



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 477

DATA : 18/02/2013

A P P U N T I

STUDENTE : Muru

MATERIA : Strutture Aerodinamiche
Prof. Di Sciuva

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.**

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad \text{DEFORMAZIONE}$$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} = E \cdot \epsilon \quad \text{SFORZO}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} ; \quad E = \frac{1}{3} \alpha \quad \nu \approx 0,3 \div 0,35$$

- ϵ_{RES} = ALLUNGAMENTO RESIDUO A PROVA FINITO SCARICO
- ϵ_{EL} = ALLUNGAMENTO ELASTICO ($\epsilon = \epsilon_{RES} + \epsilon_{EL}$)
- ϵ_R = ALLUNGAMENTO A ROTTURA ($\epsilon_R = A_p + \epsilon_{EL}$)
- σ_p = TENSIONE AL LIMITE DI PROPORZIONALITÀ
- σ_s = TENSIONE DI SNERVAMENTO
- σ_R = TENSIONE DI ROTTURA
- $\sigma_{0,2}$ = TENSIONE CHE INDUCE UNA DEF. RESIDUA $\epsilon_{RES} = 0,02 \approx 0,2\%$
- A_p = ALLUNGAMENTO PERCENTUALE A ROTTURA
- L_R = LUNGHEZZA DI ROTTURA ($L_R = \frac{\sigma_R}{\epsilon}$)

LEGHE DI ALLUMINIO

- SAE 2024 • ALU + RAME (+ MAGNESIO + MANGANESE + ZINCO)
DURAL
(3-5%)
CAMPO PLASTICO SUPERIORE ALL' ERGAL, MAGGIOR DUTTILITÀ

- SAE 7075 • ALU + ZINCO (+ MAGNESIO + MANGANESE + RAME)
ERGAL
(3-6%)

SUPPORTA CARICHI MAGGIORI CON UNA DEF. MINORE

| | γ | E | σ_R |
|------------|----------|-------|------------|
| • MAGNESIO | 1,8 | 4600 | 30 |
| • TITANIO | 4,5 | 10500 | 110 |
| • ACCIAIO | 7,8 | 21000 | 120 |

| | γ | σ_R $\frac{kg}{mm^2}$ | E $\frac{kg}{mm^2}$ | A _p | (K _m) | ALLIGANTI |
|------------|----------|------------------------------|---------------------|----------------|-------------------|-------------------------|
| 2024 DURAL | 2,8 | 42-45 | 7300 | 15 | 15 | +Cu (3-6%) +Mg, +Mn |
| 7075 ERGAL | 2,8 | 55-65 | 7300 | 10 | 23 | +Zn (3,5-6%) +Mg +Mn |

| | σ_p $\frac{kg}{mm^2}$ | σ_s $\frac{kg}{mm^2}$ | σ_R $\frac{kg}{mm^2}$ | G | ν |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|-------|
| 2024 DURAL | 20 | 30 | 45 | 2800 | 0,3 |
| 7075 ERGAL | 30 | 45 | 60 | 2800 | 0,3 |

• INSTABILITÀ LOCALE



$$\sigma_{cr} = \frac{\sigma_s}{1 + K\beta \frac{\sigma_s}{E}}, \text{ dove}$$

σ_s = tensione di snervamento
 E = modulo elastico o di young
 K = PARAMETRO DI FORMA
 β = INDICE DI SPESORE

$$K = \begin{cases} 3 & \text{sezione chiusa} \\ 8,5 & \text{sez. aperta} \end{cases}$$

$\beta = \frac{d}{s}$ dove d è, se presente, il lembo libero della struttura tale che il rapporto d/s sia il più grande possibile.

LE SEZIONI CONSIDERATE DEVONO ESSERE IN PARETE SOTTILE

• INSTABILITÀ GLOBALE ASTE COMPRESSE

definisco la snellezza A come $A = \frac{L}{\rho}$ dove L = lunghezza efficace

$L = P \cdot C$ (P = longh. reale, C = coeff di vincolo)

$\rho = \sqrt{I/S}$ → l'asta se si inflette lo Fz nel piano di minima inerzia

definendo $A_{lim} = \pi \sqrt{E \sigma_p}$

se $\begin{cases} A > A_{lim} & \rightarrow \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{A^2} \\ A < A_{lim} & \rightarrow \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{A^2} \end{cases}$

ASTE CORTE

- JOHNSON $\sigma_{cr} = \sigma_s - \frac{\sigma_s^2 A^2}{4\pi^2 E}$
- Modulo tangente $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{A^2}$

E_t = modulo tangente = $\frac{1}{g}(\beta)$

• INSTABILITÀ TORSIONALE

G = rigidità torsionale = $\frac{E}{2(1+\nu)}$

$$\sigma_{cr} = G \cdot \frac{J_t}{J_p}, \text{ dove:}$$

J_t = fattore di rigidità torsionale

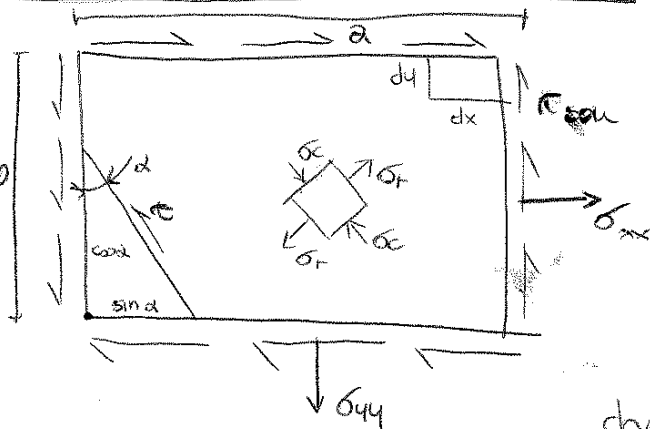
J_p = momento d'inerzia polare = $J_{p0} + A(x_{cr}^2 + y_{cr}^2)$

• INSTABILITÀ DI ASTE COMPRESSE

$\sigma_{cr} = E \left(\frac{h}{b}\right)^2 K$, dove K = parametro di carico critico (ricevibile dal grafico)
 b = lato carico
 h = spessore piastra

$K = \dots$
 DIPENDE DAL FATTORE DI BUCKLING $\nu \left(\frac{a}{b}\right)$
 E DALLE CONDIZIONI DI VINCOLO.

• PANNELLO SOLLECITATO A TAGLIO



| | TANG. PURO $\tau_s < \tau_{cr}$ | DIAG. PARZ $\tau_s \geq \tau_{cr}$ | DIAG. COMPLET $\tau_s \geq \tau_{cr}$ |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| σ_t | τ_{sol} | $2\tau_s - \tau_{cr}$ | $2\tau_s$ |
| σ_c | τ_{sol} | τ_{cr} | 0 |
| σ_{xx} | 0 | $\tau_s - \tau_{cr}$ | τ_s |
| σ_{yy} | 0 | $\tau_s - \tau_{cr}$ | τ_s |

dove $\tau_{cr} = EK_t \left(\frac{s}{b}\right)^2$

con K_t = coeff di ingobbamento
 s = spessore
 b = lato minore
 E = modulo di Young.

FEM: BEAM (TRAVE)

1

- ASSEGNARE I GDL AI NODI: $q \begin{Bmatrix} w_1 \\ \theta_1 \\ w_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix}$
- CREARE IL VETTORE DEI CARICHI NODALI O CALCOLARE IL VETTORE EQUIVALENTE
- data $[K]$,

$$P = P_N + P_Q + P_R = \begin{Bmatrix} F_1 \\ C_1 \\ F_2 \\ C_2 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_{EQ} \\ C_{EQ} \\ F_{2EQ} \\ C_{2EQ} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} R_1 \\ R_{c1} \\ R_2 \\ R_{c2} \end{Bmatrix}$$

$$[K] \cdot \{q\} = \{P\} \rightarrow \{R\} \cdot [K_{FF}]^{-1} = \{q_{FF}\}$$

$$\rightarrow \{q_{FF}\} \cdot [K_{FV}] = \{R_V\}$$

→ VALUTARE $W(x_p)$ e $\theta(x_p)$

$$W(x) = [H_1 \quad H_2 \cdot L \quad H_3 \quad H_4 \cdot L] \cdot \{q\}$$

$$\theta(x) = W_{,x}(x) = \frac{1}{L} [H_{1,3} \quad L H_{2,3} \quad H_{3,3} \quad L H_{4,3}] \cdot \{q\}$$

Svilgo e sostituisco $z = x_p/L$

→ VETTORE DEI CARICHI NODALI EQUIVALENTI

si uguaglia il lavoro delle forze applicate sull'elemento a quelle che si genererebbero ai nodi

* LAVORO EFFETTIVO

$$\delta e = (W(x=x_p))^T \cdot P = \{q\}^T [H(x_p)]^T P \quad \text{Forze}$$

$$\delta e = (W_{,x}(x_p))^T \cdot C = \{q\}^T [H_{,x}(x_p)]^T C \quad \text{Coppie}$$

$$\delta e = \left(\int_{x_1}^{x_2} \bar{q} \cdot W(x) \right)^T = q \int \{q\}^T [H(x)]^T \quad \text{Carico distribuito tra } (x_i \text{ e } x_e), \text{ int. } \bar{q}$$

* LAVORO EQUIVALENTE

$$\delta e = \{q\}^T \cdot [F_1^e \quad C_1^e \quad F_2^e \quad C_2^e]^T$$

uguagliando i lavori e risolvendo trovo i carichi equivalenti da applicare

→ PROPRIETA' DELL'ELEMENTO BEAM

- n° e tipo di GDL nodi
- 4 GDL, 2 rappresentano la freccia ai nodi (w_1 e w_2) e gli altri 2 rappresentano la rotazione della sezione (θ_1 e θ_2) $\rightarrow \{q\}^T = \{w_1, \theta_1, w_2, \theta_2\}^T$
- Proprietà delle funzioni di forma
 - complete in energia \rightarrow (devono essere L.I. e soddisfare singolarmente le c.c. geometriche)
 - completi \rightarrow (devono assicurare un campo di spostamenti e deformaz. uniforme)
 - compatibili e conformi \rightarrow (LE FUNZ. DI FORMA DEVONO ESSERE CONTINUE CON DERIVATA CONTINUA)
 - $\sum N = 1$

• PASSAGGI PER OTTENERE LA MATRICE DI RIGIDETA' GLOBALE, A PARTIRE DALL'ENERGIA ELASTICA:

$$\Phi_B = \frac{1}{2} \int_V \sigma_x \epsilon_x dv = \frac{1}{2} \int_V Q_{11} \epsilon_x^2, \quad \text{con } \epsilon_x = -z W_{,xx} \quad \text{e } W_{,xx} = ([N] \{q\})_{,xx} = [N_{,xx}] \{q\}$$

sostituisco

$$[K] = \int_L \left(\int_A z^2 [N_{,xx}]^T Q_{11} [N_{,xx}] da \right) dx = \int_L [N_{,xx}]^T \left(\int_A z^2 Q_{11} da \right) [N_{,xx}] dx = D_{11} \int_L [N_{,xx}]^T [N_{,xx}] dx$$

SUPPONENDO SEZ. RETTANGOLARE, CON MAT. ISOTROPICO E OMOGENEO

$$D_{11} = EJ_y \quad \rightarrow \quad [K^b] = \frac{EJ_y}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ -6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

EQ COSTITUTIVE DELLA PIASTRA DI KIRCHHOFF

$$\begin{aligned} dN^T &= [A] d\epsilon^{(0)} + [B] dk^{(0)} \\ dM^T &= [B] d\epsilon^{(0)} + [D] dk^{(0)} \end{aligned} \quad \text{dove} \quad d\epsilon^{(0)} = \begin{bmatrix} u_{,x} \\ v_{,y} \\ u_{,y} + v_{,x} \end{bmatrix}; \quad dk^{(0)} = \begin{bmatrix} -w_{,xx} \\ -w_{,yy} \\ -2w_{,xy} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} [A] &= \langle Q_p \rangle \\ [B] &= \langle z Q_p \rangle \\ [D] &= \langle z^2 Q_p \rangle \end{aligned}$$

- $d\epsilon^T$ = vettore degli spostamenti
 dk^T = vettore delle curvature

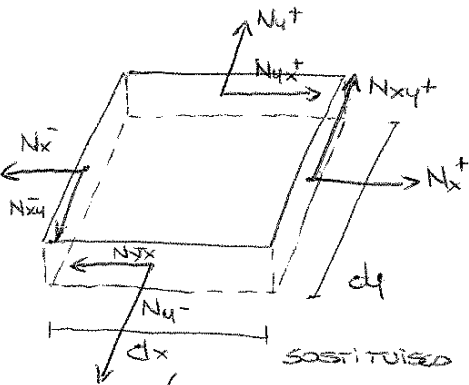
[A] = matrice delle rigiditàe membrandi
 [B] = // // // // di accoppiamento
 [D] = // // // // fieno-torsionali
 [Q_p] = // // // // ridotte

X IL CALCOLO

$$\begin{aligned} [A] &= \sum Q_p^k h^k \\ [B] &= \sum Q_p^k \left(\frac{z^{k+2} - z^k}{2} \right) \\ [D] &= \sum Q_p^k \left(\frac{z^{k+3} - z^{k-1}}{3} \right) \end{aligned}$$

RICAVARE EQ ALLA TRASL IN TERMINI DI FORCE

considero il conca di piastra



dove $N_{xy} = N_{yx}$
 considero gli equilibri:

$$\begin{aligned} (N_x^+ - N_x^-) dy + (N_{xy}^+ - N_{xy}^-) dx &= 0 \\ (N_y^+ - N_y^-) dx + (N_{xy}^+ - N_{xy}^-) dy &= 0 \end{aligned}$$

Sviluppo in serie gli sforzi sulle facce positive

$$\begin{aligned} N_x^+ &= N_x^- + N_{x,x} dx & N_{xy}^+ &= N_{xy}^- + N_{xy,x} dx \\ N_y^+ &= N_y^- + N_{y,y} dy & N_{xy}^+ &= N_{xy}^- + N_{xy,y} dy \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (N_x^- - N_x^- + N_{x,x} dx) dy + (N_{xy}^- - N_{xy}^- + N_{xy,x} dx) dx &= 0 \\ (N_y^- - N_y^- + N_{y,y} dy) dx + (N_{xy}^- - N_{xy}^- + N_{xy,y} dy) dy &= 0 \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} N_{x,x} + N_{xy,y} = 0 \\ N_{y,y} + N_{xy,x} = 0 \end{cases}$$

PIASTRA CROSSLY RETANGOLARE SIMMETRICA CENTRICAMENTE APPOGGIATA

Condiz. al contorno: $x=0, a \rightarrow w=0, M_x=0$ (APPoggio semplice)
 $y=0, b \rightarrow w=0, M_y=0$

ESPLICITO LE CONDIZIONI AL CONTORNO IN FUNZIONE DI W.

SEMPLIFICAZIONI PER PIASTRE SIMMETRICHE

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{12} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -w_{,xx} \\ -w_{,yy} \\ -2w_{,xy} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} M_x = -w_{,xx} \cdot D_{11} - w_{,yy} \cdot D_{12} = 0 \\ M_y = -w_{,xx} \cdot D_{12} - w_{,yy} \cdot D_{22} = 0 \end{cases}$$

LA SOLUZIONE POSSIBILE E':

$$\begin{aligned} w_{,xx} &= 0 \\ w_{,yy} &= 0 \end{aligned}$$

quindi cc. $x=0, a \rightarrow w=0, w_{,xx}=0$
 $y=0, b \rightarrow w=0, w_{,yy}=0$

SOLUZIONE: suppongo di sviluppare la soluz. in serie $W^{(0)} = \sum_m \sum_n W_{mn} \cdot \sin(\lambda_m x) \cdot \sin(\lambda_n y)$; $\lambda_m = \frac{m\pi}{a}$, $\lambda_n = \frac{n\pi}{b}$

VERIFICO CHE LE CC SIANO SODDISFATTE

$$\begin{aligned} W^{(0)}(0) = W^{(0)}(a) = 0 &; W_{,xx} = -\lambda_m^2 W^{(0)} \rightarrow W_{,xx}(0) = W_{,xx}(a) = 0 \\ W^{(0)}(0) = W^{(0)}(b) = 0 &; W_{,yy} = -\lambda_n^2 W^{(0)} \rightarrow W_{,yy}(0) = W_{,yy}(b) = 0 \end{aligned}$$

SVILUPPO IL CARICO IN FUNZIONE DI SENI

$$\bar{q}_z = \sum_m \sum_n q_{mn} \cdot \sin(\lambda_m x) \cdot \sin(\lambda_n y) \quad \text{dove} \quad q_{mn} \begin{cases} \text{DISTRIBUITO } \bar{q} & \left\{ \begin{aligned} 0 &\text{ se } m \text{ o } n \text{ dispari} \\ \frac{\bar{q}_0 \cdot 16}{\pi^2 mn} &\text{ per } m \text{ e } n \text{ pari} \end{aligned} \right. \\ \text{CONCENTRATO } (x_c, y_c) & (2Q_c/ab) \cdot \sin(\lambda_m x_c) \sin(\lambda_n y_c) \end{cases}$$

CALCOLO:

$$W_{,xxxx} = \lambda_m^4 W^{(0)}; \quad W_{,yyyy} = \lambda_n^4 W^{(0)}; \quad W_{,xxyy} = \lambda_m^2 \lambda_n^2 W^{(0)}$$

SOSTITUISCO NELL'EQUAZIONE DI EQUILIBRIO TRASVERSALE

$$D_{11} W_{,xxxx} + 2(D_{12} + D_{66}) W_{,xxyy} + D_{22} W_{,yyyy} = \bar{q}_z$$

SEMPLIFICO E METTO IN EVIDENZA W_{mn}

$$W_{mn} = \frac{q_{mn}}{D_{11} \lambda_m^4 + 2(D_{12} + 2D_{66}) \lambda_m^2 \lambda_n^2 + D_{22} \lambda_n^4}$$

RICAVATO W_{mn} , LO SOSTITUISCO IN (*) OTTENGO LA SOLUZIONE ESATTA DEL PROBLEMA

DOMANDE

- INST TORS DI TRAVE I *
- CRITERIO DI NON DISTACCO
- METODO DI RAYLEIGH-RITZ
- DIAGRAMMA DEL DURAL e GR
- CRITICI DELL'ASSEMBLAGGIO (congruenza ai nodi equilibrio tensioni)
- CARICHI NODALI DI UN'ASTA
- ESERCIZIO con ASTA e molle *
- FAIL SAFE ETCC.
- PASTRA STIFFE

L

VERIFICA A ROBUSTEZZA

(2)

def. ROBUSTEZZA: capacità di sopportare i carichi per la quale la struttura è stata pensata, senza rompersi.

PROCEDURA

- Scelta delle condizioni operative e valutazione dei carichi a contingenza che agiranno sulla struttura
- Scelta di un modello che approssimi la struttura reale, che sia compatibile con essa, su cui poi andremo ad applicare i carichi determinati precedentemente.
- Valutazione delle sollecitazioni indotte sulla struttura e verifica della robustezza.

• VERIFICA: 2 criteri

$$\textcircled{A} \quad \frac{\sigma_s}{\sigma_L K_L} \geq 1 \quad \begin{matrix} \nearrow \\ \sigma_R < \sigma_s \\ \sigma_s = \frac{\sigma_R}{K_R} \end{matrix}$$

$$\textcircled{B} \quad \frac{\sigma_R}{K_R K_L} \geq 1 \quad \begin{matrix} \searrow \\ \sigma_s > \sigma_R \\ \sigma_s = \frac{\sigma_R}{K_R} \end{matrix}$$

K_L = coeff di SICUREZZA

K_R = " " " A ROTURA

σ_L = TENSIONE di LAVORO

σ_R = " " A ROTURA

σ_s = " " di SOTTOLAVORO

$$\frac{K_L}{K_R} \rightarrow \text{NORMATIVA}$$

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_s} = \text{MARGINE}$$

~~PLATE~~ PASTRE STIFFENED



IPOTESI: • CORRENTI UNIFORMEMENTE SPALMATI

- STESSO MATERIALE E SEZIONE TRASVERSALE
- NO EFFETTI DI TORSIONE DEI CORRENTI

• GENERICO CORRENTE

$$N_{xx,i}^c = \int_{Ac} \sigma_{xx,i}^c da \quad e \quad M_{xx,i}^c = \int_A z \sigma_{xx,i}^c da$$

$$N_{xx,i}^c = E_c A_c \epsilon_{xx}^{(c)} + E_c A_c e_c K_{xx}^{(c)}$$

$$M_{xx,i}^c = E_c A_c e_c \epsilon_{xx}^{(c)} + E_c (I_{gc} + e_c^2 A_c) K_{xx}^{(c)}$$

dove $I_{gc} = \frac{bh^3}{12}$

da cui si trovano le matrici di rigidità equivalenti a un irrigidimento su una piastra di larghezza b

$$[A] = \sum_{j=1}^H [A_j] \cdot \frac{1}{b}$$

$$[A_i] = \begin{bmatrix} E_c A_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} E_c A_c e_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[B] = \sum_{j=1}^H [B_j] \cdot \frac{1}{b}$$

dove

$$[D] = \sum_{j=1}^H [D_j] \cdot \frac{1}{b}$$

$$[D_i] = \begin{bmatrix} E_c (I_{gc} + e_c^2 A_c) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

SE SONO PRESENTI IRRIGIDIMENTI LUNGO Y LA MATRICE E' ANALOGA:

es

$$[A_{ii}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_c A_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{a}$$

PER IRRIGIDIMENTI SIMMETRICI $[B] = 0$

INSTABILITÀ PIASTRE

CARICO DI BIFORCAZIONE

$$\bar{R}_{cr} = \frac{\lambda_m^4 D_{11} + \lambda_m^2 \lambda_n^2 \cdot 2(D_{12} + 2D_{66}) + \lambda_n^4 D_{22}}{\lambda_m^2 + R \lambda_n^2}$$

$$R = \frac{b^4}{a^4}$$

$$\lambda_m = \frac{m\pi}{a}$$

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{b}$$

Problema agli autovalori

PANNELLO ISOTROPO IN COMPRESSIONE ASSIALE LUNGO X

$$\sigma_{cr} = E \left(\frac{h}{b}\right)^2 \frac{K}{12(1+\nu^2)} \left(\frac{mb}{a} + \frac{an^2}{mb}\right)^2 \pi^2$$

$r = \frac{a}{b} \rightarrow$ FATTORE DI BIERLING

σ_{cr} è minimo se K è minimo $\rightarrow m=n=1$

$K =$ PARAMETRO DI CARICO CRITICO

$$\sigma_{cr} = E \left(\frac{h}{b}\right)^2 K$$

CAMPI DI SOLLECITAZIONE A TAGLIO

$\tau_{sol} < \tau_{cr} \rightarrow$ TANGENZIALE PURO

$\tau_{sol} = \tau_{cr} \rightarrow$ CRITICO

$\tau_{sol} > \tau_{cr} \rightarrow$ DIAGONALE PARZIALE

$\tau_{sol} \gg \tau_{cr} \rightarrow$ DIAGONALE COMPLETO

} POSITIVA

• TANGENZIALE PURO

$$\sigma_c = \tau_{sol}, \alpha = 45^\circ$$

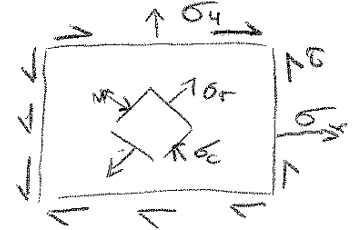
$$\sigma_t = -\tau_{sol}, \alpha = -45^\circ$$

• DIAGONALE COMPLETO

$$\tau_{sol} \gg \tau_{cr} \rightarrow \sigma_t \gg \sigma_c \approx 0$$

FIBRE CHE HANNO CEDUTO

$$\begin{cases} \sigma_t = 2\tau_{sol} \\ \sigma_x = \tau_{sol} \\ \sigma_y = \tau_{sol} \\ \sigma_c = 0 \\ \tau = \tau_{sol} \end{cases}$$



• DIAGONALE PARZIALE

Scomponiamo τ in:

$$\begin{cases} \tau = \tau_{cr} + \Delta\tau & \Delta\tau = \tau_{sol} - \tau_{cr} \\ \sigma_t = \tau_{cr} + 2\Delta\tau \\ \sigma_c = -\tau_{cr} \\ \sigma_x = \sigma_y = \Delta\tau \end{cases}$$

STRISCIA COLLABORANTE

$$W = \frac{t}{2} \sqrt{\frac{K E}{\sigma_s}}$$

> FATTORE DI CARICO CRITICO DEL PANNELLO

IN CASO DI COMPRESSIONE. PER LA TRAZIONE TUTTO IL PANNELLO LAVORA ($\frac{1}{2}$ A OGNI COLONNINA)