

Università degli studi di Bergamo
Scuola di Ingegneria (Dalmine)

CCS Ingegneria Edile

LM-24 Ingegneria delle Costruzioni Edili

Dinamica(, Instabilità) e Anelasticità delle Strutture
(ICAR/08 - SdC ; 6 CFU)

A.A. 2021/2022

prof. Egidio RIZZI
egidio.rizzi@unibg.it

SOMMARI DELLE LEZIONI-III

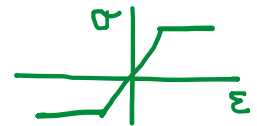
SOMMARIO (Lec. 22)

III - Anelasticità delle Strutture (Plasticità) -

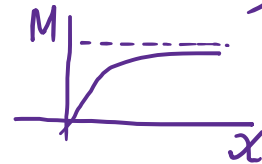
- Introduzione al comportamento non-lineare (elasto plastico) del materiale.
- Regimi tipici: elastico, perfettamente plastico, inculd. ^{"hardening"} positivo / ^{"softening"} negativo -
- Comportamento anelastico: legame incrementale (carico pl. vs. scarico el.).
- Dipendenza dalla storia di carico (integrali del legame incrementale).
- Tipologie di inculdimento 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 della trave (verso una teoria strutturale in ambito di non-lin. di materiale).

SOMMARIO (Lec. 23)

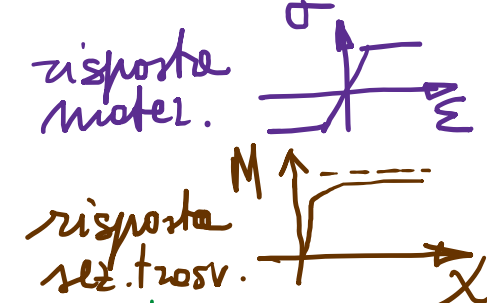


- Flessione elastoplastica (vs. legge costitutiva delle sez. trasversale). [ok materiale e sezione]
- H_p di conservazione delle sezioni piane (campo lineare di deformazione).
- Regime elastico (lineare): modulo di resistenza elastico, momento/curvatura e limite elastico.
- Regime elastoplastico: plasticizzazione con "stress block" che si diffonde, per curvature crescenti, dai lembi vs. l'interno; legge M/χ non-lin. con incrudimento; modulo (di resistenza) plastico; momento limite ($\chi \rightarrow \infty$).
- Fattore di forma: guadagno plasticità/elasticità.
- Casi pratici: momento limite quasi raggiunto per deformazioni osservabili $\sim 1\%$ in campo elastoplastico.



Next step: comportamento globale della trave inflessa; ipotesi di cerniera plastica; meccanismo di collasso (plastico) della trave.

SOMMARIO (Lec. 24)

- Risposta elastoplastica della trave (fino a collasso plastico) - Dopo: 
risposta mater. σ vs ϵ
risposta sez. trasv. M vs χ
- Analisi di sistema isostatico (trave appoggio-appoggio con carico concentr. in mezzeria).
- Momento noto per puro equilibrio $\Rightarrow$ curvatura da legge costitutiva.
- Concentrazione curvature (plastiche) in mezzeria $\Rightarrow$ ipotesi di cerniera plastica e schematizzazione semplificata per stima del collasso.
- Meccanismo di collasso plastico e stima del moltiplicatore di collasso λ_L da bilancio energetico (PLV).
- Curva $P-\Delta$, forza/spostamento (moltiplicatore/freccia) non-lineare da reale risposta elastoplastica, con approssimazione lineare a tratti (piece-wise linear) nell'ip. di cerniera plastica (utile alla stima di λ_L).

Next step: Schema iperstatico (trave incastrata) $\Rightarrow$ ulteriori risorse elastoplastiche da redistribuzione di sforzo, con sviluppo di deformazioni plastiche - Risposta evolutiva (lineare e tratti) con sequenza di attivazione delle cern. plast.

SOMMARIO (Lec. 25)

- Analisi evolutiva trave appoggio-appoggio con q ($\lambda - \bar{f}$ bilineare): collasso all'attivazione della prima cerniera plastica in mezzeria (non risorse ulteriori); λ_L agevolmente determinato (via PLV), nonostante sostanziale deformazione EP.
- Analisi evolutiva trave incastro-incastro con q (trilineare): sequenza di attivazione delle cerniere plastiche (due istanze di apertura); ulteriori risorse portanti da ridistribuzione di sforzo per sviluppo di deformazioni plastiche, a carico crescente.
- Confronto: moltiplicatore di collasso doppio (+100%); rigidità elastica iniziale quintupla (rigidità successiva uguale a quella del caso precedente, all'apertura delle cerniere 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 Collasso a Rotture (dei telai), volto 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 molt. limite: $\lambda^- \leq \lambda_L$.
- Teorema cinematico: " " " " superiore " " " : $\lambda_L \leq \lambda^+$.
- Teorema misto: se la delimitazione ^{"forchetta"} laterale si stringe a zero, il molt. di collasso risulta individuato $\Rightarrow \lambda^- = \lambda_L = \lambda^+$.
- Dimostrazione via PLV (indip. da parametri elastici e effetti anelastici pregressi).
- Metodi diretti (statico/cinematico/misto): sulla base dei Th. visti, divengono strumenti operativi per il calcolo ("manuale" o "automatico") delle caratteristiche di collasso plastico.

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

SOMMARIO (Lec. 27)

- I Th. fondamentali dell'Analisi Limite si vengono "Metodi diretti" di calcolo per la stima 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 delle limitazioni bilaterali del moltiplicatore limite $\lambda^- \leq \lambda_L \leq \lambda^+$ sufficientemente ristrette. ($\lambda_L = \min\{\lambda^+\}$).
 - Laddove λ^+ fosse anche λ^- , o 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 a portele.

SOMMARIO (Lec. 28)

- Esempio di telaio a portale doppiamente incastato con carichi concentrati.
- Risoluzione con "metodi diretti", "manuali":
 - $\lambda^- \leq \lambda_L \leq \lambda^+$
 - Metodo cinematico } • delimitazione bilaterale (in genere suff. ai fini ingegneristici),
 - Metodo statico } • stima del moltiplicatore limite λ_L e dei momenti e collasso $M_{iL}(x)$.
 - Metodo misto
- 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.) $\Rightarrow$ " iper " "
" non " " " (conformità valutabile per scelta di incognite iperstatiche residue) $\Rightarrow$ vari λ^- (e maggiore tra i possibili λ^-).
- Metodo statico ("safe th.") fornisce sempre stima conservativa $\lambda^- \leq \lambda_L = \max \lambda^-$ ma di più difficile elaborazione per str. con molte inc. iperstatiche (scelte molteplici).
- Metodo cinematico ("upper bound") fornisce stima non conserv. $\min \lambda^+ = \lambda_L \leq \lambda^+$ ma di assai facile determinazione (eq. di equil. e 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 matriciale.

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

- Tre discipline, Dinamica/Instabilità/Anelementicità delle strutture, viste separatamente (aspetti concettuali fondamentali), ma in realtà interagenti.
- Come estensione da SdC (statica in ambito lineare):
 - Dinamica: con inerzia, linearità (elasto-viscosa).
 - Instabilità/Anelementicità: "quasi statica", non-linearità (geometrica/di materiale).
- Dinamica anche ben tipica di stati di servizio (uso quotidiano vibrazionale, es. ponti).
- Instabilità/Anelementicità più tipica di stati limiti ultimi (preludio o conducono al collasso), tipicamente tramite transizione dinamica $\rightarrow$ Risposta non-lineare con discipline co-presenti.
- Trait d'union: sistemi discreti (masse concentrate; elementi a deformabilità concentrata, elastiche (molle) / plastica (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; $p_{cr} = \min p_{cr,i}$);
 - "di Plasticità" (meccanismi di collasso, moltiplicatori cinematici; $\lambda_1 = \min \lambda_i^+$).
- Link con MCSS (discretizzazione) e uso calcolo matriciale (automatizzato).
- Recano traccia del filone SdC - CdSdC - DIAS (fondamenti) sugli aspetti teorico-metodologici in Meccanica dei Solidi e delle Strutture.
- Seguono aspetti applicativi nell'area di TdC (Progetto, con verifica agli S.L.U., costruzioni in zone sismica).