

CONTENUTO
del libro (di Aldo Maceri) Scienza delle costruzioni vol. 1

Capitolo 1 (Teoria dei sistemi di forze):

- ✧ Vengono date le definizioni di
 - forza dello spazio tridimensionale (intesa come ente individuato da intensità, direzione, verso, retta di azione)
 - momento di una forza rispetto ad un punto
 - momento di una forza rispetto ad una retta
 - sistema di forze (inteso come insieme costituito da un numero finito di forze)
 - risultante di un sistema di forze
 - momento risultante di un sistema di forze rispetto ad un punto
 - momento risultante di un sistema di forze rispetto ad a retta
 - asse centrale di un sistema di forze
 - sistemi di forze complanari
 - sistemi di forze parallele,

corredandole con numerosi esempi di calcolo, di varia complessità.

- ✧ Il caso piano è anch'esso di rilevante importanza nel calcolo strutturale. Vengono pertanto date anche le definizioni di:

- forza dello spazio bidimensionale (intesa come ente individuato da intensità, direzione, verso, retta di azione)
- momento di una forza rispetto ad un punto
- sistema di forze (inteso come insieme costituito da un numero finito di forze)
- risultante di un sistema di forze
- momento risultante di un sistema di forze rispetto ad un punto
- asse centrale di un sistema di forze
- sistemi di forze complanari
- sistemi di forze parallele,

corredandole con numerosi esempi di calcolo, di varia complessità.

Capitolo 2 (Analisi della deformazione):

- ✧ Viene considerato un corpo solido tridimensionale (inteso come un continuo in senso matematico) e si suppone che esso si deformi, senza che ne venga precisata la causa. Viene definito l'allungamento in un punto (inteso come la variazione di lunghezza di una fibra rettilinea ma elementare) e lo scorrimento in

un punto (inteso come la variazione dell'angolo individuato da due fibre rettilinee ma elementari). Viene quindi definito il campo delle piccole deformazioni (nel quale si intende di considerare solo deformazioni nelle quali in ogni punto lo spostamento è elementare e le derivate parziali delle componenti dello spostamento sono in modulo prossime a zero). Da tutte le prove sperimentali in laboratorio e da tutte le costruzioni realizzate nelle Ingegnerie civile, meccanica, aeronautica e navale emerge che tale ipotesi di piccole deformazioni può essere assunta nella quasi totalità dei calcoli strutturali. Sul piano matematico, tale ipotesi comporta una semplificazione enorme, che ha consentito la costruzione di una teoria matematica che viene dettagliata nei capitoli seguenti e che costituisce una simulazione pressoché perfetta del fenomeno fisico in esame.

- ✧ Assunta l'ipotesi di piccole deformazioni, vengono stabilite le relazioni differenziali tra allungamenti, scorrimenti e componenti dello spostamento. Vengono poi definite e analizzate le direzioni principali di deformazione (e con esse evidenziati gli invarianti di deformazione). Infine sono date le equazioni di congruenza, che costituiscono una condizione matematicamente necessaria e sufficiente affinché non si verifichino né lacerazioni né sovrapposizioni di materiale.

Capitolo 3 (Analisi della tensione):

- ✧ Vengono anzitutto simulati gli sforzi interni che si instaurano nel corpo a seguito dell'applicazione del carico. Si ipotizza che in ogni punto P, tagliando il corpo in due con un piano di normale n , lo sforzo interno (esplicito da ciascuna parte sull'altra) sia simulabile con una forza t_n (detta vettore sforzo) avente retta di azione passante per P ma intensità, direzione e verso variabili (anche fortemente) al variare di n . Il vettore sforzo viene quindi decomposto (oltre che nelle sue componenti sugli assi coordinati) nella σ (che per così dire tenta di distaccare o far compenetrare le due parti) e nella τ (che per così dire tenta di far slittare lungo il piano (ideale di taglio) una parte rispetto all'altra). Vengono quindi definite le componenti speciali della tensione (cioè le σ e τ sui piani coordinati e ne vengono analizzate le proprietà).
- ✧ Vengono poi definite e analizzate le direzioni principali di tensione e le tensioni principali. Viene dettagliata la teoria dei cerchi di Mohr, e corredata con numerosi esempi di applicazione. Sono definiti e analizzati gli stati tensionali piani e quelli monoassiali.

Capitolo 4 (Il principio dei lavori virtuali)

- ✧ Si tratta di una proprietà astratta che però è anche uno strumento fondamentale sia di indagine teorica sia di calcolo strutturale pratico.

Capitolo 5 (Le relazioni tra tensioni e deformazioni):

- ✧ In questo capitolo viene anzitutto descritta la prova monoassiale a rottura e la conseguente legge di Hooke. Viene poi data la definizione di materiale omogeneo, quella di materiale isotropo e quella di materiale linearmente elastico. Per i materiali omogenei, isotropi e linearmente elastici vengono definiti i moduli elastici (anche detti costanti elastiche): il modulo di Young E (anche detto modulo di elasticità longitudinale), il modulo di Poisson ν (anche detto modulo di contrazione trasversale o coefficiente di contrazione trasversale), il modulo tangente G . Viene poi esposto il legame proposto da Navier tra le tensioni e le deformazioni presenti nel corpo (anche detto relazioni di Navier o equazioni costitutive o legame costitutivo), sia diretto che inverso. Il capitolo si conclude con il dettaglio del campo di variabilità dei moduli elastici.

Capitolo 6 (Il problema dell'equilibrio elastico):

- ✧ Con gli strumenti dell'Analisi matematica classica, viene formulato il modello matematico di un continuo solido tridimensionale nelle ipotesi:
 - la superficie del corpo è regolare in senso matematico
 - il carico è costituito da un sistema di forze distribuite sul volume e/o sulla superficie, simulate con funzioni regolari in senso matematico
 - il materiale è omogeneo, isotropo e linearmente elastico
 - il fenomeno rientra nel campo delle piccole deformazioni
 - sono assenti fenomeni termici
 - sono assenti fenomeni dinamici.

Sono dettagliati il modello di Cauchy (che perviene ad un problema al contorno in cui le incognite sono le componenti dello spostamento) e il modello di Beltrami (che perviene ad un problema al contorno in cui le incognite sono le componenti speciali della tensione).

Capitolo 7 (Stati piani di deformazione e di tensione):

- ✧ Viene determinato, utilizzando la funzione di Airy, lo stato tensionale che insorge in vari problemi bidimensionali di interesse tecnico:
 - in coordinate cartesiane, il problema della lastra rettangolare (anche detta lastra trave)
 - in coordinate polari, il problema di Boussinesq, quello del disco caricato da due forze diametrali, quello della lastra forata.

Capitolo 8 (Il lavoro di deformazione):

- ✧ In assenza di fenomeni termici e di fenomeni dinamici, vengono analizzati gli aspetti energetici del problema dell'equilibrio elastico. Precisamente:
 - viene computato il lavoro compiuto dal carico per deformare il corpo (teorema di Clapeyron). Tale lavoro, in virtù del primo principio della Termodinamica, è esattamente eguale all'energia (anche della energia elastica) immagazzinata nel corpo a deformazione avvenuta, che può essere integralmente restituita dal corpo scaricandolo
 - viene ottenuta l'espressione della densità di energia elastica, che viene preferibilmente chiamata potenziale elastico, e ne vengono enunciate e provate le proprietà
 - viene dimostrata una proprietà astratta del problema dell'equilibrio elastico (teorema di Betti), chiamata eguaglianza dei lavori mutui. Anch'essa può essere utilizzata con successo in molte applicazioni (dell'Ingegneria strutturale) di pratico interesse
 - viene anche esposta un'altra proprietà astratta (teorema di Castigliano) chiamata derivata del lavoro, che consente in alcuni casi il calcolo di spostamenti.

Capitolo 9 (I criteri di resistenza):

- ✧ Sono esposte alcune congetture, chiamate criteri di resistenza, con le quali è possibile accertare la sicurezza al collasso di strutture comunque complesse. Esse hanno ricevuto piena conferma da tutte le sperimentazioni in laboratorio e sono state di larghissimo impiego fino al recente passato.

Capitolo 10 (Meccanica del terreno):

- ✧ Si dà un cenno alle problematiche (di Ingegneria civile) relative al terreno di fondazione. Il loro studio è notevolmente complesso, atteso che nel terreno giocano un ruolo significativo tutte e tre le fasi solida, liquida e gassosa.

Capitolo 11 (Geometria delle aree):

- ✧ Questo capitolo fa uso di risultati di Geometria analitica piana non elementari, che vanno sotto il nome di teoria dell'antipolarità. Questi risultati consentono un più profondo studio del problema della flessione.
- ✧ Vengono:
 - definiti il momento statico di un'area rispetto ad una retta e il baricentro dell'area, e se ne studiano le proprietà
 - definiti il momento di inerzia ed il momento centrifugo (anche detti momenti del secondo ordine) e se ne studiano le proprietà

- definito l'ellisse centrale di inerzia e se ne studiano le proprietà (antipolarità)
- definito il nocciolo centrale di inerzia e se ne studiano le proprietà.

Capitolo 12 (Il problema di Saint Venant):

- ✧ Si prende in considerazione un prisma retto (anche detto cilindro retto) di altezza molto maggiore delle dimensioni medie della base (che per ipotesi è un dominio piano regolare ad $m+1$ contorni). Tale solido, anche detto solido di Saint Venant o trave di Saint Venant, è supposto caricato soltanto sulle basi. Si ottiene così un problema al contorno, detto problema di Saint Venant. La sua soluzione è, tranne che in prossimità delle basi, combinazione lineare delle soluzioni dei 6 problemi: sforzo normale baricentrico, flessione retta di asse x , flessione retta di asse y , torsione, taglio di asse x , taglio di asse y . Di tali 6 problemi al contorno il Saint Venant trovò la soluzione esatta, con la quale è stato possibile eseguire il calcolo dello stato tensionale e degli spostamenti di strutture monodimensionali comunque complesse. Dalle 2 flessioni rette si ottiene la soluzione della flessione deviata. Dalle 2 flessioni rette e dallo sforzo normale baricentrico si ottiene la soluzione della pressoflessione (anche detta flessione composta o sforzo normale eccentrico). Della torsione viene data la soluzione esatta, corredata con lo studio della concentrazione delle tensioni (eseguito con l'analogia idrodinamica). Dei tagli vengono date le soluzioni esatte, corredate con la definizione di centro di taglio e con lo studio delle sue proprietà. Lo studio del problema del taglio viene completato con l'esposizione della trattazione approssimata del taglio, che conduce ad una formula di semplice impiego, praticamente esatta per le travi a sezione sottile (di frequentissimo impiego in tutte le costruzioni).

Capitolo 13 (I materiali non resistenti a trazione):

- ✧ In gran numero vi sono strutture civili, tuttora in esercizio, realizzate in muratura, che è un materiale la cui resistenza a trazione è praticamente nulla. Per tale materiale deve esser quindi soddisfatta la diseuguaglianza $\sigma \leq 0$. Tale condizione trasforma il problema al contorno in un problema a frontiera libera e con ciò la sua trattazione richiede tassativamente l'impiego dell'Analisi funzionale.
- ✧ In questo capitolo ci si limita ad esporre una teoria tecnica del problema della pressoflessione dei materiali non resistenti a trazione, che ha dato sempre risultati soddisfacenti sia nelle sperimentazioni in laboratorio che nella pratica applicazione.

Capitolo 14 (La trave a parete sottile):

- ✧ I problemi di Saint Venant della torsione e del taglio richiedono la soluzione di uno o, rispettivamente, due problemi di Neumann ambientati nella sezione retta della trave. La loro soluzione, anche se numerica, è notevolmente onerosa. Per le sezioni a parete sottile, largamente impiegate nelle costruzioni di tutte le Ingegnerie, sono disponibili alcune teorie tecniche (i cui risultati sono stati sempre riscontrati soddisfacenti).
- ✧ Per la torsione delle sezioni sottili chiuse è disponibile una teoria tecnica, dovuta a Bredt, che risolve in modo approssimato ma semplice sia la sezione biconnessa che quelle (tipiche delle sezioni alari) a grado di connessione superiore
- ✧ Anche per la torsione delle sezioni sottili aperte (meno adatte ad assorbire torsione) è disponibile una teoria tecnica di semplice impiego. Essa si preoccupa preliminarmente di risolvere il problema della torsione della sezione rettangolare allungata. Come la teoria tecnica di Bredt, anche questa teoria tecnica fa largo uso dei risultati dell'analogia idrodinamica.
- ✧ Quanto al taglio, nel caso delle sezioni sottili (sia aperte che chiuse) è stato verificato sperimentalmente in laboratorio che la formula di Zhuravskii dà valori dello stato tensionale praticamente esatti. Se ne danno numerosi e dettagliati esempi di impiego, sia volto alla determinazione del diagramma delle τ sia volto alla determinazione del centro di taglio.

Capitolo 15 (Cinematica dei corpi rigidi):

- ✧ Sono prese in considerazione le strutture monodimensionali piane definite come un sistema di travi monodimensionali vincolate tra loro e con un corpo detto fondazione o terra. Sono descritti in dettaglio i dispositivi vincolari: incastro, cerniera, incastro scorrevole (anche detto cerniera impropria o doppio pendolo o glifo), pendolo, carrello, doppio incastro scorrevole (anche detto doppio doppio pendolo). Ne viene valutato l'ordine (inteso come numero di gradi di libertà della struttura che il vincolo può eliminare). Viene poi definita labile una struttura alla quale i vincoli presenti consentono cinematismi, isostatica una struttura alla quale i vincoli presenti non consentono cinematismi (ma risultano strettamente sufficienti), iperstatica una struttura alla quale i vincoli presenti non consentono cinematismi (ma risultano sovrabbondanti). Viene definita la matrice cinematica della struttura. Il calcolo del grado di labilità, della isostaticità, del grado di iperstaticità viene dettagliato eseguendo l'analisi cinematica matriciale per un'ampia casistica di strutture.
- ✧ Viene esposta la teoria delle catene cinematiche e se ne danno numerosi esempi di applicazione.

Capitolo 16 (Statica dei corpi rigidi):

- ✧ Viene precisata la reazione che ciascun vincolo è in grado di esercitare sugli elementi strutturali ai quali è collegato. Per ciascuna trave della struttura vengono esplicitate le equazioni (anche dette equazioni cardinali della statica) di equilibrio alla traslazione orizzontale, di equilibrio alla traslazione verticale, di equilibrio alla rotazione. Viene definita la matrice statica della struttura. Viene evidenziata la dualità cinematica-statica, dalla quale segue che in una struttura labile di norma i vincoli non sono in grado di equilibrare il carico, in una struttura isostatica i vincoli possono equilibrare il carico (ma in uno e un solo modo), in una struttura iperstatica i vincoli possono equilibrare il carico in infiniti modi diversi (nell'ambito della statica dei corpi rigidi). Sono dati numerosi esempi di calcolo delle reazioni vincolari di strutture isostatiche, sia per via analitica che per via grafica.
- ✧ Sono definite le caratteristiche della sollecitazione: sforzo normale N , taglio T e momento flettente M . Sono ricavate le relazioni differenziali che legano N , T , M tra loro ed al carico. Sono ricavati i diagrammi N , T , M su numerose strutture elementari e non, sia per via analitica che per via grafica.

Capitolo 17 (Teoria delle travi inflesse):

- ✧ Viene costruito il modello matematico monodimensionale della trave inflessa, che è l'elemento base di tutte le strutture monodimensionali. Sono precisate le ipotesi a base della teoria: la generica sezione retta di ascissa z resta piana (sicché subisce una rotazione $\varphi(z)$) e il suo baricentro si sposta verticalmente rispetto all'asse z di $v(z)$. La funzione abbassamento v è chiamata linea elastica della trave. Viene ricavata per integrazione la linea elastica di strutture elementari (trave appoggiata, mensola) variamente caricate. Viene stabilita l'analogia di Mohr, che consente di calcolare (in modo ancora esatto ma molto più snello) la linea elastica di una trave inflessa come momento flettente di una trave ausiliaria (opportunamente vincolata) caricata da un carico fittizio (la curvatura della trave assegnata). Sono ritrovate per la trave inflessa le stesse proprietà (principio dei lavori virtuali e teoremi energetici) stabiliti per il problema tridimensionale dell'equilibrio elastico.

Capitolo 18 (Teoria delle strutture):

- ✧ Viene anzitutto estesa l'equazione differenziale della linea elastica delle travi inflesse al caso in cui è presente anche un carico termico lineare. Sono anche introdotti i vincoli esterni cedevoli elasticamente (linearmente) o anelasticamente (cedimenti impressi). L'analogia di Mohr viene quindi estesa alle travi inflesse sottoposte a carichi meccanici e termici, in presenza di vincoli cedevoli e non. È dettagliata la soluzione di numerose strutture di varia complessità, sia col metodo delle forze che col metodo degli spostamenti. Il metodo delle forze viene dapprima articolato applicando alle travi inflesse iperstatiche le equazioni di congruenza (equazioni dei tre momenti, equazioni dei quattro momenti). Viene quindi esposta la tecnica risolutiva (valida per strutture comunque complesse) che utilizza il principio dei lavori virtuali. Tale

tecnica è stata impiegata in dettaglio in numerosi esempi di calcolo di strutture di varia complessità: determinazione dello stato tensionale in strutture isostatiche, determinazione di spostamenti in strutture isostatiche, determinazione dello stato tensionale in strutture iperstatiche, determinazione di spostamenti in strutture iperstatiche. Il metodo degli spostamenti permette anch'esso di eseguire il calcolo di strutture comunque complesse. In più offre l'enorme vantaggio di essere programmabile sul computer. Esso viene compiutamente presentato e corredato da esempi di applicazione.

Capitolo 19 (La stabilità dell'equilibrio):

- ✧ La stabilità dell'equilibrio è un tema vasto e complesso la cui trattazione non può essere sviluppata in un solo capitolo. I fenomeni che essa studia sono però così pericolosi da imporne un sia pur breve cenno.
- ✧ E' sperimentalmente verificato che il modello matematico monodimensionale (e con esso quello tridimensionale) costituisce, in certe condizioni, una rappresentazione inadeguata del fenomeno fisico, nel senso che fornisce indicazioni errate sul comportamento della struttura. Tale inammissibile imprecisione viene rimossa applicando (ancora nell'ipotesi di piccole deformazioni) il principio di sezionamento alla configurazione deformata della struttura anziché a quella indeformata. Semplici ed ormai classici esempi mostrano infatti che così facendo si portano in conto termini che conducono ad una formulazione matematicamente notevolmente diversa del problema e che descrive perfettamente il comportamento reale della struttura. In particolare, per il nuovo problema matematico (che simula il fenomeno) il teorema di unicità della soluzione sussiste solo se il carico è inferiore a un valore (dipendente dalla struttura) detto carico critico. Se il carico è invece superiore al carico critico, si ottiene dall'indagine teorica (e la cosa è perfettamente verificata dalle esperienze condotte in laboratorio) che la struttura può assorbire il carico disponendosi secondo tre distinte configurazioni di equilibrio, e precisamente due di equilibrio stabile ed una di equilibrio instabile.
- ✧ Viene esposto in primo luogo, per alcune strutture elementari, il metodo energetico. Quindi, per la trave caricata di punta, è presentato in dettaglio il metodo statico approssimato, che conduce alla formula di Eulero. Con essa, oltre che con il metodo ω (anch'esso dettagliato), è possibile eseguire (per la struttura) la verifica di sicurezza alla stabilità. E' analizzata in dettaglio anche la pericolosa instabilità di seconda specie.