

PIERO MORELLI - FRANCESCO CESARI

Fondamenti di meccanica dei solidi, con applicazioni ed esercizi



Strumenti

Grafica e Impaginazione StudioNegativo.it

© 2024, Clueb casa editrice
via Marsala, 31 - 40126 Bologna
ISBN 978-88-491-5765-9

Per conoscere le novità e il catalogo, consulta
www.clueb.it

Finito di stampare nel mese di febbraio 2024
da Editografica - Rastignano (Bo)

Fondamenti di meccanica dei solidi, con applicazioni ed esercizi

Piero Morelli e Francesco Cesari





Indice

Prefazione	1
1. Le operazioni sulle forze	3
Esercizi svolti	4
Esercizi proposti	9
2. La statica dei corpi rigidi	13
Sistemi ad un solo corpo rigido	13
Sistemi piani a più corpi	14
Esercizi svolti	17
Esercizi proposti	37
3. I diagrammi delle azioni interne	45
Esercizi svolti	47
Esercizi proposti	65
4. La geometria delle aree	73
Esercizi svolti	76
Esercizi proposti	86
5. Tensione, deformazione e legge costitutiva	89
Definizione di tensione	89
Definizione di deformazione	89
La legge di Hooke	90
L'energia di deformazione elastica	92
Esercizi svolti	93
Esercizi proposti	96
6. Lo sforzo normale	97
La tensione normale	97
Lo spostamento assiale	97
Tensioni e dilatazioni termiche	98

Il teorema di Castigliano	99
Le forze elastiche	99
Iperstaticità assiale	100
Le strutture reticolari	100
Esercizi svolti	101
Esercizi proposti	128
7. Flessione	135
Le tensioni normali	135
La deformazione della trave	135
Il teorema di Castigliano	137
L'effetto termico	138
La flessione deviata	138
Esercizi svolti	139
Esercizi proposti	158
8. Torsione nelle travi	165
Le tensioni tangenziali	165
La deformazione della trave	167
L'energia di deformazione	168
Esercizi svolti	168
Esercizi proposti	184
9. Taglio	189
Le tensioni tangenziali	189
La deformazione della sezione	192
L'energia di deformazione	193
Esercizi svolti	194
Esercizi proposti	202
10. Sollecitazioni composte	207
Sforzo normale e flessione	208
Taglio e torsione	208
Flessione e taglio	208

Flessione e torsione	209
Esercizi svolti	210
Esercizi proposti	236
11. Tensioni nell'intorno di un punto	241
Il metodo analitico	242
Il circolo di Mohr	242
Esercizi svolti	245
Esercizi proposti	258
12. Le condizioni di resistenza	263
I criteri di resistenza	264
Componenti soggetti a sollecitazione semplice	267
Componenti soggetti a sollecitazioni composte	268
Esercizi svolti	269
Esercizi proposti	308
13. Le travi inflesse ad una sola campata	315
La teoria di Eulero-Bernoulli	315
La linea elastica	315
Simmetria e antisimmetria	318
I coefficienti di influenza	318
La trave su fondazione elastica	320
Esercizi svolti	321
Esercizi proposti	347
Appendice	353
Proprietà dei materiali	353
Designazione degli acciai	356
Designazione delle leghe di Al	358
Designazione di altre leghe	358
Proprietà delle sezioni di travi più comuni	359
Simboli	362
Bibliografia	364



Prefazione

Questo testo presenta una sintesi dei fondamenti di meccanica dei solidi, tratta dall'esperienza didattica maturata dagli autori presso i corsi di Costruzione di Macchine, Comportamento Meccanico dei Materiali ed Elementi delle Macchine, dei percorsi di Laurea in Ingegneria Industriale all'Università di Bologna.

La struttura di questo volume è costituita da un primo riassunto sulle principali relazioni relative all'argomento trattato, dopo di che vengono svolti numerosi esercizi di crescente difficoltà, per concludere con un'altra serie di esercizi proposti ai lettori.

Si affrontano gli argomenti classici del calcolo vettoriale, applicato alla statica dei sistemi di corpi rigidi nel piano e nello spazio, e si procede con l'analisi delle azioni interne canoniche da sforzo normale, flessione, torsione e taglio in strutture trabeiformi.

Si presenta lo studio delle proprietà geometriche delle sezioni di travi, adottando la notazione storicamente diffusa in letteratura e nei prontuari commerciali dei prodotti siderurgici, ma portando anche esempi di impiego della notazione tensoriale, che ben si presta ad unificare convenzioni e tecniche di calcolo quali, ad esempio, le analisi agli autovalori ed autovettori, o le rappresentazioni mediante i cerchi del Mohr. Al proposito, si mostrano esempi di come la tecnica del Mohr possa essere applicata in modo identico studiando il tensore di inerzia di una sezione, per determinarne le direzioni ed i momenti principali di inerzia, o studiando il tensore di tensione, per determinarne le direzioni e le componenti principali di tensione.

Si definiscono gli stati tensionali e deformativi, e la relazione costitutiva che li lega, sviluppando il calcolo delle sollecitazioni tensionali e della deformata strutturale conseguenti alle singole azioni interne, per sovrapporne in ultima analisi gli effetti. Anche in questo caso, sottolineando l'attenzione che l'Ingegnere deve riporre più sul ragionamento basato sulle caratteristiche vettoriali delle grandezze impiegate e dei risultati ottenuti, piuttosto che sulle convenzioni di segno proposte in letteratura in modo diverso dai diversi Autori, si è qui cercato di adottare una convenzione unificata, impiegando la classica notazione proposta da Cauchy per lo stato tensionale, anche per il caso delle azioni interne.

Nel trattare gli argomenti sopra esposti, vengono affrontati entrambi i problemi ingegneristici del calcolo strutturale e del dimensionamento, attraverso una selezione sia di casi applicativi ricorrenti e di utilità pratica, sia di esercizi tratti anche da temi d'esame.

Si correda il testo con una appendice che richiama alcune proprietà meccaniche dei materiali di immediato interesse costruttivo, alcune tabelle con le caratteristiche geometriche delle sezioni di profilati commerciali più comuni, una lista della simbologia normalmente adottata, ed una proposta di approfondimento bibliografico, certamente non esaustiva per una disciplina così tecnicamente caratterizzante la figura professionale dell'Ingegnere Industriale.



1. Le operazioni sulle forze

Le forze che agiscono sulle strutture sono generalmente sistemi spaziali. Per semplificare il calcolo, si possono studiare separatamente le singole parti della struttura, nel qual caso le forze si possono ricondurre a sistemi piani. Le forze presenti in questo capitolo sono forze peso concentrate.

Le operazioni sulle forze si possono svolgere *graficamente*, rappresentando le forze con la loro retta di azione, il senso, il punto di applicazione e la grandezza secondo una data scala. La soluzione per via grafica comporta la costruzione del *poligono delle forze* e del *poligono funicolare*.

Per il calcolo *analitico*, le forze sono definite dal punto di applicazione e dal modulo, mentre la direzione e il verso sono identificati per convenzione dall'angolo α che la direzione della forza forma con l'asse x , come mostra la Fig. 1.1. Una forza nel piano si rappresenta con le due componenti F_x e F_y secondo due assi ortogonali, e produce un momento $M_z = F \cdot d$ rispetto all'origine degli assi.

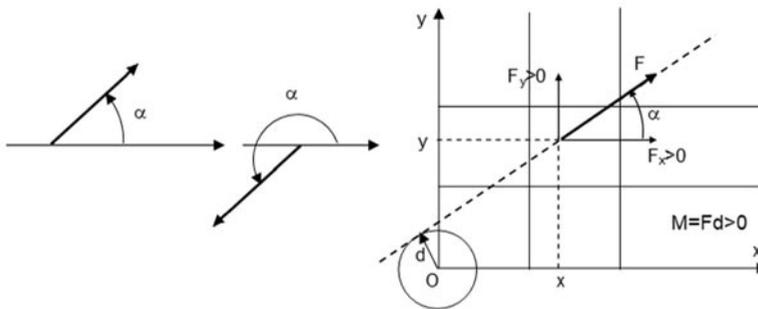


Fig. 1.1 Convenzione sul segno delle forze

Calcoliamo le componenti della risultante in x , y , positive se dirette secondo x , y e viceversa. Siano F_i le forze compiane di componenti cartesiane F_{ix} e F_{iy} . La risultante R vale:

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} \quad R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

La tangente dell'angolo di inclinazione di R è uguale al rapporto tra la componente y e la componente x :

$$\alpha = \arctan(R_y/R_x)$$

Si calcolano i momenti delle forze in x e y , positivi se orari e viceversa:

$$M_{z1} = \sum_{i=1}^n y_i F_{ix} \quad M_{z2} = -\sum_{i=1}^n x_i F_{iy} \quad M_z = M_{z1} + M_{z2}$$

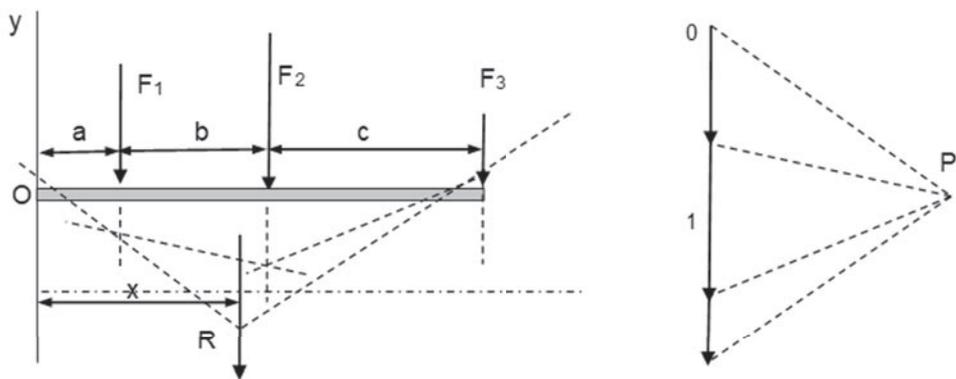
Le coordinate del punto di applicazione di R si ottengono applicando il *teorema di Varignon*:

dato un sistema di forze e un punto assegnato (polo), la sommatoria del momento delle singole forze rispetto allo stesso polo è pari al momento della risultante di tutte le forze fatto rispetto allo stesso polo.

Quindi si trova: $x_R = -\frac{M_{z2}}{R_y}$, $y_R = \frac{M_{z1}}{R_x}$

Esercizi svolti

1 – Trovare il vettore risultante del sistema di tre forze parallele agenti sul corpo (trave):



Dati: $a = 200$, $b = 350$, $c = 500$ mm; $F_1 = 200$, $F_2 = 250$, $F_3 = 100$ N

Dall'equilibrio alla traslazione verticale si determina la risultante delle forze applicate:

$$R = F_1 + F_2 + F_3 = 550 \text{ N}$$

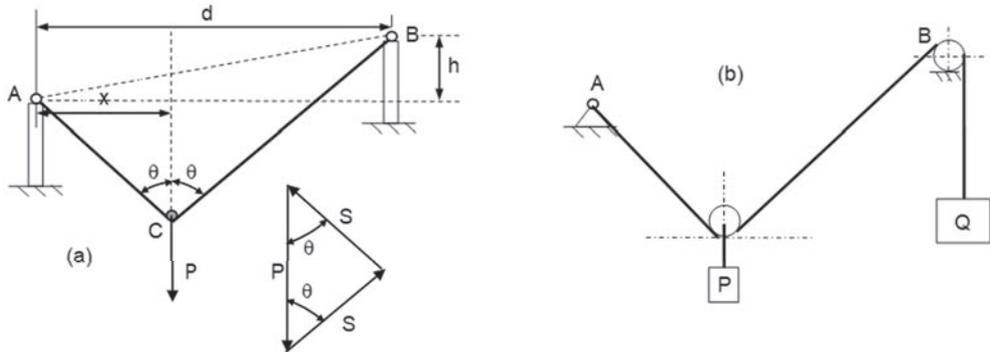
In figura è rappresentata la costruzione grafica della risultante con il poligono delle forze. Per determinare analiticamente la posizione di applicazione della forza risultante R , applichiamo il teorema di Varignon. Scegliendo come punto O l'estremo sinistro della trave si ottiene la seguente relazione:

$$R x = F_1 a + F_2 (a + b) + F_3 (a + b + c)$$

$$x = 513.6 \text{ mm}$$

2 – La figura (a) mostra una fune di lunghezza $L = 6$ m, fissata con le sue estremità a due punti fissi A, B . La fune supporta un carico P applicato per mezzo di una carrucola C .

Trascurando l'attrito, si calcoli la posizione di equilibrio assunta dal carico e lo sforzo nella fune. Se invece in B è posizionata una carrucola collegata al peso Q (figura (b)), quale condizione si impone per l'equilibrio?



Dati: $L = 6$, $d = 4.8$, $h = 0.9$ m, $P = 3.5$ kN

Nella fune di figura (a) agiscono due forze S uguali, la cui risultante deve essere uguale al carico applicato, come mostra la costruzione grafica.

Essendo $AC \sin \vartheta + BC \sin \vartheta = d$, ovvero $L \sin \vartheta = d$, troviamo l'angolo ϑ :

$$\vartheta = \arcsin(d/L) = 53.1^\circ.$$

Di conseguenza $S = P/2 \sec \vartheta = 2.9$ kN.

Poiché $AC = x \operatorname{cosec} \vartheta$, $BC = AC + h \sec \vartheta$, $AC + BC = L$, si ottiene $x = 1.8$ m.

Nel caso di Fig. (b) si ha $Q = P/(2 \cos \vartheta)$, quindi la soluzione esiste se $2Q \geq P$.

3 – Tre cilindri uguali di acciaio, di diametro $d = 200$ mm e lunghezza $L = 400$ mm, sono contenuti in una scatola a forma di parallelepipedo. Calcolare la spinta sopportata dal fondo e quella sopportata da ciascuna parete laterale.

