

FORZE NELLE COPPIE CINEMATICHE IDEALI

2-1 Richiami sull'equilibrio dei corpi rigidi e dei sistemi di corpi rigidi in moto piano

Come noto dalla fisica elementare la dinamica di un corpo rigido in moto piano non soggetto a vincoli è definita dalle *equazioni cardinali*

$$\Sigma \mathbf{F} = m \mathbf{a}_G \quad (2.1)$$

$$\Sigma M_G = J_G \alpha \quad (2.2)$$

nella quale il vettore $\Sigma \mathbf{F}$ definisce la somma di tutte le forze esterne agenti sul corpo, ΣM_G la somma dei momenti di tutte le forze esterne agenti sul corpo, il vettore \mathbf{a}_G l'accelerazione del baricentro del corpo, α l'accelerazione angolare, m la massa del corpo, J_G il momento di inerzia del corpo (detto anche *momento quadratico di massa*) rispetto ad un asse baricentrico ortogonale al piano di moto. Per un corpo rigido sia la massa m che il momento di inerzia J_G sono costanti.

I valori numerici da attribuire a m e a J_G e la posizione del baricentro di un corpo possono essere misurati sperimentalmente se il corpo è stato costruito. Spesso i cataloghi dei fornitori di componenti meccanici contengono alcune di tali informazioni. In fase di progetto possono essere calcolati conoscendo la geometria e la distribuzione di masse. I manuali tecnici comprendono le espressioni numeriche per il loro calcolo nel caso delle geometrie elementari più usuali. D'altra parte gli attuali programmi Computer-Aided Design (in particolare quelli di modellazione solida) contengono procedure che forniscono automaticamente tali informazioni una volta che sia stato disegnato il corpo.

Come si vedrà nei successivi capitoli, molto spesso le macchine funzionano in condizione di regime ed è pertanto possibile che le accelerazioni siano nulle. In tal caso la (2.1) e la (2.2) assumono la forma

$$\Sigma \mathbf{F} = 0 \quad (2.3)$$

$$\Sigma M_G = 0 \quad (2.4)$$

o, alternativamente

$$\Sigma \mathbf{F} = 0 \quad (2.5)$$

$$\Sigma M_O = 0 \quad (2.6)$$

essendo la seconda equazione valida per un qualsiasi punto O del corpo.

Occorre poi ricordare il cosiddetto principio di *azione-reazione* che, per le applicazioni della meccanica delle macchine può essere formulato come segue: dati due corpi a contatto, la forza di contatto che il corpo 1 esercita sul corpo 2 è uguale ed opposta a quella che il corpo 2 esercita sul corpo 1.

E' utile visualizzare graficamente le espressioni dell'equilibrio delle forze a regime in alcuni casi di interesse pratico.

A) corpo al quale è applicata una sola forza: è evidente che sia la (2.5) sia la (2.6) impongono che la forza sia nulla.

B) corpo al quale sono applicate 2 forze (Fig. 2.1): dovendo essere per la (2.5) $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 0$ occorre che $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ ossia che le due forze siano uguali ed opposte. Questa condizione non è verificata con le forze in Fig. 2.1-a che pertanto non sono in equilibrio. E' invece rispettata in Fig. 2.1-b: qui però se si valutano i momenti delle due forze rispetto ad un punto O situato sulla linea di azione di una delle due forze il momento delle due forze è $0 \cdot \mathbf{F}_1 + b \mathbf{F}_2 = b \mathbf{F}_2$ e la (2.6) non è verificata. Occorre dunque annullare il braccio b della forza \mathbf{F}_2 ottenendo la situazione di Fig. 2.1-c che corrisponde alla condizione di equilibrio. Riassumendo: il corpo è in equilibrio se le due forze sono uguali ed opposte e se hanno la stessa linea di azione.

C) corpo al quale sono applicate 3 forze (Fig. 2.2): dovendo essere per la (2.5) $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0$ occorre che un percorso ottenuto riportando in successione le tre forze formi un poligono (triangolo) chiuso. Questa condizione è verificata con le forze in Fig. 2.2-a che pertanto sembrano essere in

equilibrio. Se però si valutano i momenti delle forze rispetto ad un punto O situato sull'intersezione delle linee di azione di F_1 e F_2 , il la somma dei momenti risulta $0 \cdot F_1 + 0 \cdot F_2 + bF_3 = bF_3$ e la (2.6) non è verificata. Occorre dunque annullare il braccio b della forza F_3 ottenendo la situazione di Fig. 2.2-b che corrisponde alla condizione di equilibrio. Riassumendo: il corpo è in equilibrio se le tre forze formano un triangolo chiuso e se le loro linee di azione si intersecano tutte in un punto.

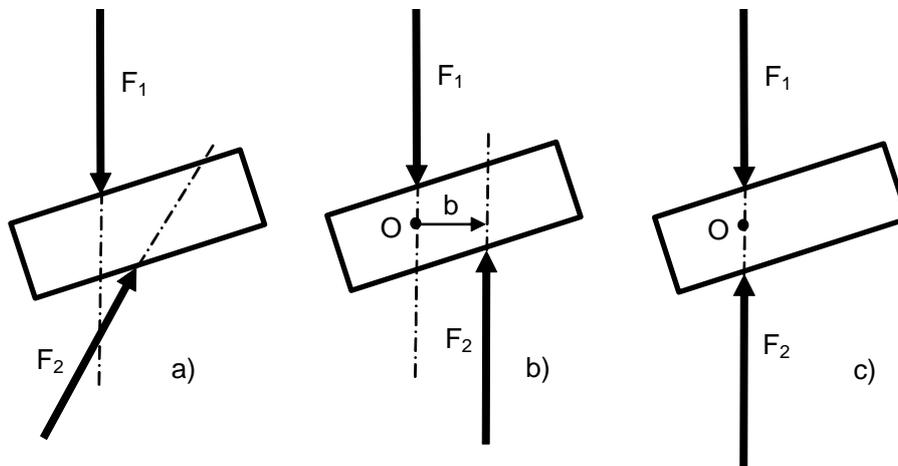


Fig. 2.1 Equilibrio di un corpo soggetto a due forze

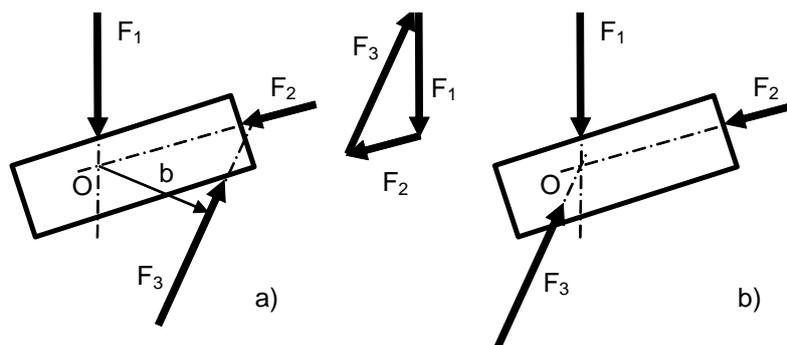


Fig. 2.2 Equilibrio di un corpo soggetto a tre forze

2-2 Forze vincolari nelle coppie cinematiche

Come si è visto nel capitolo 1, nelle macchine i corpi sono *vincolati* in modo da limitare il loro movimento. Questo corrisponde a stabilire l'esistenza di *forze vincolari* dette anche *reazioni vincolari* che si oppongono al movimento relativo in modo da impedirlo. Nel caso delle coppie cinematiche è possibile stabilire un semplice modello delle reazioni vincolari per ogni coppia. Per semplicità sarà trattato solo il caso delle coppie piane.

Il modello si basa sull'ipotesi che finché il vincolo esiste si possa sviluppare la reazione vincolare necessaria e sufficiente per mantenerlo. Un'ulteriore semplificazione consiste nel ritenere che la reazione vincolare non compia lavoro per qualunque spostamento ammesso dalla coppia. Questa seconda ipotesi interpreta solo approssimativamente il comportamento reale di un vincolo in quanto corrisponde a trascurare le forze di attrito. Si tratta cioè di un *funzionamento ideale* che solo approssima la realtà quando gli attriti sono piccoli. Dato che in molte macchine si cerca di ottenere questa condizione (per esempio lubrificando le parti a contatto) il caso ideale può costituire un modello sufficiente per lo studio di queste macchine. Quando l'ipotesi non è accettabile (per esempio nei freni ad attrito) occorre studiare il *funzionamento reale* in cui sia presente anche un modello dell'attrito. I successivi capitoli terranno conto di questo aspetto.

Coppia rotoidale (Fig. 2.3-a): la reazione vincolare è una forza nel piano di moto con direzione

qualsiasi, passante per il centro geometrico della coppia (in modo da impedire la separazione degli assi di rotazione dei due corpi). In figura i corpi 1 e 2 sono stati disegnati separati in modo da visualizzare la forza \mathbf{F}_{12} che il corpo 1 applica al corpo 2 e la forza \mathbf{F}_{21} che il corpo 2 applica al corpo 1. Per il principio di azione-reazione $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$.

Coppia prismatica (Fig. 2.3-b): la reazione vincolare è data da una forza e da un momento: la forza è nel piano di moto, è perpendicolare alla direzione della coppia prismatica (in modo da impedire la separazione dei due corpi) e passa per un punto a piacere della coppia; il momento ha direzione perpendicolare al piano di moto (in modo da impedire la rotazione fra i due corpi). In alternativa la reazione può essere espressa da una forza come in precedenza, ma applicata in un punto tale da produrre il momento. In figura i corpi 1 e 2 sono stati disegnati separati in modo da visualizzare la forza \mathbf{F}_{12} e il momento M_{12} che il corpo 1 applica al corpo 2 e la forza \mathbf{F}_{21} e il momento M_{21} che il corpo 2 applica al corpo 1. Per il principio di azione-reazione $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$, $M_{12} = -M_{21}$.

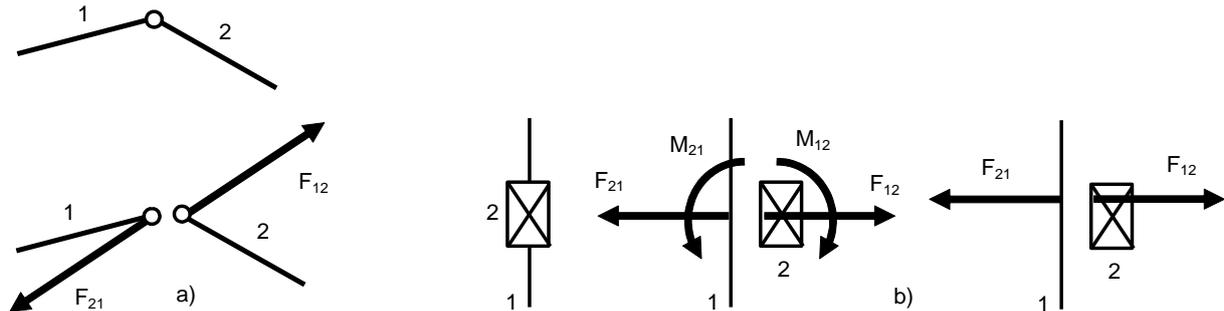


Fig. 2.3 Forze ideali nelle coppie rotoidale e prismatica

Coppia a camma piana (Fig. 2.4): la reazione vincolare è una forza nel piano di moto con direzione e intensità perpendicolare alle superfici a contatto dei due corpi della coppia, applicata nel punto di contatto (in modo da impedire la separazione dei due corpi). In figura i corpi 1 e 2 sono stati disegnati separati in modo da visualizzare la forza \mathbf{F}_{12} che il corpo 1 applica al corpo 2 e la forza \mathbf{F}_{21} che il corpo 2 applica al corpo 1. Per il principio di azione-reazione $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$.

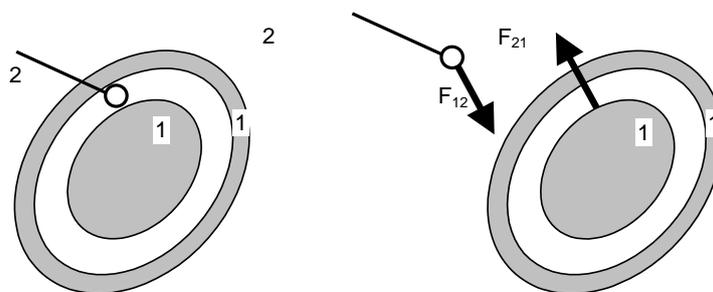


Fig. 2.4 Forza ideale nella coppia a camma piana

Si noti in ogni caso la dualità tra forze vincolari e spostamenti ammessi dalle coppie, derivante dall'ipotesi che le forze vincolari non compiono lavoro (funzionamento ideale).

In presenza di vincoli valgono ancora le (2.1)-(2.6) purché tra le forze agenti su un corpo si considerino anche le forze esercitate dai vincoli (reazioni vincolari).

2-3 Esempi

2-3.1 Effettuare l'analisi delle forze agenti su un corpo 2 vincolato al telaio 1 con una coppia rotoidale in un punto O quando il corpo ruota a velocità angolare ω costante. Sono noti: la posizione del corpo nell'istante in cui si effettua l'analisi (Fig. 2.5-a); la posizione del suo baricentro (non coincidente con l'asse di rotazione della coppia): la massa m del corpo e il suo momento di inerzia

J_G baricentrico; l'intensità F_1 , la direzione (orizzontale) e il punto di applicazione della forza agente sul corpo.

Soluzione. Poiché il vincolo rotoidale fa ruotare il corpo attorno ad un punto fisso O, il baricentro ha accelerazione normale centripeta \mathbf{a}_n , diretta da G verso O, la cui intensità per la (1.3) è $a_n = r\omega^2$ (r è la distanza tra i punti O e G) e accelerazione tangenziale la cui intensità per la (1.4) è $a_t = r d\omega/dt$. Dato che la velocità angolare è costante risulta $a_t = 0$. In Fig. 2.5-b è visualizzata l'accelerazione del baricentro $\mathbf{a}_G = \mathbf{a}_n$. Il vincolo rotoidale genera una reazione vincolare sul corpo 2 indicata da \mathbf{R}_{12} . Per determinare le forze reattive si può usare la (2.1) ponendo $\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{R}_{12}$, e si ottiene

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{R}_{12} = m\mathbf{a}_G$$

ovvero

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{R}_{12} - m\mathbf{a}_G = 0$$

E' uso chiamare forza centrifuga il termine $\mathbf{F}_c = -m\mathbf{a}_G$ e scrivere la relazione precedente in forma

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{R}_{12} + \mathbf{F}_c = 0$$

Per avere equilibrio, le tre forze devono formare un poligono chiuso. Poiché due di esse (\mathbf{F}_1 e \mathbf{F}_c) sono note o calcolabili dai dati del problema, la terza forza (\mathbf{R}_{12}) può essere ricavata dalla condizione di chiusura del poligono, come mostrato in Fig. 2.5-c. La Fig. 2.5-d mostra il corpo 2 con tutte le forze applicate su di esso. Si vede che le linee di azione di \mathbf{R}_{12} e di \mathbf{F}_c passano per il centro O della coppia rotoidale, mentre la \mathbf{F}_1 non passa per questo punto. Non è rispettata dunque la (2.6) in quanto

$$\Sigma M_O = bF_1 + 0 \cdot R_{12} + 0 \cdot F_c = bF_1 \neq 0$$

Ne deriva che il corpo non è in equilibrio alle rotazioni e che quindi, se non si introduce un'ulteriore forza, il dato del problema che la velocità angolare sia costante non è valido. Per poter equilibrare il momento bF_1 occorre applicare dall'esterno un momento $M_{12} = -bF_1$, come mostrato in Fig. 2.5-d, che potrà essere ottenuto collegando un motore fra i due corpi.

Infine, sul telaio (corpo 1) saranno applicate una forza $\mathbf{R}_{21} = -\mathbf{R}_{12}$ e un momento $M_{21} = -M_{12}$.

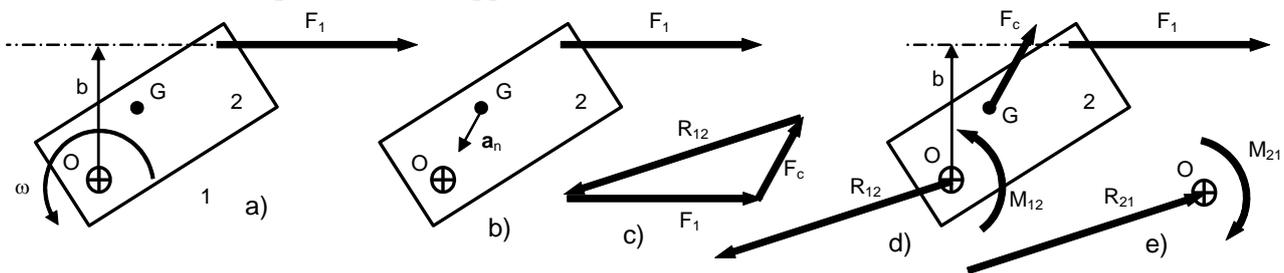


Fig. 2.5 Forze ideali agenti su un corpo con vincolo rotoidale

2-3.2 Effettuare l'analisi delle forze nella catena cinematica di azionamento della paratoia dello sbarramento sullo Haringvliet riportata in Fig. 1.16. Sono note la posizione del baricentro O della paratoia e la massa m della stessa. Si trascurino le masse degli altri corpi della catena.

Soluzione. Trascurando le masse di tutti i corpi tranne che della paratoia, non è necessario considerare i pesi degli stessi; l'azionamento lento del meccanismo consente di trascurare anche l'inerzia della paratoia e di usare le relazioni (2.5) e (2.6) nello studio delle forze agenti sui singoli corpi. I vincoli produrranno le seguenti forze reattive (Fig. 2.6): 6 forze passanti per i centri delle 6 coppie rotoidali (A, B, C, D, E, F); 1 forza perpendicolare alla direzione della coppia prismatica (G). Si noti che la coppia prismatica G è schematizzata in figura con un duplice contatto: in G' tra il pistone e il cilindro a telaio dell'azionamento e in G'' tra il telaio e un pattino solidale al corpo 5.

Corpo	Forze attive	Reazioni vincolari
1	$\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}$	$\mathbf{R}_A, \mathbf{R}_{21}$
2		$\mathbf{R}_{12}, \mathbf{R}_{32}$
3		$\mathbf{R}_{23}, \mathbf{R}_{43}, \mathbf{R}_B$
4		$\mathbf{R}_{34}, \mathbf{R}_{54}$
5	!	$\mathbf{R}_G, \mathbf{R}_{45}$

Per determinare le forze agenti nella catena occorre imporre l'equilibrio corpo per corpo applicando le (2.5) e (2.6). Qui di seguito si procederà utilizzando l'interpretazione grafica delle equazioni (Fig. 2.6). Le forze (attive e reattive) agenti sui vari corpi sono riassunte in tabella. Il significato del punto esclamativo nell'ultima riga verrà discusso al termine dell'analisi.

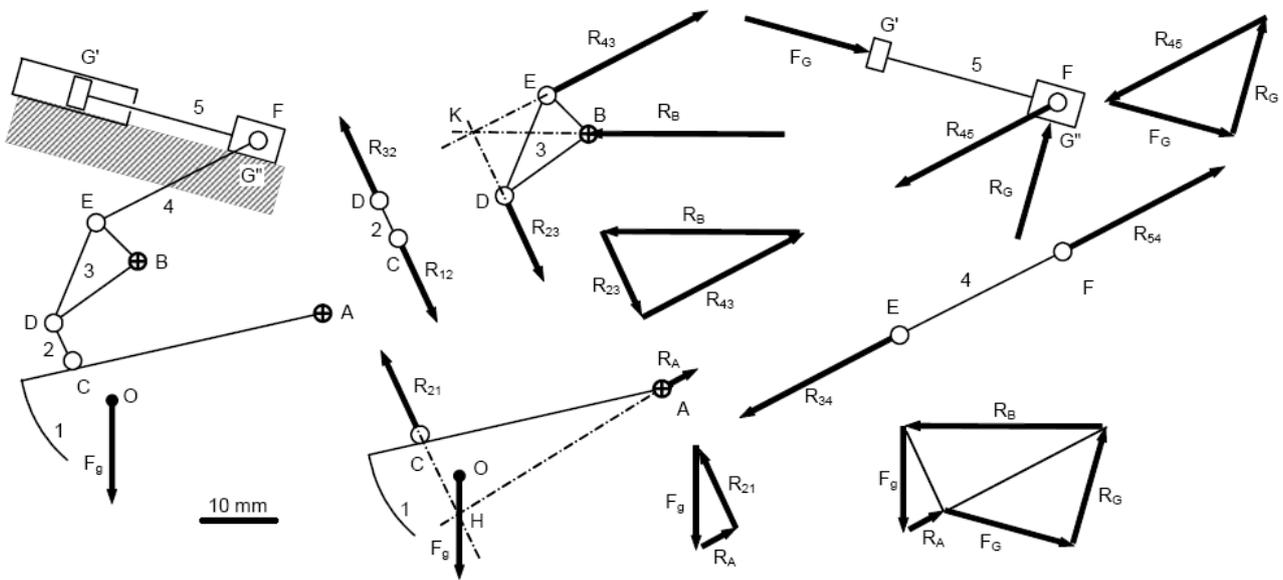


Fig. 2.6 Analisi delle forze nella catena cinematica di Fig. 1.16

L'analisi può iniziare dal corpo 2 sul quale agiscono solo due forze, la \mathbf{R}_{12} che dal corpo 1 agisce su 2 nella coppia rotoidale C e la \mathbf{R}_{32} che dal corpo 3 agisce su 2 nella coppia rotoidale D. Come mostrato in Fig. 2.1, le due forze devono avere la stessa linea di azione DC che è quindi nota. Non è però possibile stabilirne l'intensità.

Si analizza ora il corpo 1 su cui agiscono la forza peso nota della paratoia $\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}$ applicata nel baricentro (noto) di questa, la reazione vincolare \mathbf{R}_A nella coppia A e la forza reattiva \mathbf{R}_{21} che dal corpo 2 agisce su 1 nella coppia rotoidale C. Essendo questa la reazione alla \mathbf{R}_{12} , la sua direzione coincide con quella ed è quindi nota. Si può applicare la costruzione di Fig. 2.2 determinando l'intersezione delle due linee di azione note (punto H in Fig. 2.6) e trovare la linea di azione della terza in quanto passante per i punti A e H. Trovate le linee di azione delle tre forze si può costruire il triangolo di equilibrio dal quale si ricavano \mathbf{R}_A e \mathbf{R}_{21} .

Segue immediatamente l'analisi del corpo 2 in quanto (principio di azione-reazione) $\mathbf{R}_{12} = -\mathbf{R}_{21}$ e, per l'equilibrio, $\mathbf{R}_{32} = -\mathbf{R}_{12}$.

Si osserva ora che il corpo 4 si trova una situazione analoga a quella del corpo 2 e si deduce che le forze reattive agenti sul corpo 4, \mathbf{R}_{34} e \mathbf{R}_{54} , devono avere la stessa linea di azione EF. Per il principio di azione-reazione è $\mathbf{R}_{43} = -\mathbf{R}_{34}$ e si conosce quindi la linea di azione di \mathbf{R}_{43} .

Si può ora procedere all'analisi del corpo 3. Intanto (principio di azione-reazione) è nota la forza $\mathbf{R}_{23} = -\mathbf{R}_{32}$ ed è nota la linea di azione di \mathbf{R}_{43} . Le linee di azione note di \mathbf{R}_{43} e di \mathbf{R}_{23} si intersecano nel punto K nel quale, secondo la costruzione di Fig. 2.2 deve passare anche la linea di azione di \mathbf{R}_B . Pertanto la linea di azione di \mathbf{R}_B deve passare per i punti B e K ed è quindi nota. Si può ora costruire il triangolo di equilibrio e ricavare \mathbf{R}_B e \mathbf{R}_{43} .

Segue immediatamente l'analisi del corpo 4 in quanto (principio di azione-reazione) $\mathbf{R}_{34} = -\mathbf{R}_{43}$ e, per l'equilibrio, $\mathbf{R}_{54} = -\mathbf{R}_{34}$.

Sul corpo 5 agiscono la forza nota $\mathbf{R}_{45} = -\mathbf{R}_{54}$ e la reazione \mathbf{R}_G di cui è nota la direzione perpendicolare all'asse della coppia prismatica. Se sul corpo agissero solo queste due forze non ci sarebbe equilibrio, in quanto le loro direzioni non sono parallele. E' dunque necessario applicare al corpo una forza ulteriore che sarà prodotta dalla pressione dell'olio che agisce sul pistone dell'azionamento idraulico. Questa produrrà una forza \mathbf{F}_G della quale è nota la direzione

(perpendicolare al pistone, pertanto parallela all'asse della coppia prismatica). Essendo note le direzioni delle tre forze agenti sul corpo 5 si può tracciare il triangolo di equilibrio e determinare le forze \mathbf{R}_G e \mathbf{F}_G . Infine, affinché il corpo 5 sia equilibrato alle rotazioni secondo la (2.6) occorre che le forze \mathbf{R}_G , \mathbf{R}_{45} e \mathbf{F}_G si intersechino nello stesso punto F.

Nella parte in basso a destra di Fig. 2.6 sono riportati, adiacenti, i tre triangoli di equilibrio. Si può osservare che si realizza un poligono chiuso formato dalle forze esterne alla catena cinematica (\mathbf{F}_g , \mathbf{R}_A , \mathbf{F}_G , \mathbf{R}_G , e \mathbf{R}_B) che conferma l'equilibrio globale della catena.

C'è ancora da osservare che l'analisi delle forze in equilibrio vale per la sola posizione della catena riportata in Fig. 2.6. Per un'analisi delle forze durante il movimento della paratoia sarà necessario ripetere il procedimento per tutte le posizioni ritenute significative.

Con le dimensioni in Fig. 2.6 e massa $m=1.66 \cdot 10^6$ kg della paratoia, si calcolino ora i valori delle intensità di tutte le forze agenti nella catena cinematica. La forza peso della paratoia è $F_g = mg = 1.66 \cdot 10^6 \cdot 9.81 = 1.63 \cdot 10^7$ N. La lunghezza del segmento che in Fig. 2.6 rappresenta la forza F_g è circa 14 mm, per cui la scala di rappresentazione delle forze è $1 \text{ mm} = 1.63 \cdot 10^7 / 14 = 1.16 \cdot 10^6$ N. Misurando in mm le lunghezze dei segmenti che rappresentano le forze in Fig. X.6 e moltiplicandole per il coefficiente $7.1179 \cdot 10^5$ si ottengono i valori delle forze agenti nella catena.

Forza	Dimensione del segmento (mm)	Valore della forza (N)
F_g	14	1.63E+07
R_A	6	0.70E+07
$R_{21}=R_{12}$	12	1.40E+07
$R_{32}=R_{23}$	12	1.40E+07
$R_{43}=R_{34}$	24	2.78E+07
$R_{54}=R_{45}$	24	2.78E+07
R_B	27	3.13E+07
R_G	17	1.97E+07
F_G	18	2.09E+07

Esercizio proposto

Effettuare l'analisi delle forze per il meccanismo simmetrico del precedente disegnato nella parte destra di Fig. 1.15 la cui catena cinematica è schematizzata in Fig. 2.7.

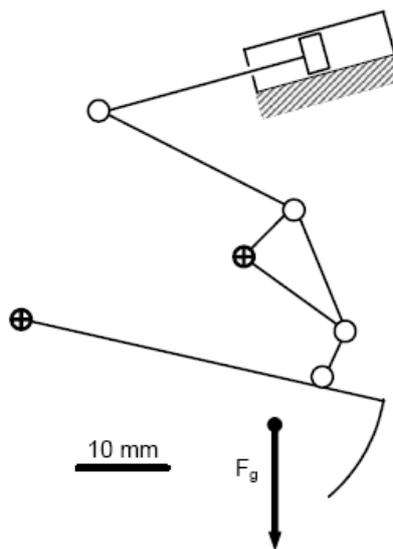


Fig. 2.7 Catena cinematica simmetrica della Fig. 2.6

2.3-3. Effettuare l'analisi delle forze nella posizione in Fig. 1.24 della catena cinematica che aziona il cassone ribaltabile di un autocarro. Sono note la posizione del baricentro O del cassone e del suo

carico e la loro massa m totale m . Si trascurino le masse degli altri corpi della catena.

Soluzione. Come nell'esempio della paratoia, è possibile trascurare le forze peso dei corpi diversi dal cassone e tutte le forze di inerzia. Si useranno ancora le relazioni (2.5) e (2.6) nello studio delle forze agenti sui singoli corpi. I vincoli produrranno le seguenti forze reattive: 5 forze passanti per i centri delle 4 coppie rotoidali (A, B, C, E); 1 forza perpendicolare alla direzione della coppia prismatica (D), 1 momento localizzato nella guida prismatica (D), una forza passante per il centro F della coppia a camma piana e perpendicolare alla direzione AF delle superfici di contatto della coppia. Le forze (attive e reattive) agenti sui vari corpi sono riassunte in tabella. Si notino le forze F_p e la sua opposta $-F_p$ prodotte dalla pressione dell'olio nell'azionamento idraulico e agenti sui corpi 3 e 2 nella coppia prismatica D (Fig. 2.8).

Corpo	Forze attive	Reazioni vincolari
1	$F_g = mg$	R_A, R_{41}
2		$R_C, R_{32}, -F_p, -M_D$
3		R_{23}, R_{43}, F_p, M_D
4		R_{14}, R_{34}, R_B

Per determinare le forze agenti nella catena occorre imporre l'equilibrio corpo per corpo applicando le (2.5) e (2.6). Qui di seguito si procederà utilizzando l'interpretazione grafica delle equazioni (Fig. 2.8).

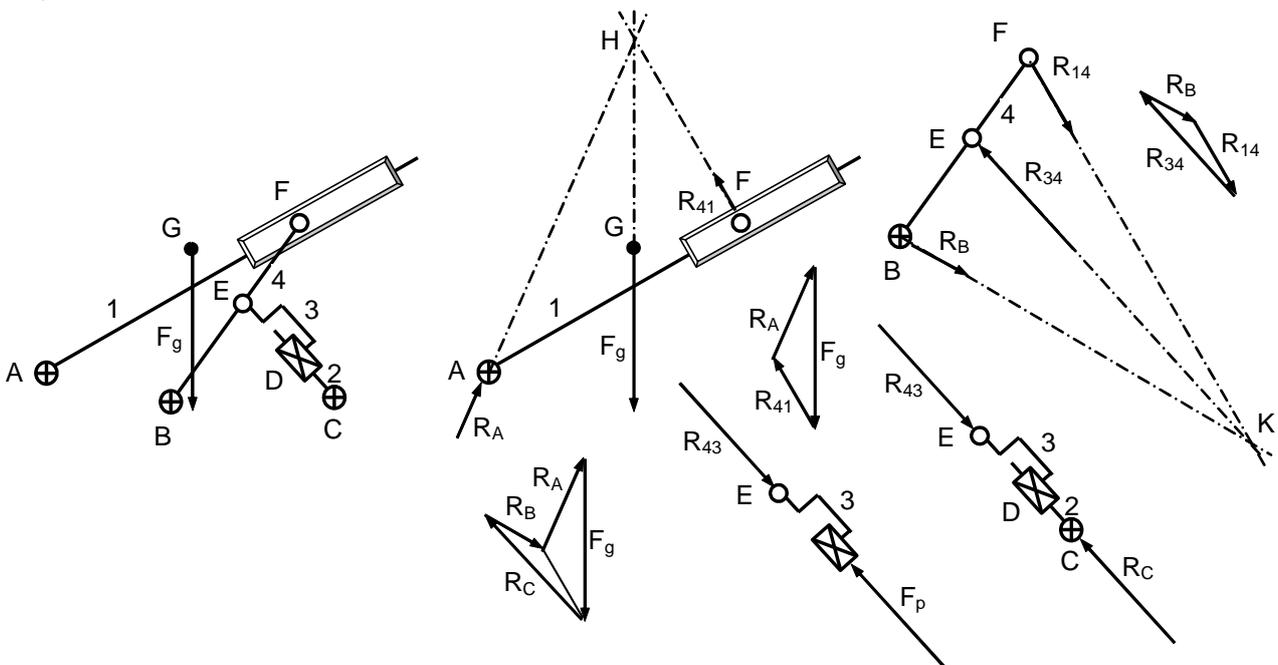


Fig. 2.8 Analisi delle forze nella catena cinematica di Fig. 1.25

Sul corpo 1 agiscono tre forze ($F_g = mg$, R_A , R_{41}) la prima nota, la terza con intensità incognita, applicata in F e perpendicolare alla direzione AF. Applicando la costruzione di Fig. 2.2 si deduce che le linee di azione delle tre forze si devono incontrare nel punto H di intersezione delle linee di azione di R_{41} e di F_g . Si può ottenere così la direzione di R_A e costruire un triangolo di equilibrio dal quale si deducono le intensità di R_{41} e di R_A .

Sul corpo 4 agiscono tre forze ($R_{14} = -R_{41}$, R_B , R_{34}) la prima delle quali è nota (principio di azione-reazione). Non sono note le direzioni delle altre due forze, ma è possibile stabilire la linea di azione di R_{34} considerando l'equilibrio dei corpi 2 e 3. In effetti se si considerano assieme i due corpi 2 e 3 e se ne impone l'equilibrio, si vede che le sole forze esterne ad essi sono R_{43} e R_C . Le due forze sono in equilibrio solo se hanno la stessa linea di azione che pertanto deve avere direzione lungo la congiungente i punti C ed E. Ne consegue che anche M_D è nullo. Trovata così anche la direzione di

\mathbf{R}_{34} si può procedere a determinare l'equilibrio del corpo 4: le tre forze agenti su di esso si devono intersecare nel punto K dove si intersecano le linee di azione (note) di \mathbf{R}_{34} e di \mathbf{R}_{14} . Si trova così la direzione di \mathbf{R}_B e si può costruire un triangolo di equilibrio dal quale si deducono le intensità di \mathbf{R}_{34} e di \mathbf{R}_B .

L'equilibrio del corpo 3 è ora immediato: su di esso agiscono tre forze (\mathbf{R}_{43} , \mathbf{R}_{23} , \mathbf{F}_p), la prima delle quali nota, la seconda e la terza note in direzione: lungo la EC \mathbf{F}_p e perpendicolare ad essa la forza vincolare nella coppia prismatica \mathbf{R}_{23} . Si deduce che $\mathbf{R}_{23}=0$ e $\mathbf{F}_p=-\mathbf{R}_{43}$.

Immediato è ora l'equilibrio del corpo 2.

Nella parte in basso al centro di Fig. 2.8 sono riportati, adiacenti, i due triangoli di equilibrio. Si può osservare che si realizza un poligono chiuso formato dalle forze esterne alla catena cinematica (\mathbf{F}_g , \mathbf{R}_C , \mathbf{R}_B , e \mathbf{R}_A) che conferma l'equilibrio globale della catena.

Esercizio proposto

Effettuare l'analisi delle forze per il meccanismo simmetrico del precedente disegnato in Fig. 2.9

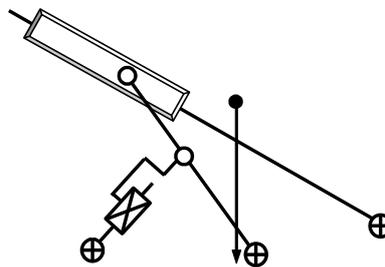


Fig. 2.9 Catena cinematica simmetrica di quella in Fig. 2.8