

Ordine degli Ingegneri di Lecco

CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

«PROGETTARE EDIFICI IN ZONA SISMICA»

«CAPIRE» LE STRUTTURE

MODULO M2

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Ipogea Associati – Torino
ipogea.ass@gmail.com

Lecco 16/03/2017

LEZIONE 2

- **Caratteristiche di sollecitazione**
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO


Lecco 16/03/2017

2/85

LEZIONE 2

- **Caratteristiche di sollecitazione**
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

IL PROBLEMA DI GALILEO

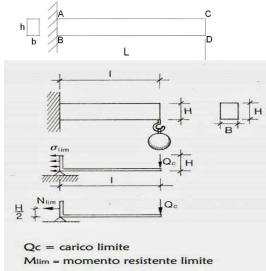


(1564-1642)

Stabilire delle regole che consentano di assegnare la **FORMA** e le **DIMENSIONI** degli elementi costruttivi, architettonici e "macchinari" aventi funzione strutturale, in modo che non si verifichino rotture per difetto di resistenza.

«Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze» (1638)

- Resistenza dei materiali e statica
- Dinamica, pendolo



Q_c = carico limite
 M_{lim} = momento resistente limite

Lecco 16/03/2017

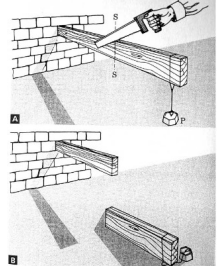
4/85

LEZIONE 2

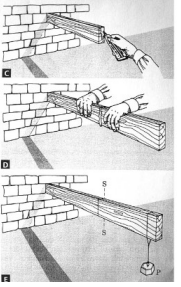
- **Caratteristiche di sollecitazione**
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

LE AZIONI INTERNE

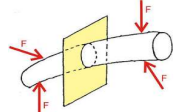
Taglio una struttura in equilibrio sotto l'effetto della gravità



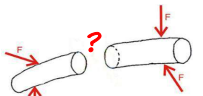
Usa un «collante» per ripristinare la continuità



Interruzione della continuità strutturale → «movimento»



Ripristino dell'equilibrio



Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

5/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LA «CURVA DELLE PRESSIONI»

E' il poligono delle successive risultanti di tutte le forze esterne agenti su una struttura, incluse le reazioni vincolari

La generica risultante R può essere «trasportata» al baricentro G di una generica sezione aggiungendo la coppia di trasporto C di momento $M = (R e) \dots$

6/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

...dopo il trasporto la risultante R può essere scomposta in due componenti ortogonali, una normale (N) l'altra tangente (T) alla sezione. M , N , e T sono le AZIONI INTERNE, le SOLLECITAZIONI che agiscono sulla sezione

CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE E EQUILIBRIO

Sono le azioni mutue che due parti di un corpo si «trasmettono» attraverso una sezione, in grado di mantenere in equilibrio le due parti se considerate isolate.

7/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

FORZA ASSIALE (SFORZO NORMALE) N

FORZA DI TAGLIO T

MOMENTO FLETTENTE M

Le **Caratteristiche di Sollecitazione (CdS)** sono riferite a un sistema (x, y, z) "locale" la cui origine degli assi è nel baricentro della sezione.

Convenzioni «positive» delle CdS: quelle indicate in figura

8/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

I DIAGRAMMI DELLE CdS

1. Schematizzare un modello «fil di ferro» (wireframe)
2. Definire vincoli e carichi
3. Calcolare le reazioni vincolari
4. Identificare i «punti notevoli» (punti di applicazione di forze/coppie, di variazione della geometria, del carico...)
5. Identificare alcune sezioni di ascissa arbitraria nei tratti compresi fra due «punti notevoli» successivi
6. Determinare con **equazioni di equilibrio parziali** le sollecitazioni (N, M, T) in tali sezioni
7. Usando le convenzioni tracciare i diagrammi M, N, T

11/85

LEZIONE 2

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Il modello "wireframe"

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

12/85

LEZIONE 2

LE EQUAZIONI DI EQUILIBRIO PARZIALI

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

1. Reazioni vincolari (imponendo $R = M = 0$)

2. Sezione di ascissa z arbitraria e convenzioni (+)

3. Equazioni di equilibrio **parziali** di ciascun tratto

$$\begin{cases} N_x(z) = 0 \\ T_y(z) + P = 0 & T_y(z) = -P \\ M_x(z) + Pz = 0 & M_x(z) = -Pz \end{cases}$$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

13/85

LEZIONE 2

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

4. Tracciamento dei i diagrammi di sollecitazione

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

14/85

LEZIONE 2

LA RIGIDEZZA FLESSIONALE

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Il modello strutturale a "fil di ferro" ("wireframe")

$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$ INFLESSIONE MASSIMA

$P = k \delta$

$k = \frac{3EI}{L^3}$

Materiale
Sezione
Geometria

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

15/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

RELAZIONI TRA $q(z)$, $T(z)$ e $M(z)$

$$T - (T+dT) - qdz = 0$$

$$-M + (M+dM) + qdz \frac{dz}{2} - Tdz = 0$$

trascurabile

$$dT = -qdz \quad \frac{dT}{dz} = -q$$

Il carico cambiato di segno è la derivata del taglio

$$dM = Tdz \quad \frac{dM}{dz} = T$$

Il taglio è la derivata del momento

$$T(z) = -\int q(z)dz + T(z=0) = \frac{qL}{2} - qz$$

$$M(z) = \int T(z)dz + M(z=0) = \frac{qL}{2}z - \frac{qz^2}{2}$$

$q = \text{cost}$

19/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LE CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE

$q = 0$	$T = \text{cost} = K_1$ M varia con legge lineare: $M(z) = K_1 z$	
$q \neq 0$ uniforme	T varia con legge lineare M varia con legge parabolica	

Dove $T = 0$ M è massimo/minimo

20/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

CARICHI DISTRIBUITI O CONCENTRATI?

$f_q = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$

$f_q = \frac{1}{8} \frac{qL^4}{EI}$

$f_p = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{8}{384} \frac{qL^4}{EI}$

$f_p = \frac{1}{3} \frac{PL^3}{EI} = \frac{1}{3} \frac{qL^4}{EI}$

$\frac{M_p}{M_q} = 2 \quad \frac{f_p}{f_q} = 1,6$

$\frac{M_p}{M_q} = 2 \quad \frac{f_p}{f_q} = 2,7$

21/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

DAL PIANO ALLO SPAZIO

NELLO SPAZIO:

UNA FORZA ASSIALE N_z
 DUE FORZE DI TAGLIO T_y
 DUE MOMENTI FLETTENTI rispetto agli assi x e y: M_x e M_y
 UN MOMENTO TORCENTE rispetto all'asse z: M_z

6 GRADI DI LIBERTA' = 6 Cds

22/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

IL MOMENTO TORCENTE



Coppie torcenti $M_y = M_z$

Stessa grandezza Verso opposto

SEZIONE CIRCOLARE
Sezione trasversale piana e indeformata



SEZIONE NON CIRCOLARE
Sezione trasversale non piana e deformata



TORSIONE

23/85

LEZIONE 2

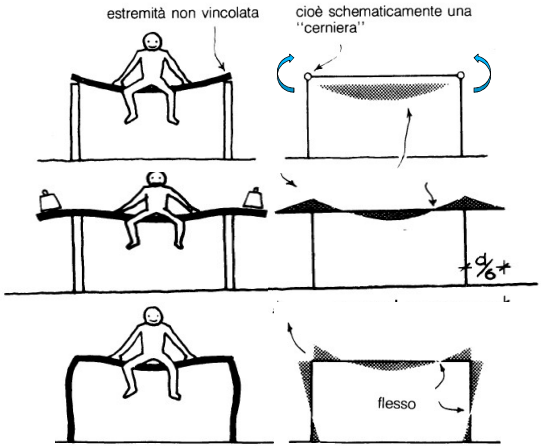
- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

AUMENTANDO IL GRADO DI VINCOLO...

estremità non vincolata cioè schematicamente una "cerniera"



si riducono le deformazioni (sinistra) e, di conseguenza, le «sollecitazioni» (destra)

24/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

IL «PERCORSO» DEI CARICHI




Le «ali» a sbalzo riducono le inflessioni, di conseguenza le sollecitazioni, al «centro»

25/85

LEZIONE 2

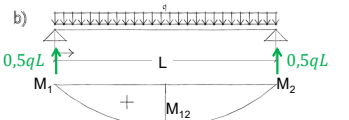
- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

SOLLECITAZIONI E CONTINUITA'

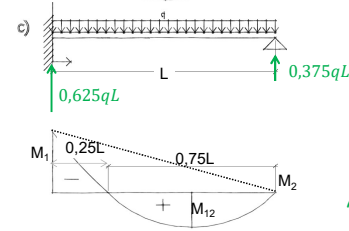
b) *Trave appoggiata*



$$M_1 = M_2 = 0$$

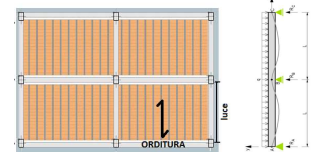
$$M_{12} = \frac{qL^2}{8}$$

c) *Trave incastrata ad un estremo ed appoggiata all'altro*



$$M_1 = -\frac{qL^2}{8}$$

$$M_2 = 0$$

$$M_{12} = q \frac{(0,75L)^2}{8} = \frac{qL^2}{14,2}$$


26/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

SOLLECITAZIONI E INFLESSIONI

b) *Trave appoggiata*

$$M_1 = M_2 = 0 \quad M_{12} = \frac{qL^2}{8}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EJ}$$

d) *Trave incastrata agli estremi*

$$M_1 = M_2 = -\frac{qL^2}{12} \quad M_{12} = \frac{qL^2}{24}$$

$$f = \frac{1}{384} \frac{qL^4}{EJ}$$

$$\left| \frac{qL^2}{12} \right| + \frac{qL^2}{24} = \frac{qL^2}{8}$$

$|M_{11}| + M_{12} \geq \frac{qL^2}{8}$

27/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LA «RIGIDEZZA RELATIVA» DEGLI ELEMENTI

L'estremità della trave del SIS. 1 «ruota meno» di quella del SIS-2

Il SISTEMA 1 è «più rigido» del SISTEMA 2

$$M_{11} - M_{c1} = 0 \quad M_{11} = M_{c1}$$

$$M_{12} - M_{c2} = 0 \quad M_{12} = M_{c2}$$

$$M_{11} > M_{12}$$

28/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

TENSIONI E DEFORMAZIONI

30/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

TENSIONI E DEFORMAZIONI

CORPO PERFETTAMENTE RIGIDO? **NON ESISTE!!!**

AZIONE DELLE FORZE ESTERNE

Il corpo cambia la configurazione iniziale

DEFORMAZIONE

ELASTICA
La deformazione del corpo è reversibile

PLASTICA
La deformazione del corpo è permanente

31/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

TENSIONI E DEFORMAZIONI

Carico appeso a un tondino di ferro che si deforma elasticamente

l'asta si allunga di $\Delta l = 0,5\text{mm}$

Se triplico il carico l'asta si allunga di tre volte: $\Delta l = 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ mm}$

Δl è direttamente proporzionale a P

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

32/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

TENSIONI E DEFORMAZIONI

- se dimezzo la lunghezza, oppure se raddoppio la sezione trasversale, l'asta si allunga di $\Delta l = 50\% \times 0,50 = 0,25 \text{ mm}$

- l'allungamento dipende dal materiale con cui è formata l'asta (più rigido diminuisce, più deformabile aumenta)

$$\Delta l = P \frac{L}{EA} \Rightarrow \frac{P}{\Delta l} = \frac{EA}{L} = K$$

K è la rigidità ASSIALE
E è il MODULO DI YOUNG

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

33/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

TENSIONI E DEFORMAZIONI

DEFORMAZIONE: rapporto tra l'allungamento e la lunghezza iniziale dell'asta. Il risultato è un numero puro, espresso in % o ‰.

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} [-]$$

$$\epsilon = \frac{1,5}{1000} \times 100 = 0,15\%$$

TENSIONE: intensità della forza P distribuita sull'area A

$$\sigma = \frac{P}{A} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad \text{Intensità della forza P distribuita sull'area A}$$

$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

34/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

LA CONCENTRAZIONE DELLE TENSIONI

Balanced Rock, Arches National Park (photo courtesy P.M. Anderson)

FORZA ASSIALE

Distribuzione uniforme delle tensioni (indipendentemente dalla modalità di applicazione del carico)

PRINCIPIO DI DE SAINT-VENANT

ECCEZIONE vicino al punto di applicazione del carico

Punto di applicazione → Tensioni grandi → Deformazioni grandi

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

35/85

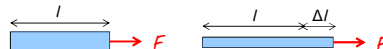
LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- **Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

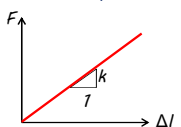
Lecco 16/03/2017

L'ELASTICITA' LINEARE



LEGGI DI HOOKE: «sic (ex)tensio ut vis»
 $F = k \Delta l$


Δl è proporzionale a F per mezzo della costante k




$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{k \Delta l}{A} \cdot \frac{l}{l} = \frac{k}{A} \left(\frac{\Delta l}{l} \right) = E \cdot \epsilon$ [MPa, N/mm²]

$k = \frac{EA}{l}$ ϵ - DEFORMAZIONE (% , %)

RIGIDEZZA ASSIALE



(1635-1703)



36/85

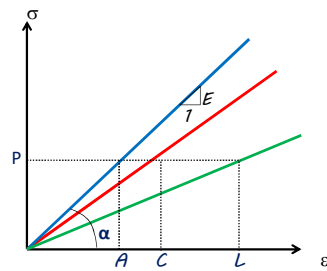
LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- **Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

MODULO DI ELASTICITA' LONGITUDINALE



A parità di forza F , i materiali si deformano diversamente

↓

Più grande E , più «rigido» il materiale

$\alpha = \arctg(E)$

$E_{acciaio} = 210 \text{ kN/mm}^2$ $\alpha_{acciaio} = \arctg 210 = 89,7^\circ$

$E_{cls} \approx 21 - 35 \text{ kN/mm}^2$ $\alpha_{cls} = \arctg 21 = 87,3^\circ$

$E_{legno} = 10 \text{ kN/mm}^2$ $\alpha_{legno} = \arctg 10 = 84,3^\circ$

37/85

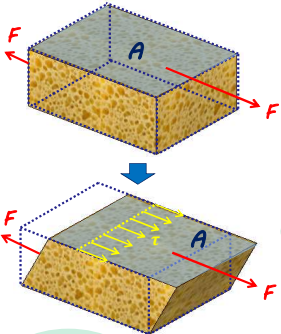
LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- **Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

TENSIONI E DEFORMAZIONI



Coppia di forze F : la superficie A si sposta

La spugna si deforma

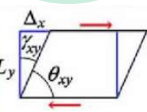
TENSIONE TANGENZIALE
 $\tau = \frac{F}{A}$ [$\frac{N}{mm^2}$] [MPa]

SCORRIMENTO ANGOLARE
 $\frac{\Delta x}{L_y} = \text{tg } \nu \cong \nu$

$\tau = G \nu$ [MPa, N/mm²]

$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ ν = coefficiente di Poisson

FORZA DI TAGLIO



38/85

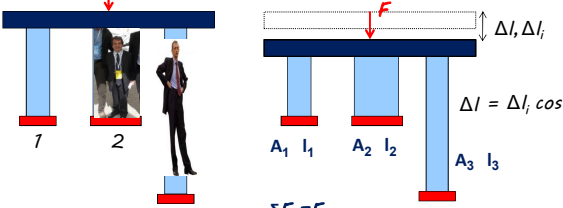
LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- **Tensioni e deformazioni**
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LE STRUTTURE IN PARALLELO: IL «MUTUO SOCCORSO»




$\Delta l = \Delta l_i \text{ cost}$

$\Sigma F_i = F$

$F_i = k_i \Delta l_i = k_i \Delta l$ $k_i = E A_i / l_i$

$\Sigma(k_i \Delta l) = \Delta l \Sigma k_i = F$

$F_i = \frac{k_i}{\Sigma k_i} F$



«Da ognuno secondo le proprie capacità, a ognuno secondo i suoi bisogni» (K. Marx)

39/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

IL «MUTUO SOCCORSO»

«Ognuno secondo le sue possibilità, ognuno secondo i suoi bisogni» (K. Marx)

$\Sigma F_i = F \quad F_i = \frac{k_i}{\Sigma k_i} F$
 $F_1 + F_2 + F_3 = F$
 $\Sigma k_i = \frac{EA}{l} (1+2+0,5) = 3,5 \frac{EA}{l}$
 $F_1 = \frac{1}{3,5} F = 29\% F$
 $F_2 = \frac{2}{3,5} F = 57\% F$
 $F_3 = \frac{0,5}{3,5} F = 14\% F$

$k_1 = \frac{EA}{l}$
 $k_2 = \frac{E(2A)}{l} = 2k_1$
 $k_3 = \frac{EA}{2l} = 0,5k_1$

40/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

41/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

IL FLUSSO DELLE FORZE

Il carico neve percorre tutta la struttura ossea del corpo fino ad arrivare a terra ove viene equilibrato

42/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

IL FLUSSO DELLE FORZE

Diagramma «free body» della pala

CASO 1 CASO 2

Cambia nei due casi la forza che sollecita la mano A? NO
Rispetto al punto d'applicazione di P: $M = A(2u) - B(6u) = 0$

43/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

Carico dovuto al peso del bambino
= Carico puntuale (distribuito lungo i bracci del sediolino)

SCHEMA STRUTTURA

VINCOLO MONOLATERO

44/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

PERCORSO INTUITIVO DELLE FORZE (ATTENTI AL MONACO!)

SCHEMA STRUTTURA

REAZIONI VINCOLARI

45/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

Sede F.A.T.A. Engineering
-MODELLO FREE BODY-

-FLUSSO DEI CARICHI-

46/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

Palazzo Lancia
Torino (TO)

Trave VIERENDEEL

47/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

Palazzo Lancia

Flusso delle azioni interne

Modello FREE BODY

48/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

Flusso del carico

Modello FREE BODY

49/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

Ponte di Novalesa (TO)

SCHEMA STRUTTURA

La geometria suggerisce quali elementi sono tesi e quali compressi

50/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- **Schemi strutturali**
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Varese 23/09/2016

GLI SCHEMI STRUTTURALI

FLUSSO DEI CARICHI

MODELLO FREE BODY

51/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- **Stati limite**
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

GLI STATI LIMITE

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

53/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- **Stati limite**
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

GLI STATI LIMITE

EVENTO ➔ *Influisce sullo stato di una struttura*

STATO LIMITE

condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata

- ➔ SICUREZZA
- ➔ FUNZIONALITA'
- ➔ DURABILITA'
- ➔ ROBUSTEZZA/RESILIENZA

QUADRO NORMATIVO

- ➔ NTC2008
- ➔ EUROCODICI

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

54/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- **Stati limite**
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

I REQUISITI

SICUREZZA
la struttura deve resistere alle azioni statisticamente prevedibili in un dato periodo di tempo (50, 100 o 200 anni)

FUNZIONALITA'
la struttura deve soddisfare gli scopi per cui è stata progettata

DURABILITA'
la struttura deve continuare a fornire le sue prestazioni nel tempo tenendo conto delle «condizioni ambientali»

ROBUSTEZZA/RESILIENZA
la struttura non si deve danneggiare eccessivamente a seguito di eventi eccezionali (urti, impatti, esplosioni)

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

55/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- **Stati limite**
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

GLI STATI LIMITE

STATI LIMITE

- ➔ **ULTIMI SLU (ULS)**
Protezione della struttura e/o della popolazione
- ➔ **DI ESERCIZIO SLE (SLS)**
Funzionalità della struttura, comfort ed estetica

- Crolli;
- Perdite di equilibrio;
- Dissesti gravi;
- ...

- Deformazione;
- Vibrazione;
- Fessurazione;
- ...;

Carattere irreversibile (COLLASSO)
CODICE PENALE

Carattere irreversibile o reversibile
CODICE CIVILE

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

56/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

GLI STATI LIMITE E LA VITA NOMINALE

SLU

SLE

Non devono essere superati nel corso della **vita nominale V_N** dell'opera

↓

VERIFICHE

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

57/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

VITA NOMINALE E NTC2008

Vita nominale V_N → numero di **anni** nel quale la struttura deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

↑ V_N → ↑ Probabilità di collasso e/o di deterioramento

NTC2008 - Cap. 2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

Tabella 2.4I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

↓

$V_N = 50$ anni → Per le **opere ordinarie**

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

58/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

VERIFICA AGLI STATI LIMITE

SLU → **METODO DEI COEFFICIENTI PARZIALI**

$R_d \geq E_d$

Resistenza di progetto ← Valore «di progetto» delle azioni

$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$ ← **COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI γ** considerano la variabilità delle grandezze

$E_d = \gamma_E E$

SLU → **CONTROLLO DI FUNZIONALITA', APPARENZA e DURATA: deformazione, fessurazione e tensione**

SLE

EQU Stato limite di equilibrio come corpo rigido
STR Stato limite di resistenza della struttura
GEO Stato limite di resistenza del terreno

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

60/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- Durabilità
- Azioni sulle costruzioni

LA DURABILITA'

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

61/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LA DURABILITA'

DURABILITA' → *NEL TEMPO* / *NELL'AMBIENTE* → **PRESTAZIONI**

PRESTAZIONI: RESISTENZA, FUNZIONALITA', ASPETTO ESTETICO

FACTORS: DETTAGLI COSTRUTTIVI, MATERIALI ADEGUATI, QUALITA' ESECUTIVA, MANUTENZIONE

62/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LA DURABILITA' DELLE STRUTTURE IN CLS

CAUSE DEL DEGRADO: Anidride carbonica, Cloruri, Acqua del mare, Attacco chimico, Cicli di gelo e disgelo, Variazioni termiche, Dilavamento

63/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LA DURABILITA' DELLE STRUTTURE IN CLS

Corrosione da cloruri

64/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

LA DURABILITA' DELLE STRUTTURE IN CLS

Corrosione da carbonatazione

Importanza della forma e del copriferro

65/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

LA DURABILITA' DELLE STRUTTURE IN CLS

SEZIONI COMPATTE

Massimizzare lo spessore fittizio

$$h_0 = 2A_c/u$$

$u =$ perimetro a contatto con l'aria della sezione d'area A_c

NTC2008 11.2.1.0.6

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

66/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

LA DURABILITA' DELLE STRUTTURE IN CLS

Classi di esposizione **EC2**

1 Nessun rischio di corrosione delle armature o di attacco del calcestruzzo		
X0	Calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici; tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Calcestruzzo con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Elementi all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa, calcestruzzo non armato all'interno di edifici o immerso in suolo o in acqua non aggressive.
2 XC Corrosione indotta da carbonatazione		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa. Calcestruzzo con parti esposte a condensa o costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Fondazioni in terreno non aggressivo
XC3	Umidità dell'aria moderata o elevata	Calcestruzzo all'interno di edifici. Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo all'esterno con superfici soggette ad alternanza asciutto/umido; calcestruzzi a viaia in ambienti urbani; superfici a contatto con acqua non nella classe di esposizione XC2
3 XD Corrosione indotta da cloruri		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina e parti di viadotti e ponti esposti a spruzzi d'acqua contenente cloruri
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine. Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti e viadotti esposti direttamente agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Pavimentazioni stradali e di parcheggi
4 XS Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine completamente immerse
XS3	Zone esposte alle onde, agli spruzzi oppure alle maree	Parti di strutture marine esposte alla battaglia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde di mare

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

67/85

LEZIONE 2

- Caratteristiche di sollecitazione
- Tensioni e deformazioni
- Schemi strutturali
- Stati limite
- **Durabilità**
- Azioni sulle costruzioni

LA DURABILITA' DELLE STRUTTURE IN CLS

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Lecco 16/03/2017

68/85

Ordine degli Ingegneri di Lecco

CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE

«PROGETTARE EDIFICI IN ZONA SISMICA»

«CAPIRE» LE STRUTTURE

MODULO M2

Francesco BIASIOLI
Stefano ROSTAGNO

Ipogea Associati –Torino
ipogea.ass@gmail.com

Lecco 16/03/2017