

Giuseppe Stagnitto

FONDAMENTI DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI

Appunti del corso a cura degli studenti

INDICE

INTRODUZIONE AL CORSO

I - INTRODUZIONE ALL'ANALISI STRUTTURALE pag.1

1. PRIMI ESEMPI DI ANALISI STRUTTURALE (pag. 1)

- 1.1 I materiali utilizzati nelle costruzioni
- 1.2 Concetto di schematizzazione strutturale
- 1.3 Convenzione di simboli inerenti i carichi
- 1.4 Esercizio applicativo sulle condizioni di carico
- 1.5 Metodo grafico per tracciare i diagrammi parabolici dei momenti

2. COMPrensIONE DEL FENOMENO DELLA FLESSIONE (pag. 10)

- 2.1 Esercizio introduttivo: metodi *approssimato* e *rigoroso*
- 2.2 Esercizio sui profili non standardizzati
- 2.3 Altri esercizi sul comportamento flessionale
- 2.4 Sintesi per la comprensione della flessione

3. RICHIAMI DI SCIENZA DELLE COSTRUZIONI (pag. 20)

- 3.1 Esercizio sul calcolo della posizione del baricentro
- 3.2 La deformata approssimata da una *curva policentrica*
- 3.3 Proporzionalità tra momento e curvatura

4. PRIMO PROGETTO DI UNA STRUTTURA (ISOSTATICA) (pag. 25)

- 4.1 Esercizio su di una mensola caricata all'estremo libero
- 4.2 Prime riflessioni progettuali
- 4.3 Calcoli semplificati di confronto
- 4.4 Altre considerazioni sui momenti di inerzia

II - STRUTTURE IN ACCIAIO pag. 29

5. LE VERIFICHE STRUTTURALI PER LE COSTRUZIONI IN ACCIAIO (pag. 30)

- 5.1 Problemi di resistenza, di stabilità, di funzionalità

6. TIPOLOGIE DI PROFILI IN ACCIAIO (pag. 31)

- 6.1 Travi in acciaio IPE ed HE
- 6.2 Funzioni resistenti delle ali e dell'anima

7. PRIMI UTILIZZI DEI PROFILARI (pag. 33)

- 7.1 Le grandezze riportate sui profilari
- 7.2 Calcolo approssimato delle caratteristiche geometriche (A;J, W)
- 7.3 Considerazioni sul modulo di elasticità E

8. VALORI ASSOLUTI E RELATIVI DEGLI SPOSTAMENTI (pag. 39)

8.1 La *freccia* di una trave

8.2 Esempio numerico

9. MOMENTO LIMITE ELASTICO E MOMENTO ULTIMO PLASTICO (pag. 40)

9.1 Esercizio numerico sui momenti limite

9.2 Lo stato limite ultimo *tensionale*

10. SOLLECITAZIONI INTERNE NELLE SEZIONI IN ACCIAIO (pag. 42)

10.1 I diagrammi delle azioni interne

10.2 L'azione di taglio (V) e le tensioni interne corrispondenti

10.3 Combinazione delle tensioni

10.4 Il criterio di verifica della *tensione ideale*

10.5 Esempio numerico

10.6 Verifiche di resistenza

11. PROGETTO DI UNA TRAVE CONTINUA IN ACCIAIO (pag. 51)

11.1 Oggetto del progetto

11.2 Schema strutturale e condizioni di carico considerate

11.3 Azioni interne nelle condizioni di carico

11.4 Diagramma di involuppo semplificato

11.5 Verifica alla Stato Limite Ultimo (SLU)

11.6 Verifica degli spostamenti (SLE)

12. ESERCIZI SU SEMPLICI STRUTTURE IN ACCIAIO (pag. 66)

12.1 Nota sulla distinzione tra strutture isostatiche e iperstatiche

12.2 Simmetrie di geometria e di carico

12.3 Tre formule utili per il calcolo di spostamenti

12.4 Limiti tensionali e limiti di spostamento

12.5 Calcolo di spostamenti in casi più complessi

13. DIAGRAMMA DI INTERAZIONE PER STRUTTURE IN ACCIAIO (pag. 76)

13.1 Diagrammi di interazione allo Stato Limite tensionale

13.2 Costruzione della curva di interazione $M-V$ per ogni profilo

13.3 Caso completo con presenza di azione assiale

III - TEORIA DELLE STRUTTURE pag. 81

14. CALCOLO DI SPOSTAMENTI IN STRUTTURE ISOSTATICHE (pag. 83)

14.1 Concetto dell'analogia di Mohr

14.2 Trave su due appoggi con carico concentrato in mezzera

14.3 trave su due appoggi con carico distribuito

14.4 Trave a mensola con carico concentrato

14.5 Calcolo della freccia per una trave a mensola con carico distribuito

14.6 Esempi di calcolo degli spostamenti

14.7 Osservazione sugli effetti della concentrazione dei carichi

14.8 Somma algebrica di spostamenti

15 DIFFERENZE FRA STRUTTURE ISOSTATICHE ED IPERSTATICHE (pag. 94)

15.1 Il problema di Archimede

15.2 La legge della leva

15.3 Il principio di sovrapposizione degli effetti

15.4 Azioni interne in strutture isostatiche

16 IL CONCETTO DI "REAZIONE VINCOLARE" (pag. 98)

16.1 Le forze di natura "geometrica"

16.2 La reazione vincolare è un esempio di *costrutto* (Bridgman)

17 LE STRUTTURE IPERSTATICHE (pag. 100)

17.1 Effetti di diverse distribuzioni delle *rigidezze EJ*

17.2 Calcolo iterativo nel progetto strutturale

18 INTRODUZIONE ALLA SOLUZIONE DELLE IPERSTATICHE (pag. 102)

18.1 La prima iperstatica storicamente risolta

18.2 Applicazione del "principio di ragion sufficiente"

19 LA SENSIBILITA' STATICA NON BASTA PER CAPIRE LE IPERSTATICHE (pag. 106)

19.1 Il paradosso dei tre portatori

19.2 Differenti modelli concettuali

20 METODO DELLE FORZE PER LA RISOLUZIONE DI IPERSTATICHE (pag. 108)

20.1 Trave incastrata agli estremi con carico uniformemente distribuito

20.2 Trave incastrata agli estremi con carico concentrato

20.3 Risoluzione della mensola iperstatica con una diversa incognita

20.4 Caso di spostamenti relativi (trave continua)

21 LIVELLI DI SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE (pag. 118)

21.1 Dalla trave isolata al telaio tridimensionale

21.2 Scissione in sottosistemi strutturali

22 RICHIAMI DI CALCOLO DELLE MATRICI (pag. 122)

22.1 Trascrizione matriciale di un sistema di equazioni lineari

22.2 Metodi diretti e metodi iterativi

23 INTRODUZIONE AI TELAI PIANI (pag. 125)

23.1 Vincoli *interni* e vincoli *esterni*

23.2 Il "segreto" del metodo risolutivo degli *spostamenti*

23.3 Matrici di *flessibilità* e di *rigidezza*

23.4 Momenti conseguenti a rotazioni unitarie

24 IL METODO DEGLI SPOSTAMENTI PER I TELAI A NODI FISSI (pag. 132)

24.1 Iniziamo a capire come funziona il metodo

24.2 Interpretazione fisica del metodo degli spostamenti

24.3 Altri casi di carico sulla trave continua

24.4 Soluzione di telai con più rotazioni incognite

24.5 Il sistema risolvete per un telaio con due rotazioni incognite

24.6 Esempio numerico

24.7 I diagrammi delle azioni flettenti

24.8 I diagrammi delle azioni taglianti

24.9 I diagrammi delle azioni assiali

24.10 I diagrammi delle azioni interne dipendono dalle sezioni?

24.11 Il segno dell'azione di taglio

25 STRUTTURE SOGGETTE A CARICHI VARIABILI (pag. 151)

25.1 Esempi di *linee di influenza* dei momenti

25.2 Linea di influenza degli spostamenti verticali

25.3 Massimizzare freccia e momento in una sezione

25.4 Esercizio numerico per un telaio in acciaio

25.5 Metodo generale per il progetto allo SLU

25.6 Utilizzo dei programmi di calcolo strutturale

IV - SEZIONI IN CALCESTRUZZO ARMATO pag. 170

26 CONCETTI INTRODUTTIVI (pag. 171)

- 26.1 La sezione di una trave in calcestruzzo armato
- 26.2 Metodo approssimato per il calcolo a flessione semplice
- 26.3 Necessità degli approfondimenti successivi

27 RESISTENZE DI PROGETTO DEL CALCESTRUZZO E DELL'ACCIAIO (pag. 173)

- 27.1 La *resistenza di progetto* del calcestruzzo
- 27.2 La *resistenza di progetto* dell'acciaio
- 27.3 I diagrammi tensione-deformazione

28 CALCOLO ANALITICO A FLESSIONE SEMPLICE (pag. 176)

- 28.1 Verifica di resistenza allo SLU
- 28.2 La verifica di duttilità (liceità del calcolo analitico)
- 28.3 Come aumentare il *Momento resistente di progetto*?
- 28.4 Il caso della sezione a T calcolata come fosse rettangolare

29 I DIAGRAMMI DI INTERAZIONE N-M (pag. 183)

- 29.1 Utilizzo dei diagrammi riportati nei manuali
- 29.2 Confronto tra i diagrammi adimensionali delle Norme 2008 e precedenti
- 29.3 Costruzione numerica dei diagrammi di interazione *N-M*
- 29.4 Corrispondenza tra i domini limite nello spazio ε_{ultime} e in quello di *N-M*
- 29.5 Campi di rottura della sezione in c.a. pressoinflessa

30 TRACCIAMENTO MANUALE: METODO DEL VETTORE UNICO (pag. 197)

- 30.1 Semplificazione adottata per il tracciamento manuale dei diagrammi
- 30.2 Schema del metodo del vettore unico
- 30.3 Costruzione vettoriale alternativa
- 30.4 Sintesi del procedimento
- 30.5 Applicazione del metodo nelle verifiche di resistenza
- 30.6 Confronto con programmi di calcolo automatico
- 30.7 La larghezza della zona compressa (nota per le sezioni *a T*)

31 COSTRUZIONE DEI DIAGRAMMI ADIMENSIONALI GRADUATI (pag. 202)

- 31.1 Costruiamoci da noi i diagrammi dei manuali
- 31.2 Esempi di diagrammi adimensionali graduati
- 31.3 I punti di convergenza dei raggi vettori

32 VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO (pag. 216)

- 32.1 Schema resistente *a tiranti e a puntoni*
- 32.2 L'inclinazione delle fessure
- 32.3 Lo schema resistente *a traliccio di Ritter- Mörsh*
- 32.4 Le verifiche di resistenza a taglio
- 32.5 Armatura longitudinale aggiuntiva dovuta al taglio
- 32.6 Il taglio nelle ali della sezione a T
- 32.7 Progetto e verifica dell'armatura dell'ala della sezione a T
- 32.8 Armatura trasversale nell'ala della sezione a T
- 32.9 I tre campi di rottura a taglio

33 IL METODO DEI 3 PUNTI PER L'ARMATURA TRASVERSALE (pag. 235)

- 33.1 Armatura di una sezione rettangolare soggetta a pressoflessione retta e taglio
- 33.2 Armatura di una sezione a T soggetta a pressoflessione retta e taglio
- 33.3 Metodo analitico alternativo per l'armatura trasversale

V - ARGOMENTI DI PROGETTO DI STRUTTURE pag. 261

34 CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI IN ACCIAIO (pag. 262)

- 34.1 Il modulo di resistenza plastico W_{pl}
- 34.2 Esempio di calcolo del modulo W_{pl}
- 34.3 Le quattro classi di sezioni
- 34.4 La capacità di plasticizzazione

35 AFFINAMENTO DEI DIAGRAMMI DI INTERAZIONE $V - M$ (pag. 266)

- 35.1 Affinamento di indagine sul valore delle azioni interne agenti
- 35.2 Affinamento del diagramma di interazione allo stato limite tensionale elastico
- 35.3 Costruzione numerica del diagramma di interazione V-M
- 35.4 Diagramma di interazione allo stato ultimo plastico

36 METODI PER IL CALCOLO DI TRAVI CONTINUE (pag. 273)

- 36.1 La duttilità nel calcolo delle travi continue
- 36.2 Introduzione al calcolo rigido-plastico
- 36.3 Calcolo elastico con redistribuzione limitata
- 36.4 Sintesi dei tre metodi di calcolo per una trave continua su tre appoggi

37 NOTA SULLE *NORME TECNICHE 2008* (D.M. 14/01/08) (pag. 278)

- 37.1 I coefficienti moltiplicativi dei carichi
- 37.2 La tensione resistente di progetto dell'acciaio di carpenteria

38. BIBLIOGRAFIA (pag. 282)

PRONTUARIO pag. 283

- 1 Sezioni in acciaio HE
- 2 Armatura per sezioni in c.a.
- 3 Densità di armatura trasversale

INTRODUZIONE AL CORSO

Il Corso di Fondamenti di Tecnica delle Costruzioni deve insegnare i concetti essenziali delle costruzioni in acciaio e in cemento armato, dopo avere affrontato la risoluzione numerica delle strutture iperstatiche.

Oggi l'utilizzo del computer rende non indispensabile uno sviluppo completo delle tecniche numeriche utilizzate per risolvere le strutture a telaio.

Pertanto si è limitato lo studio dei telai a semplici telai a nodi fissi.

Nella prima parte del corso svolgeremo alcuni semplici calcoli strutturali al fine di facilitare la comprensione di alcuni argomenti che saranno ripresi con più completezza nel seguito.

Lo studente dovrebbe avere la pazienza di accettare di incontrare, prima, ciò che verrà meglio detto dopo.

Ad esempio verranno usate, inizialmente senza dimostrazione, alcune formule al fine di eseguire subito dei veri e propri calcoli di verifica, così da entrare nel cuore dell'argomento come se ne fossimo già un poco esperti.

È questa l'applicazione di un metodo didattico che crediamo di poter dire si è rivelato fruttuoso.

Per semplificare la comprensione degli argomenti è preferibile riferirci dapprima alle costruzioni in acciaio che sono studiate nei termini più familiari di tensioni.

Si mostra anche come costruire (originali) diagrammi di interazione per le sezioni in acciaio che introducono all'utilizzo dei diagrammi di interazione per le sezioni pressoinflesse in calcestruzzo armato. Questi ultimi sono insegnati con un procedimento semplificato originale (*metodo del vettore unico*) sviluppato nel libro *Calcolo immediato delle sezioni in calcestruzzo armato* [4].

Anche le verifiche di resistenza al taglio del calcestruzzo armato sono state tradotte in un semplice metodo grafico (il *metodo dei 3 punti*).

Precede il corso la lezione introduttiva che il mio Maestro prof. Ing. Aldo Cauvin tenne personalmente a Mantova il primo anno di istituzione del corso stesso.

RINGRAZIAMENTI

Questi appunti sono stati scritti grazie all'encomiabile diligenza di alcuni allievi che hanno seguito il Corso da me tenuto presso l'Università degli Studi di Pavia, sede di Mantova.