  $\overline{AB} = \overline{CD}$ ;  $\overline{CM} = \overline{MB}$ .



James Watt (1736-1819).



**Figura 19**  
Lemniscata di Bernoulli:  
alcuni tratti della  
lemniscata di Bernoulli si  
confondono praticamente  
con tratti rettilinei.

In Figura 18 sono rappresentate tre posizioni assunte dal meccanismo di Watt:

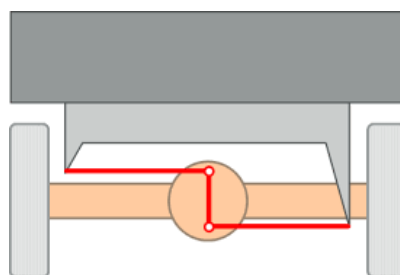
- posizione  $B_1C_1$  dell'asta BC: corrisponde alla posizione di punto morto dei bilancieri con cerniere D, C, B allineate;
- posizione  $B_3C_3$  dell'asta BC: corrisponde alla posizione di punto morto dei bilancieri con cerniere A, B, C allineate;
- posizione  $B_2C_2$ : posizione intermedia dell'asta BC.

La traiettoria di M, punto medio dell'asta BC, è rappresentata dalla linea  $M_1B_2M_2C_2M_3$ .

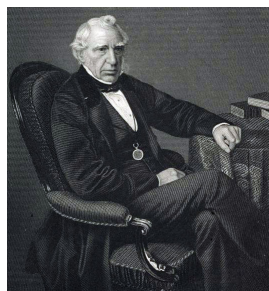
Le cerniere A e D sono fissate ad altezze opportune, diverse tra di loro. Le aste AB e CD sono due bilancieri. Se si pone in movimento uno dei due bilancieri, il punto medio M, dell'asta BC, almeno per un certo tratto trasla verticalmente pressoché in linea retta. In realtà la curva descritta è il tratto approssimativamente rettilineo di una curva chiamata *lemniscata di Bernoulli* (Figura 19).

### Applicazioni

Originariamente, Watt applicò l'apparecchio da lui inventato all'asta del pistone di una macchina a vapore; in tal modo il pistone era obbligato a muoversi lungo una linea retta senza avere necessità di una guida. Attualmente, il manovellismo di Watt è utilizzato nelle sospensioni posteriori di molte autovetture (Figura 20).



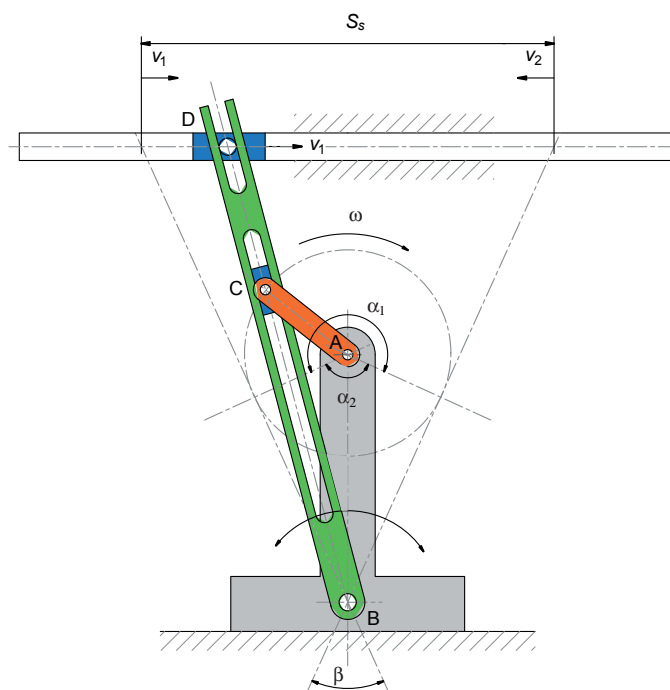
**Figura 20**  
Utilizzo del meccanismo di Watt per  
mantenere il telaio orizzontale al variare  
d'assetto dell'asse delle ruote.



Sir Fairbairn (1789-1874).

## 1.4 Manovellismo a glifo oscillante (guida di Fairbairn)

Il *manovellismo a glifo oscillante* (guida di Fairbairn) (Figura 21), analogamente al meccanismo biella-manovella esaminato nell'UDA 3, trasforma un moto rotatorio in un moto rettilineo alternato e viceversa.



**Figura 21**  
Manovellismo a glifo  
oscillante (guida di  
Fairbairn).



In questo meccanismo un'asta (glifo) (asta BD di Figura 21) ha la possibilità di oscillare attorno alla cerniera d'estremità ancorata al basamento della macchina (cerniera B). Il glifo è provvisto di una scanalatura entro la quale scorre un corsoio collegato tramite la cerniera C alla manovella motrice AC.

Quando il meccanismo è in attività, la cerniera C posta a una estremità della manovella descrive con velocità angolare costante una circonferenza di centro A e raggio AC e trascina nel suo moto il glifo. Quest'ultimo ruota attorno alla cerniera B e, per ogni giro della manovella, descrive un angolo di ampiezza  $\beta$  sia in un senso sia in senso opposto.

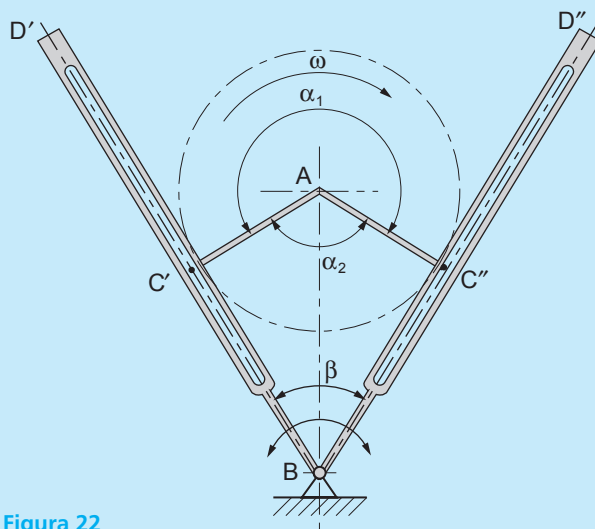
Se si collega l'estremità superiore D del glifo con una slitta che scorre entro una guida orizzontale, si realizza la conversione di un moto rotatorio uniforme, quello della manovella motrice, in un moto rettilineo alternativo, quello della slitta. In questo modo si ottengono spostamenti dell'organo meccanico traslante superiori a quelli realizzabili con l'impiego delle trasmissioni con camme. Inoltre, l'oscillazione del glifo in un senso è compiuta in un intervallo di tempo diverso da quello impiegato per realizzare la stessa oscillazione in senso opposto. Ciò significa che questo meccanismo realizza un moto rettilineo con una velocità media nella corsa di andata diversa dalla velocità media nella corsa di ritorno.

### Approfondimento

#### Dimostrazione della diversità delle velocità medie della slitta della guida di Fairbairn nelle corse di andata e di ritorno

Con riferimento alla **Figura 2.2**, chiamiamo:

- fase di andata la fase in cui il glifo descrive l'angolo  $\beta$  in senso orario;
- fase di ritorno quando lo percorre in senso antiorario.



**Figura 22**

Detti  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  gli angoli descritti dalla manovella AC rispettivamente nelle fasi di andata e di ritorno, in Figura 22 appare evidente la seguente disuguaglianza:

$$\alpha_1 > \alpha_2 \quad (1)$$

Dalle espressioni del tempo  $t_1$  impiegato nella fase di andata:

$$t_1 = \frac{\alpha_1}{\omega}$$

e del tempo  $t_2$  impiegato nella fase di ritorno:

$$t_2 = \frac{\alpha_2}{\omega}$$

dato che è:

$$\omega = \text{cost.}$$

&gt;&gt; segue

in base alla (1) si ricava:

$$t_1 > t_2$$

La slitta trasla orizzontalmente e percorre la corsa  $S_s$  con velocità medie che valgono:

– per la corsa di andata:

$$v_1 = \frac{S_s}{t_1} \quad (2)$$

– per la corsa di ritorno:

$$v_2 = \frac{S_s}{t_2} \quad (3)$$

Perciò, dato che è:

$$S_s = \text{cost.}$$

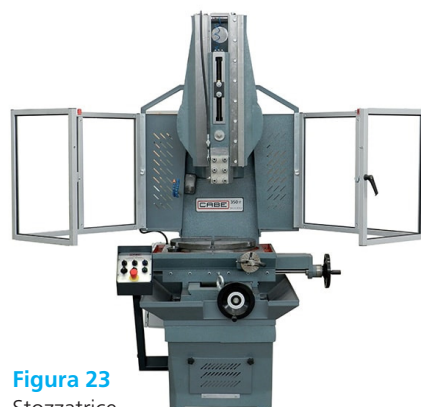
e:

$$t_1 > t_2$$

dalla (2) e dalla (3) è anche:

$$v_1 < v_2$$

Risulta cioè che la velocità media posseduta dall'organo traslante nella fase di andata è inferiore a quella posseduta dallo stesso nella fase di ritorno. Per questa caratteristica il manovellismo a glifo oscillante viene utilizzato in alcuni tipi di macchine utensili come, ad esempio, le stozzatrici (**Figura 23**), nelle quali la slitta portautensile, che lavora con moto rettilineo alternato, compie la corsa di ritorno (corsa passiva) con velocità media maggiore di quella di andata (corsa di lavoro).



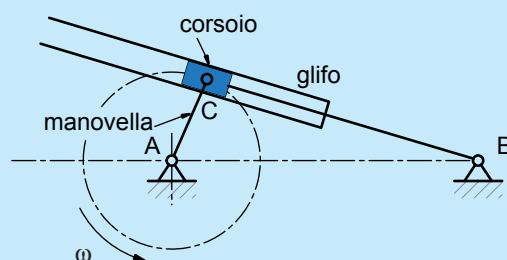
**Figura 23**  
Stozzatrice.

Le velocità della slitta possono essere modulate in sede di progetto mediante modifiche sia della lunghezza della manovella AC sia della distanza tra le cerniere A e B collegate all'incastellatura della macchina.

### Approfondimento

#### Schemi costruttivi della guida di Fairbairn

Lo schema costruttivo originario della guida di Fairbairn, in realtà, è quello rappresentato in **Figura 24**. Nelle applicazioni pratiche questo schema subisce alcune modifiche.

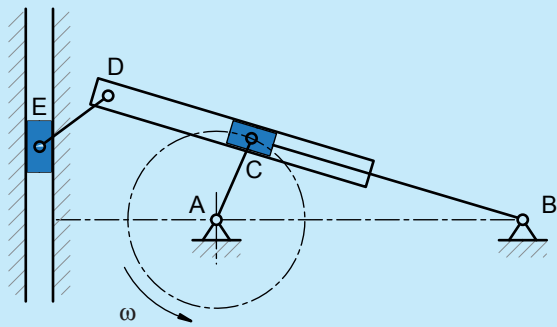


**Figura 24**  
Schema costruttivo originario della guida di Fairbairn.



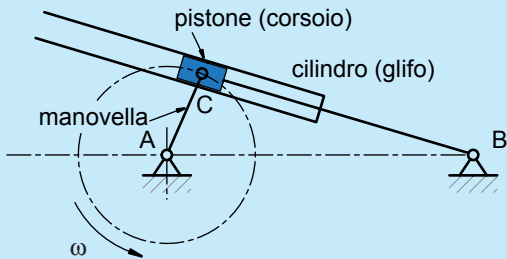
» segue

In **Figura 25** è rappresentato uno schema modificato della guida di Fairbairn simile a quello rappresentato in Figura 21; è utilizzato nelle stozzatrici, nelle dentatrici tipo Maag e Fellows e nelle segatrici alternative. L'utensile è fissato alla slitta E che, a sua volta, è collegata al glifo mediante la biella ED. In questo modo il moto rotatorio continuo della manovella AC è convertito nel moto rettilineo alterno, a ritorno rapido, della slitta E. In queste macchine, cioè, l'utensile si muove con moto rettilineo alternativo a ritorno rapido.



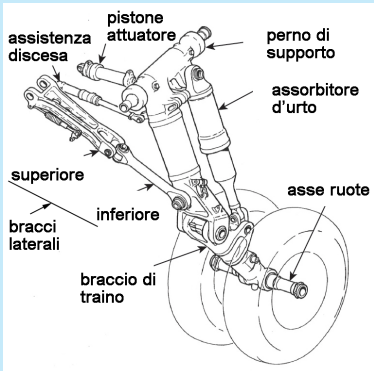
**Figura 25**  
Schema modificato della guida di Fairbairn.

In **Figura 26** è rappresentato uno schema ulteriormente modificato della guida di Fairbairn. In questo nuovo schema l'organo motore non è più la manovella ma il corsoio. Quest'ultimo è collegato a un'asta (asta AC di figura). L'accoppiamento prismatico glifo-corsoio è analogo a un accoppiamento cilindro-pistone; nelle applicazioni pratiche viene sostituito da quest'ultimo.



**Figura 26**  
Schema ulteriormente modificato della guida di Fairbairn.

Il meccanismo, in questa configurazione, può essere utilizzato per convertire il moto lineare del pistone nel moto rotatorio della manovella. Ciò si verifica nei meccanismi dove è presente un cilindro oleodinamico avente un'estremità incernierata al telaio, ad esempio nei carrelli di atterraggio retrattili degli aerei (**Figura 27**). Ritroviamo la stessa configurazione della guida di Fairbairn nella barra di rimorchio o di traino (*tow bar*) utilizzata negli aeroporti per le manovre di spinta e di rimorchio dei velivoli. Il meccanismo a glifo consente di sollevare e abbassare il gancio posto all'estremità della barra all'atto del collegamento con il carrello anteriore del velivolo (**Figura 28**).



**Figura 27**  
Carrello di atterraggio retrattile di un aereo.



**Figura 28**  
*Tow bar* per velivoli.