

Università degli studi di Bergamo

Scuola di Ingegneria (Dolmine)

CCS Ingegneria Edile

LM-24 Ingegneria delle Costruzioni Edili

Dinamica, Instabilità e Anelasticità delle Strutture

(ICAR/08 - SdC ; 6 CFU)

A.A. 2022/2023

prof. Egidio RIZZI

egidio.rizzi@unibg.it

SOMMARI DELLE LEZIONI-III

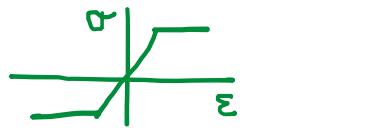
SOMMARIO (Lec. 22)

III - Anelasticità delle strutture (Plasticità) -

- Introduzione al comportamento non-lineare (elasto-plastico) del materiale.
- Regimi tipici: elastico, perfettamente plastico, incud. positivo/^{"hardening"}/_{"softening"} negativo.
- Comportamento anolognomo: legame incrementale (carico pl. vs. scarico el.).
- Dipendenze delle storie di carico (integras. del legame incrementale).
- Tipologie di microscopio e loro modellazione.
- Unicità del legame diretto/inverso.
- Incrudimento lineare e modulo tangente.
- Generalizzazione 3D: teoria della plasticità.

Next step: Flessione elasto-plastica - Comportamento della sezione trasversale delle travi
(verso una teoria strutturale in ambito di non-lin. di materiale).

SOMMARIO (Lec. 23)

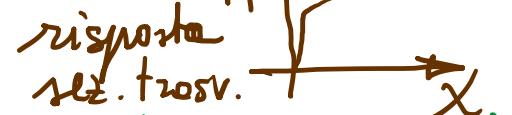


- Flessione elastoplastica (vs. legge costitutiva delle sez. trasversale). [che materiale] [a sezione]
- Hp. di conservazione delle sezioni piane (compo lineare di deformazione).
- Regime elastico (lineare) : modulo di resistenza elastico, momento/curvatura e limite elastico.
- Regime elastoplastico : plasticizzazione con "stress block" che si diffondono, per curvature crescenti, dai lenti vs. l'interno ; legame M/X non-lin. con incrudimento ; modulo (di resistenza) plastico ; momento limite ($X \rightarrow \infty$).

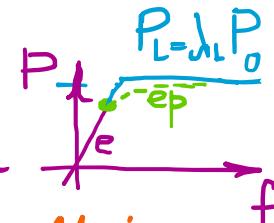
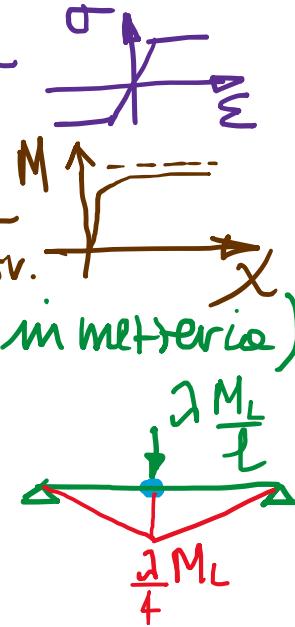
A hand-drawn graph showing bending moment M on the vertical axis and curvature X on the horizontal axis. The curve starts at the origin, rises linearly, and then levels off into a horizontal asymptote, representing a plastic hinge behavior.
- Fattore di forma : guadagno plasticità/elasticità.
- Casi pratici : momento limite quasi raggiunto per deformazioni osservabili in ~1% in regime elastoplastico.

Next step: Comportamento globale delle trave infisse ; ipotesi di cerchiere plastica ; meccanismo di collasso (plastico) delle trave -

SOMMARIO (Lec. 24)

- Risposte elasto-plastiche delle trave (fino al collasso plastico). Dopo: 
- Analisi di sistemi isostatici (trave appoggio-appoggio con carico concentrato in mezzeria).
- Momento netto per puro equilibrio \Rightarrow curvatura da legge costitutiva.
- Concentrazione curvatura (plastica) in mezzeria \Rightarrow ipotesi di cerniere plastiche e schematizzazione semplificata per stime del collasso.
- Mecanismo di collasso plastico e stime del moltiplicatore di collasso λ_L da bilancio energetico (PLV).
- Curva $P-\Delta_s$ forza/spostamento (moltiplicatore/frecce) non-lineare da reale risposta elasto-plastica, con approssimazione lineare a tratti (piece-wise linear) nell'ip. di cerniere plastiche (utile alle stime di λ_L).

Next step: Schema iperstatico (trave ricostruita) \Rightarrow ulteriori risorse elasto-plastiche da ridistribuzione di sforzo, con sviluppo di deformazioni plastiche - Risposta evolutiva (lineare a tratti) con sequenze di attivazione delle cern. plast.



SOMMARIO (Lec. 25)

- $\lambda - \bar{f}$
- Analisi evolutiva trave appoggio-appoggio con q (bilineare): collasso all'attivazione delle prime cerchiere plastiche in mezzerie (no risorse ulteriori); λ_L agilmente determinato (via PLV), nonostante sottostima deformazione EP.
 - Analisi evolutiva trave incastro-incastro con q (tutlineare): sequenza di attivazione delle cerchiere plastiche (due istanze di apertura); ulteriori risorse portanti da ridistribuzione di sforzo per sviluppo di deformazioni plastiche, e carico crescente.
 - Confronto: moltiplicatore di collasso doppio (+100%); rigidezza elastica iniziale quintupla (rigidezza successive uguale a quelle del caso precedente, all'apertura delle cerchiere plastiche alle estremità incastrate).
 - In genere, informazione essenziale è collasso plastico (meccanismo e moltiplicatore) vs. analisi evolutiva.

Next step: Teoremi fondamentali dell'Analisi Limite (calcolo a rottura dei telai), per stima del collasso plastico - Esempi.

SOMMARIO (Lec. 26)

- Teoremi fondamentali dell'Analisi Limite, alla base del Calcolo e Rotta dei telai, volti alla determinazione (diretta) delle caratteristiche di collasso.
- Definizioni: classi staticamente e cinematicamente ammissibili (entro le quali si ricercano le condizioni di collasso).
- Teorema statico: fornisce una delimitazione inferiore del mult. limite: $\lambda^- \leq \lambda_L$.
- Teorema cinematico: " " " superiore " " " : $\lambda_L \leq \lambda^+$.
- Teorema misto: se le delimitazioni bilaterale si stringe a zero, il mult. di collasso risulta individuato $\Rightarrow \lambda^- = \lambda_L = \lambda^+$.
- Dimostrazione via PLV (indip. da parametri elastici e effetti anelastici progressi).
- Metodi diretti (statico/cinematico/misto): sulla base dei Th. visti, divengono strumenti operativi per il calcolo ("manuale" o "automatico") delle caratteristiche di collasso plastic.

Next step: Esempi (travi e telai), con determinazione o stima delle caratteristiche di collasso ($\lambda^- \leq \lambda_L \leq \lambda^+$, momento a collasso, meccanismo plastic).

SOMMARIO (Lec. 27)

- I Th. fondamentali dell'Analisi Limite divengono "Metodi diretti" di calcolo per le stime del collasso plastico (anche "manuali") -
- Operando con metodo statico, si mira ad ottenere una sequenza massimizzante dei λ^- ($\lambda_L = \max\{\lambda^-\}$).
- Operando con metodo cinem., " " " " " " minimizzante dei λ^+ , o comunque a fornire delimitazioni bilaterali del moltiplicatore limite $\lambda^- \leq \lambda_L \leq \lambda^+$ sufficientemente ristrette.
$$(\lambda_L = \min\{\lambda^+\}).$$
- Laddove λ^+ fosse anche λ^- , oè metodo misto, si individua il molt. di collasso $\lambda^- = \lambda_L = \lambda^+$ (conformità rispettata).
- Esempio di trave incastro-appoggio, con soluzione "esatta".
Next step: Esempio di telaio e fortele.

SOMMARIO (Lec. 28)

- Esempio di telaio a portale doppia mente incastato con carichi concentrati.
- Risoluzione con "metodi diretti", "manuali":
 - Metodo cinematico
 - Metodo statico
 - Metodo misto

• delimitazione bilaterale (in genere suff. ai fini ingegneristici),
• stima del moltiplicatore limite λ_L e dei momenti a collasso $M_{iL}(x)$.
- Meccanismo completo (collasso dell'intera struttura) \Rightarrow struttura isostatica con distribuzione univoca di $M_i(x)$ che, se conforme, corrisponde anche a λ_L .
- Meccanismo parziale (collasso di parte delle strut.) \Rightarrow " " " "
" " non " " (conformità relativa per scelta di incognite ieristiche residue) \Rightarrow vari λ^- (e maggiore tra i possibili λ^-).
- Metodo statico ("safe th.") fornisce sempre stime conservative $\lambda^- \leq \lambda_L = \max \lambda^-$ ma si più difficile elaborazione per grz. con molte ric. ieristiche (scelte molteplici).
- Metodo cinematico ("upper bound") fornisce stime non conserv. $\min \lambda^+ = \lambda_L \leq \lambda^+$ ma si assai facile determinazione (eq. di equil. a collasso incipiente tramite PLV).
Laddove tutti i meccanismi, λ_L è il min tra tutti quelli det.; ove una parte, $\lambda_L \leq \lambda^+$ min.
- Metodi codificabili in forma computazionale (Programmazione Lineare) con calcolo metricale.

Conclusioni globali sul corso [D(I)AS]: (Plasticità)

- Tre discipline, Dinamica/Instabilità/Aneleasticità delle strutture viste separatamente (oggetti concettuali fondamentali) → ma in realtà interagenti.
- Come estensione del SolC (statica in ambito lineare):
Dinamica: con incisie, linearità (elasto-viscosa).
Instabilità/Aneleasticità: "quasi statica", non-linearietà (geometrica/sol materiali).
- Dinamica anche ben tipica di stati di servizio (uso quotidiano vibrionale, es. ponti).
- Instabilità/Aneleasticità più tipica di stati limite ultimi (preludono o conducono al collasso), tipicamente tramite transizioni dinamiche → Risposta non-lineare con discipline ex- presenti.
- Trait d'union: sistemi discreti (masse concentrate; elementi a deformabilità concentrate, elastiche (molle)/plastiche (cerniere plastiche o snodi)).
- "Modi" caratteristici:
 - » "di Dinamica" (modi principali di vibrazione, frequenze proprie; $\omega_1 = \min \omega_i$);
 - » "di Instabilità" (deformate critiche, carichi critici; $f_{cr} = \min f_{ci}$);
 - » "di Plasticità" (meccanismi di collasso, moltiplicatori cinematici; $A_L = \min A_i^+$).
- Link con MCSS (discretizzazione) e uso calcolo matriciale (automatizzato).
- Recano traccia del filone SolC - CdSdC - DIAS (fondamenti) sugli aspetti teorico- (+MCSS) metodologici in Meccanica dei Solidi e delle Strutture.
- Seguono aspetti applicativi nell'area di TolC (Progetto, verifica agli S.L.U., costruzioni in zone simice).