



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO : 383

DATA : 17/10/2012

# A P P U N T I

STUDENTE : Bertone

MATERIA : Tecnica delle Costruzioni

Prof. Mancini

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.  
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

## TECNICA DELLE COSTRUZIONI

la sicurezza strutturale è uno dei requisiti fondamentali in ogni opzione di progettazione, costruzione e utilizzazione delle opere strutturali insieme alla funzionalità e durabilità.

3 metodi di misura della sicurezza nelle costruzioni sono:

DETERMINISTICI (Tensioni ammissibili, calcolo a rottura) -> NON AFFIDABILI

PROBABILISTICI (livello 3, livello 2, livello 1 o semi-probabilistico)

la misura di una struttura è il grado di protezione delle persone e/o cose rispetto alle conseguenze di un collasso e viene espressa secondo condizioni ultime (SLU)

## TENSIONI AMMISSIBILI

la misura della sicurezza avviene nello spazio delle Tensioni (quello solo quello che accade in pratica)  $G_e \leq G_{amm} = \frac{R_k}{\gamma}$  - resistenza caratteristica (frottole 5% della distribuzione di frequenza resistenze) - coeff. sicurezza

- Svantaggi:

- 1) soluzioni risolte in modo deterministico senza considerare alcuna incertezza o aleatorietà
- 2) elasticità lineare che non consente di tener conto di fenomeni reologici e anelastici (fluoce, fessurazioni) e non linearità di comportamento del materiale
- 3) coefficienti di sicurezza empirici per coprire le incertezze
- 4) misure reali della sicurezza artificiosa o impossibile

- Vantaggi:

- 1) facilità di determinazione delle soluzioni più possibilità di applicazione PSE
- 2) facilità individuazione delle combinazioni di carico più gravose
- 3) buona affidabilità (in campo statico) delle soluzioni determinate

## CALCOLO A ROTTURA

la misura della sicurezza avviene nello spazio delle FORZE (quello solo quello che accade in condizioni ultime)  $G_e + \gamma_u A_e \leq A_u$  - AZIONI PERMANENTI ESERCIZIO - AZIONI VARIABILI ULTIME - coeff. sicurezza ultimo

- Svantaggi:

- 1) misura sicurezza deterministica

**PROBABILISTICO DI LIVELLO 2**

Difficoltà operative del livello 3 superate con il livello 2

da funzione di stato limite  $g(s,r)=0$  è approssimata e due casi:

- a)  $g(s,r)=0$  lineare o lineare approssimata  $\rightarrow$  FORM (RETTA)
- b)  $g(s,r)=0$  non lineare approssimato con funzione 2° ordine  $\rightarrow$  SORM (PARABOLA)

a) FORM si divide in: **AFOSH** che ignora la legge di distribuzione delle variabili casuali.

È basato su approssimazione di primo ordine in serie di Taylor della funzione S.L. usa solo medie e varianza delle variabili casuali

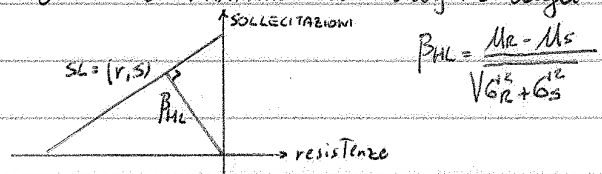
$$\beta = \frac{\mu_2}{\sigma_2^2} = \frac{\text{media}(z)}{\text{varianza}(z)} \quad \text{indice di sicurezza} \rightarrow Pr = Pr(\beta) = (10^{-1} \rightarrow 10^{-7})$$

② AFOSH <sup>FOSH onnato</sup> comincia la legge di distribuzione delle variabili casuali

l'indice di sicurezza  $\beta_{HL}$  è definito come distanza minima dall'origine degli assi rispetto alle superficie di S.L.

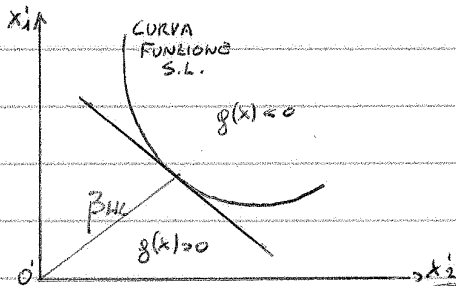
solo per variabili stocastiche normali  $\rightarrow$

$$S.L. \Rightarrow \sigma_R r - \sigma_S s + \mu_R - \mu_S = 0 \quad \text{RETTA} \rightarrow$$

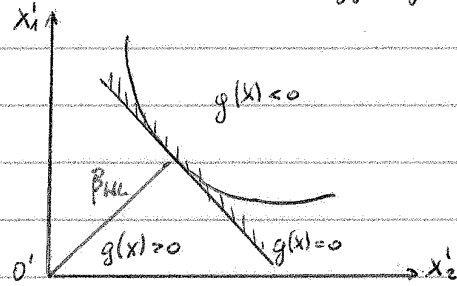


AFOSH e FOSH danno valori coincidenti se  $R$  e  $S$  sono normali e la funzione S.L. è lineare. Per funzioni S.L. non lineari, la determinazione di  $\beta_{HL}$  diventa un problema di ottimizzazione, si può usare moltiplicatori Lagrange.

a) FORM



b) SORM (migliora il FORM aggiungendo curvatura)



$$\beta_{FORM} \equiv \beta_{HL}$$

Entrambe le approssimazioni hanno la stessa distanza  $\beta$  e l'approccio di FORM fornisce lo stesso livello di sicurezza; in realtà la probabilità di rottura dell'approssimazione non lineare della funzione dovrebbe essere minore poiché delle sue forme FORM ignora la curvatura della funzione S.L. perché usa 1° ordine.

## BASIS OF STRUCTURAL DESIGN

Requisiti di base delle strutture sono: Resistenza strutturale (Safety), Robustezza, durabilità, funzionalità che devono essere garantite per l'intera durata di vita di progetto (50 anni = edifici; 100 anni = ponti, monumenti)

- Stati limite ultimi = riguardano la sicurezza delle popolazioni e/o della struttura (rottura per fatica, perdita di stabilità, rottura per eccessiva deformazione)
- Stati limite di esercizio = riguardano la funzionalità della struttura, il comfort delle popolazioni e l'estetica (deformazione, vibrazione, danno)
- Progetto agli stati limite è basato su modelli per le azioni e modelli strutturali per i diversi S.L.; vi è la necessità di definire situazioni di progetto e così di carico de variabili di base sono: azioni dirette, indirette ed ambientali; proprietà dei materiali e dei prodotti; dati geometrici.

### AZIONI

Sono classificate in base alla variazione nel Tempo in

Permanenti (G) → azioni che agiscono nella durata di vita con variazioni trascurabili o monotone (peso proprio, precompressione, spinte dei liquidi e dei Terreni, effetti ritiro/fluage)

Variabili (Q) → azioni la cui variazione nel Tempo non è trascurabile né monotona (vento, neve, sisma, carichi imposti sulle strutture)

Accidentali (A) → azioni di breve durata ma rilevante intensità che è improbabile si presentino nella durata di vita prevista (esplosioni, impatto, sisma)

Dirette → forze applicate alle strutture il cui modello può essere solitamente indipendentemente dalle risposte strutturali

Indirette → deformazioni imposte che producono effetti dipendenti dalle risposte strutturali (ritiro, fluage, cedimenti)

Fixe → posizione fissa nel Tempo

Mobili → posizione variabile nel Tempo

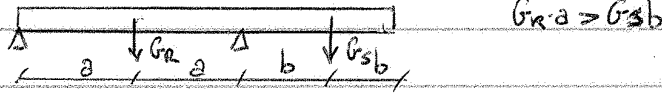
Sono classificate anche in base alla loro natura in Statiche e in Dinamiche

Azioni Ambientali → comportano deterioramento nel Tempo delle proprietà

Equazioni di verifica  $E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$

$E_{d,dst}$  = valore di progetto delle sollecitazioni indotte destabilizzanti

$E_{d,stab}$  = " " " " " " stabilizzanti



STR/CEC hanno verifica  $E_d \leq R_d$  valore sollecitazione minore della resistenza

FAT nei diversi codici per i materiali

Combinazione delle azioni (azione esclusa):

- ogni combinazione delle azioni deve includere un'azione principale oppure un'azione accidentale.

- nelle strutture molto sensibili alle variazioni di intesa di una sezione permanente, le parti favorevoli e sfavorevoli di base devono essere considerate azioni individuali



1) Combinazione delle azioni per situazioni persistenti e transitorie (combinazioni fondamentali)

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_g G_k; \gamma_p P; \gamma_q Q_k; \gamma_q \psi_0 Q_k \} = E \{ \gamma_g G_k; \gamma_p P; \gamma_q Q_k; \gamma_q \psi_0 Q_k \}$$

per STR/CEC si prende la meno favorevole tra le due

$$E_d = E \{ \gamma_g G_k; \gamma_p P; \gamma_q \psi_{0i} Q_k; \gamma_q \psi_{0j} Q_k \}$$

$$E_d = E \{ \gamma_g G_k; \gamma_p P; \gamma_q \psi_{0i} Q_k; \gamma_q Q_{k1} \}$$

↳ fattore riduzione per le azioni permanenti sfavorevoli  $\psi$

2) Combinazione delle azioni per situazioni accidentali

$$E_d = E \{ G_k; P; A_d; (\psi_{1,1} \text{ o } \psi_{2,1}) Q_{k,1}; \psi_2 Q_k \}$$

3) Combinazione delle azioni per situazioni rismiche

$$E_d = E \{ G_k; P; A_{Ed}; \psi_2 Q_k \}$$

**STATI LIMITE ESERCIZIO**

$$E_d \leq C_d$$

$E_d$  = valore progetto delle azioni sulla base delle combinazioni in esercizio

$C_d$  = valore limite di progetto del inteso di esercizio

Combinazione delle azioni

1) Combinazione caratteristica (SLE insensibili)

$$E_d = E \{ G_k; P; Q_k; \psi_0 Q_k \}$$

## ROBUSTEZZA STRUTTURALE

Una struttura deve essere progettata ed eseguita in modo tale da non essere danneggiata, in misura iperproporzionale rispetto alle cause da eventi come esplosioni, impatti e conseguenze di errori umani. Il danno provocato da tali eventi può essere evitato o contenuto con l'impiego di una o più delle seguenti strategie:

- evitando, limitando o riducendo i rischi cui la struttura può essere soggetta
- scegliendo una forma poco sensibile
- incatenando mutuamente le varie parti strutturali
- evitando sistemi che possono collassare senza preavviso
- scegliendo una forma strutturale che possa sopravvivere adeguatamente alle rimozione accidentale di parti limitate della struttura, o presso di danni localizzati.

Sopravvivenza tramite la robustezza s'intende capacità residua  $\Rightarrow$  richieste residue; le capacità residue, dopo l'evento, non sono niente d'altro che resistenza, deformabilità, duttilità, stabilità, P<sub>0</sub>/m<sub>0</sub>, rigidità.

In quanto il sistema strutturale può cambiare natura durante l'evento in funzione delle azioni, bisogna predisporre delle forme di sicurezza: risposte elastica flessionale

risposte plastica flessionale e membronale

} incremento  
a energia

L'analisi dello scenario di rischio, consiste nell'enumerare le cause di origine:

INTERNA: - grandi variazioni delle resistenze attese

- grandi variazioni delle proprietà di un prodotto in conseguenza di errori umani.

- errori umani nella concezione e nel progetto

ESTERNA: - esplosioni di gas

- impatto di veicoli

- Tsunami

- azioni Terroristiche

} sono azioni con grandi variabilità  
quindi si considerano il massimo  
evento audibile.

Le cause esterne possono agire in termini di forze o deformazioni e importante stabilire se sono dominanti le forze o le deformazioni.

## ● Elementi per la robustezza:

- 1- resistenza
- 2- monoliticità e solidazione
- 3- seconde linee di difesa
- 4- ipostaticità
- 5- duttilità rispetto a rottura fragile
- 6- allungo progressivo rispetto a (rippa stoppa)
- 7- capacity design ad elementi fusibili (gerarchie delle resistenze)
- 8- dispositivi sacrificiali e protettivi
- 9- scenario di knock-out

## ● 10- rigidità

- 11- inquadramento
- 12- resistenza post-buckling
- 13- attenzione ed intervento attivo
- 14- prove
- 15 - monitoraggio / controllo qualità
- 16 - dispositivi meccanici

d'impiego di questi elementi dipende dal tipo di evento e di risposta

- evento controllato da carico o da deformazione?
- evento ripetitivo?

## ● • condizione della struttura dopo l'evento?

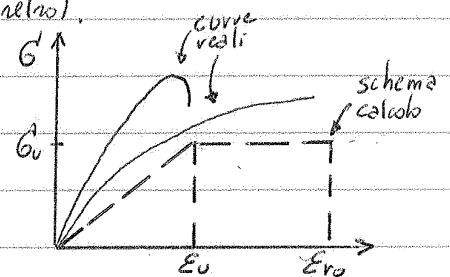
- limiti fisici di fono, ingiù, impatto, deformazione?



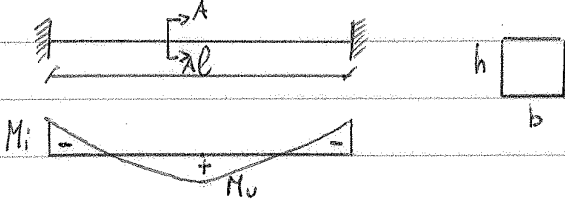
PLASTICITÀ

Nei materiali da costruzione il legame  $\sigma$ - $\epsilon$  assume forma sensibilmente differente da quella corrispondente a materiali elasto-fragili (retro).

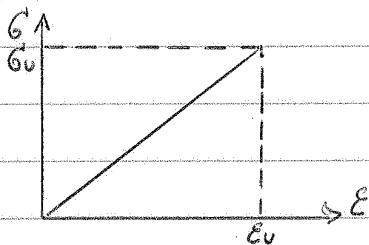
In tali materiali è presente, oltre al tratto elastico, una zona del diagramma in cui le Tensioni sono sensibilmente costanti al variare delle deformazioni. Tale comportamento è detto elasto-plastico.



da comette conoscenza delle risorse ultime implici le soluzioni del comportamento della struttura fino al unico di collasso, quindi in presenza di non-linearità della risposta. Anche il comportamento a rottura di una struttura composta da materiali elasto-fragile ed elasto-plastico.



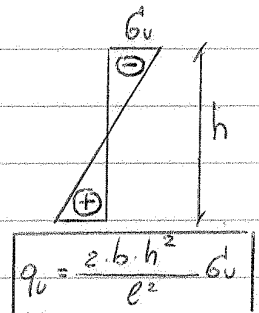
MATERIALE ELASTO-FRAGILE



$M_i = ql^2/12$        $M_u = ql^2/24$

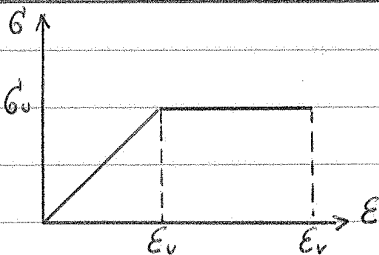
Il collasso si verifica per  $\sigma_{max} = \sigma_v$  pertanto nella sezione di incastro

$\sigma_v = M/W = \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{6}{bh^2} = \frac{ql^2}{2bh^2}$  da cui



$q_v = \frac{2 \cdot b \cdot h^2}{l^2} \cdot \sigma_v$

MATERIALE ELASTO-PLASTICO

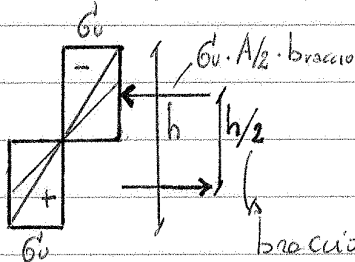


$M_i = M_u = \frac{ql^2}{8} \cdot \frac{1}{2} = \frac{ql^2}{16}$

nonché una ridistribuzione rispetto ai mom. elastici.

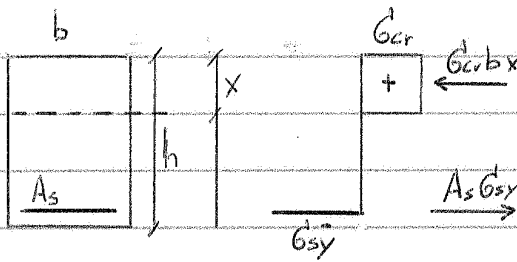
$M_u = \sigma_v \cdot \frac{bh}{2} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\sigma_v bh^2}{4} = \frac{ql^2}{16}$

$q_v = \frac{4b \cdot h^2}{l^2} \cdot \sigma_v$



Il diagramma Tensionale si modifica quando si entra in zona non lineare del diagramma  $\sigma$ - $\epsilon$ . La sezione completamente plasticizzata ha comportamento di cerniera con attrito.

braccio di leva delle coppie interne (con completa plasticizzazione)



$$\sigma_c^+ = 0 \quad \sigma_{sy}^+ = \sigma_{sy} \quad E_c = 3,5 \cdot 10^3$$

$$\sigma_c \cdot b \cdot x = A_s \cdot \sigma_{sy} \quad x = \frac{A_s \cdot \sigma_{sy}}{\sigma_c \cdot b}$$

$$M_p = A_s \cdot \sigma_{sy} \left( h - \frac{x}{2} \right)$$

► Comportamento Trave ipostatica durante plasticizzazione di una zona conformazione di una cerniera plastica:

Nella zona a forte

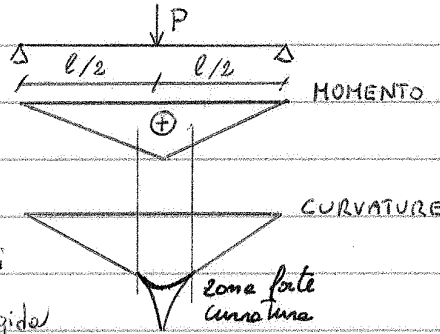
plasticizzazione tutto avviene

come se si fosse concentrata

una cerniera che, dotata di

attrito:  $M < M_p$  rimane rigida

$M = M_p$  mantiene valore del momento plastico e consente le rotazioni relative dei due tronchi



► Presenza del Toglio insieme alla flessione

Per strutture metalliche si considera una condizione di sovraccarico puntuale in termini di componenti normali e Tangenziali di Tensione:  $\sigma^2 + d^2 \tau^2 = \sigma_{sy}^2$   $d = 2$  TRESCA

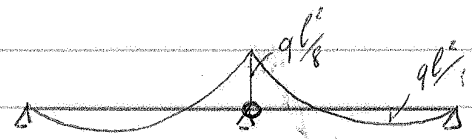
$d = \sqrt{3}$  VON MISES da presa in conto del Toglio è significativa solo per sezioni con  $\rho$  poco maggiore di 1 (IPE, HE) e può essere volutamente imponendo che il collasso avvenga per sole  $\sigma$  nelle piattobande e per combinazioni  $\sigma - \tau$  nelle anime. Qualora il Toglio sia sufficientemente basso da comportare Tensioni Tangenziali non

molto prossime al limite  $\sigma_{sy}/d$ , l'influenza del Toglio sul momento plastico è del tutto trascurabile.

► Calcolo collasso in strutture ipostatiche:

Si forma la prima cerniera plastica sull'appoggio a centrale e per gli ulteriori carichi, la struttura è

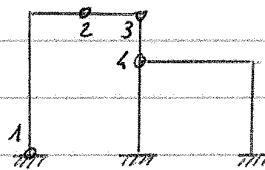
ipostatica. Da formazione della successiva cerniera plastica, porta la struttura a un meccanismo e collassa.



N.B. In una struttura n volte ipostatica occorrono n+1 cerniere plastiche per raggiungere il collasso.

- Collasso parziale:  $n=6$  oltre 4 cerniere plastiche

Ho collasso con 4 cerniere plastiche per meccanismo possiede 1



2) TEOR: Plasticizzando un numero sufficiente di sezioni ( $n+1$  cerniere plastiche) una struttura  $n$  volte ipostatica può essere trasformata in un meccanismo  $\rightarrow$  cinematicamente ammissibile. Si può allora trovare il carico che lo rende equilibrato, a meno del P.L.V.  $\rightarrow$  carico cinematicamente ammissibile.

Il carico limite è il minore tra quelli cinematicamente ammissibili, poiché ogni carico od esso superiore corrisponde un meccanismo di collasso differente ottenibile solo con un riassetto della struttura.

Lemma Feinber: se si riassetta un sistema ipostatico il carico limite non può diminuire. Il carico limite è il minore tra quelli ottenibili disponendo le cerniere in posizione arbitraria e calcolando carico di collasso (sovra stima)

①  $P \cdot \theta \cdot \frac{l}{2} = M_p 2\theta + M_p \theta \Rightarrow P_L = \frac{6 M_p}{l}$  soddisfa entrambi i criteri quindi è il carico di collasso, rispetta T. HUSTO

②  $P \theta \cdot \frac{l}{2} = M_p 2\theta + M_p 2\theta \Rightarrow P_L = \frac{8 M_p}{l}$  è più grande quindi non rispetta.

MOD. OPERATIVA: individuare un possibile meccanismo di collasso, determinare il corrispondente carico limite con il PLV, verificare che il diagramma di momento ultimo risulta staticamente ammissibile

3) TEOR: Se un carico  $P$  è cinematicamente e staticamente ammissibile è il suo carico limite  $\left. \begin{matrix} P_s, P_c \\ P_s, P_c \end{matrix} \right\} P = P_c$

Si consideri in pratica una struttura per la quale si abbia una distribuzione staticamente ammissibile dei fluttanti, tale che sia  $M = M_p$  in un numero di