

FRANCESCO CESARI - GIANGIACOMO MINAK

Esercizi di Tecnica delle Costruzioni Meccaniche



Strumenti

Copyright © 2026, Clueb
ISBN 978-88-491-5849-6

Clueb è un marchio di Casa editrice prof. Riccardo Pàtron editore & C.
Via Marsala, 31 – 40126 Bologna
Info@clueb.it – www.clueb.it
Per informazioni sul copyright e il catalogo consultare www.clueb.it.

Esercizi di Tecnica delle Costruzioni Meccaniche

Francesco Cesari

GiangiacoMo Minak



Indice

Prefazione	9
1. Le travi continue	11
Esercizi svolti	11
2. I telai	21
Esercizi svolti	21
3. Stabilità elastica	29
Esercizi svolti	31
4. Calcolo matriciale delle strutture	39
4.1 Struttura continua e discreta	39
4.1.1 Sistemi a un GdL	39
4.1.2 Sistemi a più GdL	42
4.2 Il calcolo matriciale: reticolari e telai	43
4.3 Le fasi del calcolo matriciale	44
4.3.1 L'assemblaggio degli elementi	45
4.3.2 Le condizioni di vincolo	47
4.3.3 La soluzione del sistema di equazioni lineari	47
4.3.4 Le proprietà della matrice di rigidezza	48
4.4 Calcolo delle reticolari	49
4.4.1 La matrice di rigidezza	49
4.4.2 Vettore dei carichi	51
4.4.3 Calcolo delle tensioni	52
4.4.4 Calcolo manuale di una reticolare piana	52
Esercizi svolti	56
4.5 Calcolo dei telai	62
4.5.1 La matrice di rigidezza	63
4.5.2 Il vettore dei carichi distribuiti	65
4.5.3 Il vettore dei carichi termici	66
4.5.4 Calcolo delle tensioni	67
4.5.5 La deformata	68
Esercizi svolti	68
5. Concentrazione di tensione	79
5.1 La lastra forata	79
5.2 Casi notevoli	80
5.2.1 Lastra con variazione di larghezza	80
5.2.2 Lastra con gola	81
5.2.3 Albero con gola	81
5.2.4 Albero con spallamento	82
5.3 Foro in un serbatoio	83
Esercizi svolti	84

6. Resistenza a fatica ad alto numero di cicli.....	87
6.1 Cicli di fatica	87
6.2 La curva di Wöhler.....	88
6.3 Il limite di fatica reale.....	90
6.4 Il criterio di Goodman.....	91
6.5 Problemi di fatica multiassiale.....	92
6.6 La fatica cumulativa	94
Esercizi svolti	94
7. Le molle	125
7.1 Molle di compressione.....	125
7.2 Molle a trazione.....	127
7.3 Molle a flessione	127
7.4 Molle di torsione.....	129
7.5 Molle a disco conico	129
Esercizi svolti	130
8. I freni.....	145
8.1 I freni a disco	145
8.2 I freni a nastro	146
8.3 I freni a tamburo.....	146
Esercizi svolti	147
9. Le cinghie	153
9.1 Le cinghie piane.....	153
9.2 Le cinghie trapezoidali	155
Esercizi svolti	156
10. Collegamenti fissi.....	163
10.1 Saldature	163
10.2 Le chiodature.....	167
10.3 L'incollaggio.....	168
Esercizi svolti	169
11. Collegamenti rimovibili.....	183
11.1 Spine e perni	183
11.2 Chiavette	183
11.3 Le linguette.....	184
11.4 Collegamenti bullonati	185
11.4.1 Sistemi di filettature	185
11.4.2 Il serraggio.....	187
11.4.3 I collegamenti	188
11.4.4 Ripartizione del carico	189
11.5 Viti di manovra.....	191
11.6 Effetto del carico esterno sul collegamento.....	193
Esercizi svolti	196
12. Analisi di componenti.....	227
Esercizi svolti	234

13. La teoria di Hertz	247
Esercizi svolti.....	249
14. Le ruote dentate	257
14.1 Ruote cilindriche a denti dritti.....	257
14.1.1 Nomenclatura e relazioni principali	257
14.1.2 Forze trasmesse ai denti	259
14.1.3 Calcolo dei denti a flessione.....	260
14.1.4 Calcolo a fatica	263
14.1.5 Calcolo delle ruote in base alla usura (o fatica superficiale)	264
14.2 Ruote cilindriche a denti elicoidali	265
14.2.1 Nomenclatura e relazioni geometriche principali	265
14.2.2 Forze trasmesse	266
14.2.3 Calcolo dei denti a flessione e a fatica superficiale	267
14.3 Ruote coniche.....	267
14.4 Ruota e cremagliera	269
14.5 Vite senza fine – ruota elicoidale.....	269
Esercizi svolti.....	272
15. I cuscinetti.....	285
15.1 Cuscinetti a strisciamento.....	285
15.1.1 Cuscinetti a strisciamento portanti.....	286
15.1.2 Cuscinetti a strisciamento assiali.....	289
15.2 Cuscinetti volventi.....	291
Esercizi svolti.....	299
16. Assi e alberi.....	311
16.1 Il disegno preliminare dell'albero.....	311
16.2 Procedimento statico	313
16.3 Scelta del tipo di analisi	314
Esercizi svolti.....	314
17. Gusci cilindrici: pareti sottili e pareti spesse	361
17.1 Analisi di tubi	361
17.2 Analisi di cilindri spessi.....	362
17.2.1 Equazione di equilibrio	362
17.2.2 Accoppiamento per interferenza.....	364
17.2.3 Dischi rotanti.....	364
Esercizi svolti.....	365
18. Le travi a semplice curvatura.....	385
18.1 Le travi a piccola curvatura.....	385
18.2 Le travi a grande curvatura.....	386
Esercizi svolti.....	388
Acronimi.....	397
Bibliografia.....	397
Simboli.....	397

PREFAZIONE

Questo volume raccoglie una selezione organica di esercizi di Tecnica delle Costruzioni Meccaniche, sviluppata a partire dall'esperienza didattica maturata nell'insegnamento omonimo rivolto agli allievi ingegneri meccanici della sede di Forlì e, più in generale, negli insegnamenti di Costruzione di Macchine dell'Università di Bologna. L'obiettivo del testo è fornire uno strumento operativo di supporto allo studio e alla comprensione dei principali metodi di analisi e di dimensionamento dei componenti e delle strutture meccaniche, integrando i fondamenti teorici con applicazioni numeriche rappresentative della pratica ingegneristica.

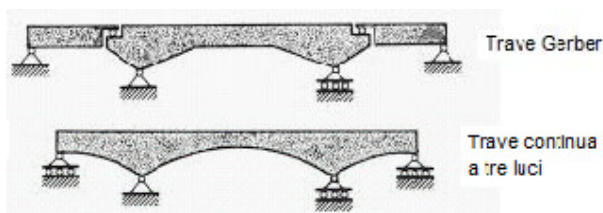
La struttura del libro segue un percorso progressivo che, partendo dall'analisi delle strutture isostatiche e iperstatiche, quali travi continue, telai e sistemi soggetti a fenomeni di stabilità elastica, introduce gradualmente il lettore al calcolo matriciale delle strutture. Particolare attenzione è dedicata alla formulazione delle matrici di rigidezza, all'assemblaggio del sistema globale, all'imposizione delle condizioni di vincolo e all'interpretazione fisica dei risultati. Successivamente vengono affrontati temi fondamentali della resistenza dei materiali applicata ai componenti meccanici, quali la concentrazione delle tensioni, la resistenza a fatica ad alto numero di cicli e i criteri di verifica in presenza di carichi variabili e multiassiali. Tali argomenti rappresentano un passaggio essenziale per collegare l'analisi teorica delle sollecitazioni al comportamento reale dei componenti sottoposti a esercizio ciclico. Il testo prosegue con lo studio e il dimensionamento di elementi e organi di macchina di uso comune, tra cui molle, freni, cinghie, collegamenti fissi e rimovibili, ingranaggi, cuscinetti, assi e alberi.

Per ciascun argomento vengono proposti esercizi che mirano a sviluppare la capacità di impostare correttamente il problema, di scegliere i modelli più appropriati e di valutare criticamente le ipotesi di calcolo adottate, in un'ottica di progettazione consapevole. Sono inoltre trattati temi avanzati quali la teoria del contatto di Hertz, l'analisi di gusci cilindrici a parete sottile e spessa, i dischi rotanti e le travi a semplice curvatura, con l'intento di fornire agli studenti gli strumenti necessari per affrontare problemi strutturali più complessi, frequentemente riscontrabili nella pratica industriale. Gli esercizi sono stati selezionati sia tra casi applicativi ricorrenti sia tra problemi d'esame, con difficoltà crescente. L'attenzione è posta non solo sul risultato numerico, ma soprattutto sul ragionamento ingegneristico, sull'interpretazione delle grandezze fisiche coinvolte e sulla coerenza complessiva del procedimento di calcolo. Il volume si propone quindi come supporto didattico per accompagnare lo studente lungo il percorso formativo dell'insegnamento di Tecnica delle Costruzioni Meccaniche, favorendo lo sviluppo di un metodo di lavoro rigoroso e critico, indispensabile per la futura attività professionale dell'ingegnere meccanico.

1. LE TRAVI CONTINUE

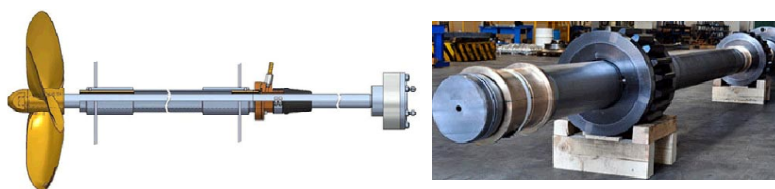
Per trave continua si intende una trave ad asse rettilineo su più appoggi. In questo modo sulle campate si ha una riduzione dei momenti flettenti rispetto alla soluzione con campate separate isostatiche.

La trave continua è iperstatica in quanto il numero di incognite è superiore a quello delle equazioni di equilibrio. La riduzione dei momenti massimi positivi tuttavia mostra però la comparsa di momenti negativi in corrispondenza degli appoggi intermedi. Nell'ingegneria civile le applicazioni più note sono relative ai ponti, come mostra la seguente figura:



Le travi Gerber sono travi su più appoggi e sono rese isostatiche da un numero di cerniere uguale a quello dei vincoli sovrabbondanti. Pertanto una trave di questo tipo su quattro appoggi contiene due cerniere disposte secondo lo schema di figura. Rispetto alle travi continue staticamente indeterminate le travi Gerber presentano il vantaggio di non risentire gli effetti di cedimenti degli appoggi. Trattandosi di strutture isostatiche, lo studio delle travi Gerber si può collocare nei capitoli precedenti.

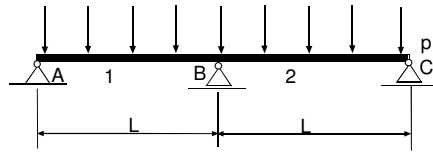
Nell'ingegneria meccanica le applicazioni più importanti riguardano gli alberi di trasmissione molto lunghi come quello nelle navi:



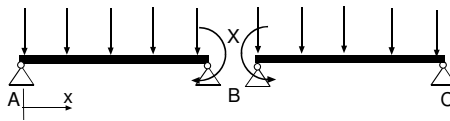
Esercizi svolti

Travi continue a due campate

1 - La trave a due campate ABC di figura è soggetta a un carico p distribuito uniforme. Determinare la deformata della trave e il diagramma delle sollecitazioni.



Per simmetria possiamo considerare un solo tratto, col momento flettente X incognito che AB e BC si scambiano in B:



- Il valore di X si può ricavare direttamente col metodo delle forze, imponendo una rotazione nulla in B

$$\frac{p L^3}{24 EJ} - \frac{X L}{3 EJ} = 0 \rightarrow X = \frac{L^2 p}{8}$$

- Se invece si utilizza il teorema di Castigliano si trova

$$M = -p L/2 x + X/L x + p x^2/2$$

$$U = \frac{1}{EJ} \int_0^L M^2 dx = (L^5 p^2 - 10 L^3 p X + 40 L X^2) / (120 EJ)$$

$$\text{Dalla condizione } \phi_B = \frac{dU}{dX} = 0, \text{ si ricava } X = \frac{p L^2}{8}.$$

- Consideriamo l'equazione della linea elastica per il primo tratto AB

$$EJ v''(x) = M, v(0) = 0, v(L) = 0, \text{ da cui si ottiene}$$

$$v(x) = (L^4 p x - 2 L^2 p x^3 + L p x^4 - 4 L^2 x X + 4 x^3 X) / (24 EJ L)$$

Dalla condizione $v'(L) = 0$, si trova $X = p L^2 / 8$, e sostituendo

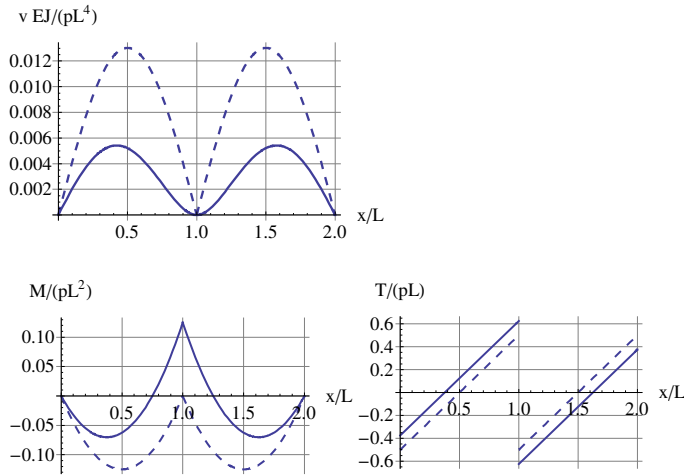
$$v(x) = (L^3 p x - 2 L p x^3 + p x^4) / (24 EJ)$$

- Se consideriamo l'equazione della linea elastica del 4° ordine

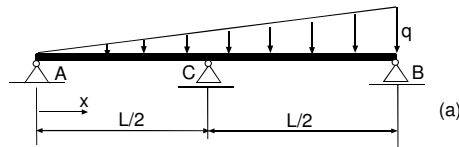
$$EJ v''''(x) = p, v(0) = 0, v''(0) = 0, v(L) = 0, v'(L) = 0$$

otteniamo lo stesso risultato. Riportiamo i diagrammi della trave con due campate (linea continua) e delle due travi isostatiche AB e BC (linea tratteggiata).

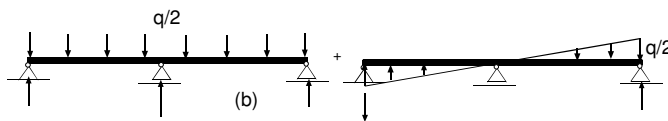
Come si può osservare dalle deformate, le frecce nei due casi sono molto diverse, mentre i momenti massimi sono uguali a parte il segno.



2 - Calcolare le reazioni sugli appoggi della trave a due campate di figura (a) con carico triangolare, sfruttando le simmetrie.



Il sistema è soggetto al carico $Q = qL$ ed è equivalente alla somma di una trave con carico simmetrico $q/2$ e di una trave con carico antisimmetrico $q/2$ (b).



La trave con carico simmetrico si risolve come nell'esercizio 1, svincolando in C ed inserendo la reazione X:

$$X = \frac{5 L q}{4}, \text{ e le reazioni vincolari } V_{A1} = \frac{3 Q}{16}, V_{C1} = \frac{5 Q}{8}, V_{B1} = V_{A1}.$$

La trave con carico antisimmetrico ha reazione nulla in C e quindi è staticamente determinata:

$$V_{A2} = -Q/6, V_{C2} = 0, V_{B2} = -V_{A2}$$

Sommando le due soluzioni si ottiene:

$$V_A = V_{A1} + V_{A2} = -Q/48, V_B = V_{B1} + V_{B2} = 17 Q/48, V_C = 5 Q/8$$