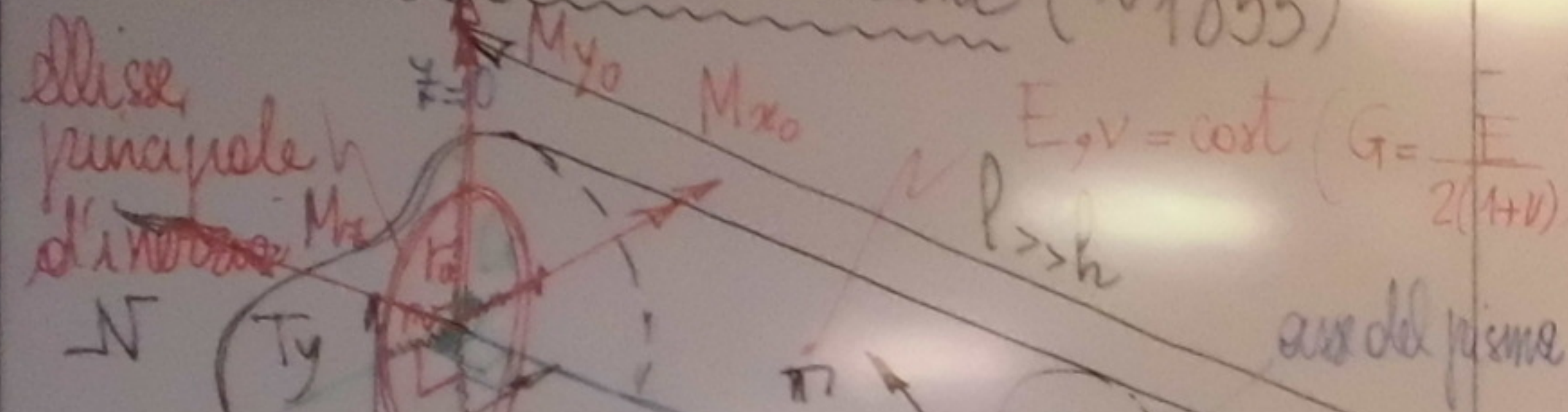


Pb. di de Saint Venant (~1855)



- Ellisse principale h
 - Ellisse principale b
 - Raggi giratori d'inerzia
 - Centroidal $G \in x, y$
 - Matrice rotazione $y \perp z$
 - Coniugata $S \in J - xy dA = 0$

Risultante:

$$\begin{aligned}
 - N &= \int_A \sigma_{zz} dA = \text{cost}; M_x = \int_A \sigma_{zz} y dA = T_z \\
 - T_x &= \int_A \tau_{zx} dA = \text{cost}; M_y = - \int_A \sigma_{zz} x dA = M_{y0} - T_z z \\
 - T_y &= \int_A \tau_{zy} dA = \text{cost}; M_z = T_x y_0 + T_y x_0 = \int_A (\tau_{zy} x - \tau_{zx} y) dA
 \end{aligned}$$

Analisi di un problema elastico lineare riferito ad un solido di
 forma cilindrica, di sezione A cost., ad asse rettilineo, allungata
 (cilindro o prisma di DSV)

- Privo di forze di volume ($F = 0$ in V)
- Privo di forze di superficie sulla superficie laterale ($f = 0$ su S_{lat})
- Privo di vincoli esterni ($S_f = 0$) [soluz. nota a meno di moti rigidi]

- Costituito da materiale omogeneo, elastico

- Lineare isotropo di caratteristiche note (E, ν)

- Soggetto solo ad azioni agenti sulla base ($z=0, z=l$),
 note solo in termini di risultanti e applicate secondo distribuzioni
 + non impuntate (impuntate ai fini dell'analisi) > Postulato di DSV
 [la reale distribuzione di tali azioni può alterare la soluzione locale
 al più per effetti di bordo significativi in prossimità della base stessa]
 tali da formare un sistema di forze autosequilibrato

• Soluzione mediante approccio semi-inverso

- Ipotesi fondamentali di DSV

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \tau_{xy} = 0 \text{ in } V$$

$$\sigma_{zz}, \tau_{xz} = \tau_{zy}$$

- Equazioni mod. di equil. in V
 $\text{div } \sigma + F = 0 \Leftrightarrow \sigma_{ij,j} + F_i = 0 \text{ in } V$

$$j=x: \sigma_{xx,x} + \sigma_{xy,y} + \sigma_{xz,z} = 0 \Rightarrow \tau_{xz,z}$$

$$j=y: \sigma_{xy,x} + \sigma_{yy,y} + \sigma_{yz,z} = 0 \Rightarrow \tau_{yz,z}$$

$$j=z: \sigma_{xz,x} + \sigma_{yz,y} + \sigma_{zz,z} = 0$$

$$\text{div } \tau = \tau_{xz,x} + \tau_{yz,y} = -\sigma_{zz,z}$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial z} \sigma_{zz}$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial z} \sigma_{zz}$$

- Equil. statico in S_{lat}

$$n_x \sigma_{xx} + n_y \sigma_{xy} + n_z \sigma_{xz} = 0$$

$$n_x \sigma_{xy} + n_y \sigma_{yy} + n_z \sigma_{yz} = 0$$

$$n_x \sigma_{xz} + n_y \sigma_{yz} + n_z \sigma_{zz} = 0$$

$$2\tau_{xz} n_x + 2\tau_{yz} n_y = 0$$

$$E, \nu \text{ cost. in } V$$

$$E, \nu \text{ cost. in } V$$

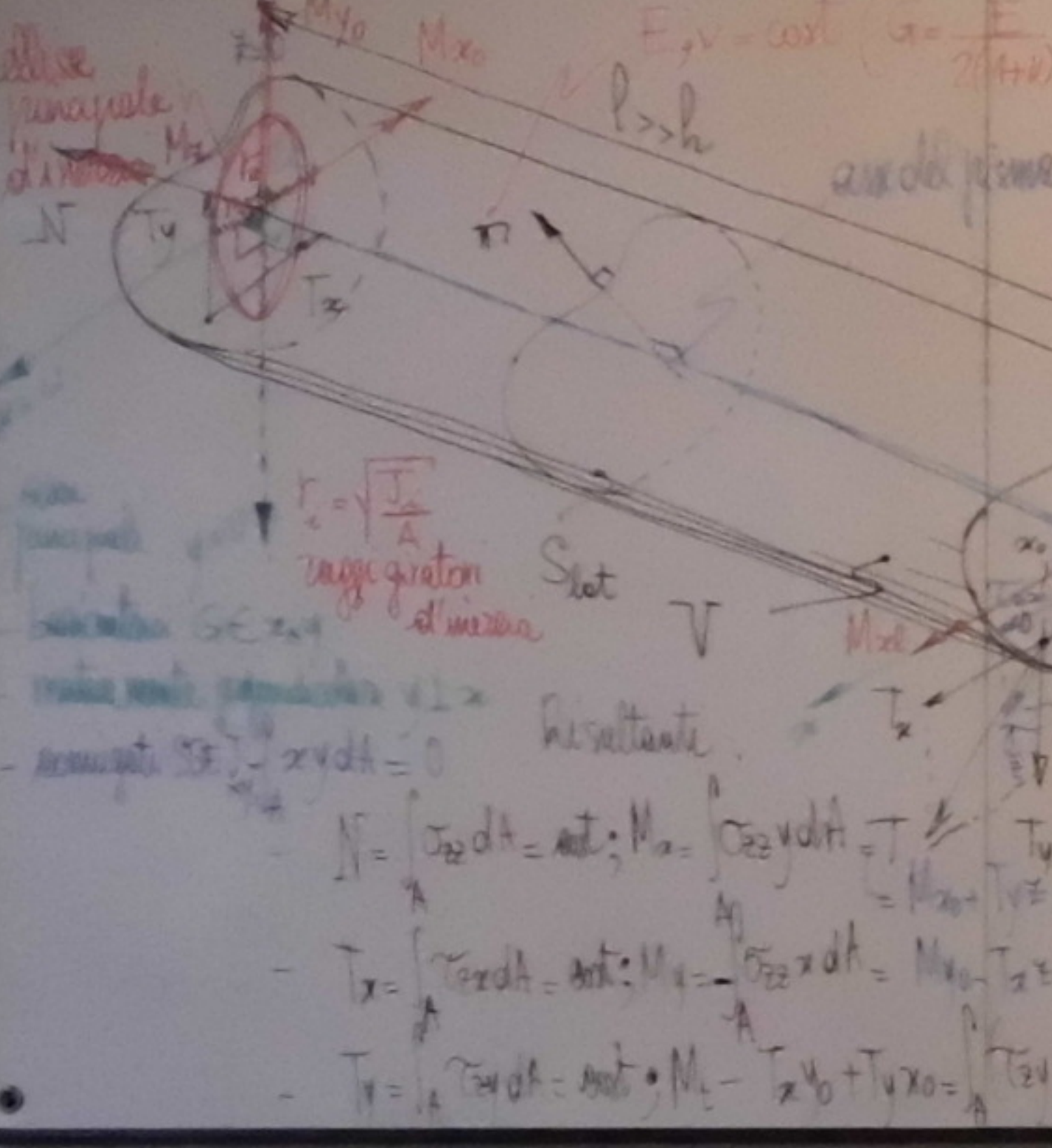
$$E, \nu \text{ cost. in } V$$

$$E, \nu \text{ cost. in } V$$

$$E, \nu \text{ cost. in } V$$

$$E, \nu \text{ cost. in } V$$

Problema di Saint Venant (~1855)



Analisi di un problema elastico lineare riferito ad un solido di forma cilindrica, di sezione A cost., ad asse rettilineo, allungata (cilindro o fusma di DSV).

- Privo di forze di volume ($f = 0$ in V)
- Privo di forze di superficie sulla cap. laterale ($f = 0$ su S_{lat})
- Privo di vincoli interni ($S_0 = \emptyset$) [Soluz. nota a memoria di moti rigidi]
- Costituito da materiale omogeneo, elastico
- Lineare isotropo di caratteristiche note (E, ν)
- Soggetto solo ad azioni agenti sulle basi ($z=0, z=l$)
- Note solo in termini di risultanti e applicate secondo distribuzione
- A non assegnate (indefinite) ai fini dell'analisi $\rightarrow$ Postulato di DSV
- La reale distribuzione di tali azioni può alterare la soluzione locale di più in effetti di bordo confinata in prossimità delle basi stesse
- Tali da fornire una rete non di forze autoequilibrata

Soluzioni mediante approccio seminario

- H₀ fondamentale di DSV.

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \tau_{xy} = 0 \text{ in } V$$

$$\sigma_{zz}, \tau_{xz} = \tau_{yz}$$

- Equazioni indef. di equil. in V

$$\text{div } \sigma + f = 0 \Leftrightarrow \sigma_{ij,j} + f_i = 0, \text{ in } V$$

$$\begin{aligned} j=x & \quad \sigma_{xx,x} + \sigma_{yx,y} + \sigma_{zx,z} = 0 \Rightarrow \tau_{zx} \text{ indep da } z \\ j=y & \quad \sigma_{xy,x} + \sigma_{yy,y} + \sigma_{zy,z} = 0 \Rightarrow \tau_{zy} \text{ indep da } z \\ j=z & \quad \sigma_{xz,x} + \sigma_{yz,y} + \sigma_{zz,z} = 0 \end{aligned}$$

$$\text{div } \tau = \tau_{zx,x} + \tau_{zy,y} = -\sigma_{zz,z}$$

$$0 \equiv \frac{\partial}{\partial z}$$

P. Schwarz

- Equil. al contorno su S_{lat} ($f=0$)

$$\begin{cases} n_x \sigma_{xx} + n_y \sigma_{yx} + n_z \sigma_{zx} = 0 \\ n_x \sigma_{xy} + n_y \sigma_{yy} + n_z \sigma_{zy} = 0 \\ n_x \sigma_{xz} + n_y \sigma_{yz} + n_z \sigma_{zz} = 0 \end{cases}$$

$$n_i \sigma_{ij} = f_j$$

$$T_z \cdot n = \tau_{zx} n_x + \tau_{zy} n_y = 0$$

- Legge costitutiva

$$\epsilon_{ij} = \frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_{ij} + \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij}$$

$$\gamma_{11} = 2\epsilon_{11} = \frac{\tau_{12}}{G} = \frac{(1+\nu)}{E} \tau_{12} \Rightarrow \epsilon_{11} = \frac{1+\nu}{2E} \tau_{12}$$

Analisi di un problema elastico a more ripeto ad un solido di forma arbitraria, di sezione A cost., ad una retta z , allungata (cilindrico piano di DSV).

- Pres di forze di volume ($F=0$ in V)

- Pres di forze di superficie sulle superficie laterali ($F=0$ su S_{lat})

- Pres di vincoli estremi ($S_1=S_2=\emptyset$) [Soluz nota a meno di moti rigidi]

- Costitutivo materiale omogeneo, elastico

- Param costituti di materialitich note (E, ν)

- Scegliamo un sistema di riferimento, nella zona ($z=0, z=l$), in cui solo termini di vincolo e applicate secondo dell'assiale

+ un sistema di riferimento, in cui, dell'assiale, z Postulato di DSV

[La sol distribuziona, di tali azioni, può alterare, la soluzione locale, al più in stretta di limiti, in prossimità dell'assiale]

Tali di essere un retta in z (Postulato di DSV)

• Soluzione mediante approccio seminario

- Hp fondamentali di DSV:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \tau_{xy} = 0 \text{ in } V$$

$$\sigma_{zz}, \tau_{zx} = \tau_{zy}$$

- Equazioni infel. di equil. in V

$$\text{div } \sigma + F = 0 \Leftrightarrow \sigma_{j,i} + F_j = 0_j \text{ in } V$$

$$j=x \quad \sigma_{xx,x} + \sigma_{yx,y} + \sigma_{zx,z} = 0 \quad \tau_{zx} \text{ indep. da } z$$

$$j=y \quad \sigma_{xy,x} + \sigma_{yy,y} + \sigma_{zy,z} = 0 \quad \tau_{zy} \text{ indep. da } z$$

$$j=z \quad \sigma_{xz,x} + \sigma_{yz,y} + \sigma_{zz,z} = 0 \quad \tau_z \text{ indep. da } z$$

$$\text{div } \tau_z = \tau_{zx,x} + \tau_{zy,y} = -\sigma_{zz,z}$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial z} \sigma_{zz} \quad \text{eq. di equil.}$$

$$\sigma_{zz} = -\sigma_{zz,z} \quad \tau_z \text{ linear in } z$$

- Equil. al contorno su S_{lat} ($F=0$) $t_n = n \cdot \sigma = f = 0$ su S_{lat}

$$n_x \sigma_{xx} + n_y \sigma_{yx} + n_z \sigma_{zx} = 0 \quad n_i \sigma_{ij} = f_j = 0$$

$$n_x \sigma_{xy} + n_y \sigma_{yy} + n_z \sigma_{zy} = 0 \quad \text{NO } \tau_{xz} \neq 0$$

$$n_x \sigma_{xz} + n_y \sigma_{yz} + n_z \sigma_{zz} = 0 \quad \text{sup } \tau \text{ al centro } z$$

$$\tau_z \cdot n = \tau_{zx} n_x + \tau_{zy} n_y = 0$$

$$\tau_z \text{ tg. al contorno}$$

- Legame costitutivo

$$\epsilon_{ij} = -\frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_{ij} + \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij}$$

$$\epsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{yy} + \sigma_{zz})$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\sigma_{yy}}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{xx} + \sigma_{zz})$$

$$\epsilon_{zz} = \frac{\sigma_{zz}}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \Rightarrow \epsilon_{zz} = \frac{\sigma_{zz}}{E}$$

$$\gamma_{ij} = 2\epsilon_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{G} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{ij} \Rightarrow \epsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} \quad j \neq i$$

$$\gamma_{xy} = 2\epsilon_{xy} = 0 \quad \tau_{xy} = 0$$

$$\tau_{xy} = 0$$

- Eq ni di congruenza $\epsilon_{ij,kl} + \epsilon_{kl,ij} = \epsilon_{ik,jl} + \epsilon_{jl,ik}$

$$\begin{cases} \epsilon_{xx,yy} + \epsilon_{yy,xx} = 2\epsilon_{xy,xy} \\ \epsilon_{yy,zz} + \epsilon_{zz,yy} = 2\epsilon_{yz,yz} \rightarrow \epsilon_{zz} \text{, alias } \sigma_{zz} \text{ lin in } y \\ \epsilon_{zz,xx} + \epsilon_{xx,zz} = 2\epsilon_{zx,zx} \rightarrow \text{ " in } x \end{cases}$$

$$\begin{cases} \epsilon_{xx,yz} + \epsilon_{yz,xx} = \epsilon_{xy,xz} + \epsilon_{xz,xy} \\ \epsilon_{yy,zz} + \epsilon_{zz,yy} = \epsilon_{yz,yx} + \epsilon_{yx,yz} \\ \epsilon_{zz,xy} + \epsilon_{xy,zz} = \epsilon_{zx,zy} + \epsilon_{zy,zx} \end{cases}$$

Risultanti:

$$\begin{aligned} J_x &= \int_A y^2 dA \\ J_y &= \int_A x^2 dA \\ N &= \int_A \sigma_{zz} dA = \text{res}; M_x = \int_A \sigma_{zz} y dA = M_{x0} + J_y z \\ T_x &= \int_A \tau_{zx} dA = \text{res}; M_y = - \int_A \sigma_{zz} x dA = M_{y0} - J_x z \\ T_y &= \int_A \tau_{zy} dA = \text{res}; M_z = T_x y_0 + T_y x_0 = \int_A (\tau_{zy} x - \tau_{zx} y) dA \end{aligned}$$

- Pertanto, il campo σ_{zz} può essere scritto come:

$$\sigma_{zz} = a + a_1 x + a_2 y - z(b + b_1 x + b_2 y)$$

$$= a - bz + (a_1 - b_1 z)x + (a_2 - b_2 z)y$$

- Equivalenza statica tra σ_{zz} e le az. applicate

$$\bullet N = \int_A \sigma_{zz} dA = (a - bz)A + (a_1 - b_1 z)S_y + (a_2 - b_2 z)S_x = \text{res}$$

$$a = \frac{N}{A}, b = 0 \quad \left[\int_A \text{div } \tau_z dA = \int_A \tau_z \cdot \vec{n} dA \right]$$

$$\bullet M_x = \int_A \sigma_{zz} y dA = (a_2 - b_2 z)J_x \rightarrow a_2 - b_2 z = \frac{M_x}{J_x} \quad b = 0 \Rightarrow b_2 = 0$$

$$= \frac{a_2 J_x - b_2 J_x z}{M_{x0} \quad T_y} \rightarrow a_2 = \frac{M_{x0}}{J_x}, b_2 = -\frac{T_y}{J_x}$$

$$\bullet M_y = - \int_A \sigma_{zz} x dA = -(a_1 - b_1 z)J_y \rightarrow a_1 - b_1 z = -\frac{M_y}{J_y}$$

$$= -\frac{a_1 J_y + b_1 J_y z}{M_{y0} \quad -T_x} \rightarrow a_1 = -\frac{M_{y0}}{J_y}, b_1 = -\frac{T_x}{J_y}$$

Vedi terza lezione data per PSE

$$\sigma_{zz}(x,y,z) = \frac{N}{A} - \frac{M_y}{J_y} x + \frac{M_x}{J_x} y$$

Eq di equil

$$\text{div } \tau_z = \tau_{zx,x} + \tau_{zy,y} = -\frac{T_x}{J_y} x - \frac{T_y}{J_x} y$$

- Le rimanenti 2 eq ni di congruenza portano:

$$\frac{1+\nu}{E} (\tau_{zx,xy} - \tau_{zy,xx}) = -\frac{\nu}{E} \sigma_{zz,xy}$$

$$\frac{1+\nu}{E} (\tau_{zx,yy} - \tau_{zy,yx}) = +\frac{\nu}{E} \sigma_{zz,xy}$$

$$f = f(x,y) \quad (\tau_{zx,y} - \tau_{zy,x}) = \bar{v}$$

$$\oint \vec{f} \cdot d\vec{r} = \int \vec{f}_x dx + \vec{f}_y dy + \text{res}$$

- Abbiamo visto un'altra forma di campo τ_{zx}

- Resta da vedere di più nella T_{xx}, T_{yy}

$$\begin{cases} \text{equl } \text{div } \tau_x = \tau_{xx,x} + \tau_{xy,y} = -\frac{T_x}{J_y} x - \frac{T_y}{J_x} y \\ \text{comp } (\text{rot } \tau_x)_z = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v} \end{cases}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

$$\text{rot } \tau_x = \tau_{xy,x} - \tau_{yx,y} = -\left(\frac{1}{J_y} + \frac{1}{J_x}\right) \bar{v}$$

- Eq. di congruenza $\epsilon_{ij,kl} + \epsilon_{kl,ij} = \epsilon_{ik,jl} + \epsilon_{il,jk}$

$$\begin{cases} \epsilon_{xx,yy} + \epsilon_{yy,xx} = 2\epsilon_{xy,xy} \\ \epsilon_{yy,zz} + \epsilon_{zz,yy} = 2\epsilon_{yz,yz} \rightarrow \text{Eq. di congruenza in } y \\ \epsilon_{zz,xx} + \epsilon_{xx,zz} = 2\epsilon_{zx,zx} \rightarrow \text{Eq. di congruenza in } x \end{cases}$$

$$\begin{cases} \epsilon_{xx,yy} + \epsilon_{yy,xx} = \epsilon_{xy,zy} + \epsilon_{zy,xy} \\ \epsilon_{yy,zz} + \epsilon_{zz,yy} = \epsilon_{yz,xy} + \epsilon_{xy,yz} \\ \epsilon_{zz,xx} + \epsilon_{xx,zz} = \epsilon_{zx,zy} + \epsilon_{zy,zx} \end{cases}$$

$$J_x = \int_A y^2 dA$$

$$J_y = \int_A x^2 dA$$

Resultante:

$$\begin{aligned} N &= \int_A \sigma_{zz} dA = \text{tot}; M_x = \int_A \sigma_{zz} y dA = M_{x0} + T_{xz} \\ T_x &= \int_A \tau_{zx} dA = \text{tot}; M_y = - \int_A \sigma_{zz} x dA = M_{y0} + T_{yz} \\ T_y &= \int_A \tau_{zy} dA = \text{tot}; M_z = - T_{xz} y_0 + T_{yz} x_0 = \int_A (\tau_{zy} x - \tau_{zx} y) dA \end{aligned}$$

- Pertanto, il campo σ_{zz} può essere scritto come:

$$\begin{aligned} \sigma_{zz} &= a + a_1 x + a_2 y - z(b + b_1 x + b_2 y) \\ &= a - b z + (a_1 - b_1 z)x + (a_2 - b_2 z)y \end{aligned}$$

- Equivalenza statica tra σ_{zz} e le az. applicate

$$\bullet N = \int_A \sigma_{zz} dA = (a - b z)A + (a_1 - b_1 z)S_y + (a_2 - b_2 z)S_x = \text{tot}$$

$$\bullet M_x = \int_A \sigma_{zz} y dA = (a_2 - b_2 z)J_x \rightarrow a_2 - b_2 z = \frac{M_x}{J_x} \quad \text{con } b_2 = -\frac{T_y}{J_x}$$

$$\bullet M_y = - \int_A \sigma_{zz} x dA = -(a_1 - b_1 z)J_y \rightarrow a_1 - b_1 z = -\frac{M_y}{J_y} \quad \text{con } b_1 = -\frac{T_x}{J_y}$$

Vedi tensori flessione derivata in PSE

$$\sigma_{zz}(x,y,z) = \frac{N}{A} - \frac{M_y}{J_y} x + \frac{M_x}{J_x} y$$

Eq. di equil.

$$\text{div } \tau_z = \tau_{zx,x} + \tau_{zy,y} = -\frac{T_x}{J_y} x - \frac{T_y}{J_x} y$$

Lezimanenti 2 eq. di congruenza pongono:

$$\frac{1+\nu}{E} (\tau_{zx,xy} - \tau_{zy,xx}) = -\frac{\nu}{E} \sigma_{zz,zy}$$

$$\frac{1+\nu}{E} (\tau_{zx,yy} - \tau_{zy,yx}) = +\frac{\nu}{E} \sigma_{zz,zx}$$

$$\begin{aligned} f &= f(x,y) \quad \tau_{zx,y} - \tau_{zy,x} = \bar{V} \begin{pmatrix} b_2 \\ -b_1 \end{pmatrix} \\ \text{olft} &= \int f_x dx + f_y dy + \text{cost} \quad \bar{V} = \frac{\nu}{1+\nu} \end{aligned}$$

- Abbiamo risolto analiticamente il campo $\sigma_{zz}(x,y,z)$

- Resta da risolvere il pb nella τ_{zx}, τ_{zy}

$$\begin{cases} \text{equil. } \text{div } \tau_z = \tau_{zx,x} + \tau_{zy,y} = -\frac{T_x}{J_y} x - \frac{T_y}{J_x} y \\ \text{congr. } (\text{rot } \tau_z)_z = \tau_{zx,y} - \tau_{zy,x} = \bar{V} \left(-\frac{T_y}{J_x} x + \frac{T_x}{J_y} y \right) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \tau_z \cdot T &= \tau_{zx} T_x + \tau_{zy} T_y = 0 \\ \text{rot } \tau_z &= \tau_{zx,y} - \tau_{zy,x} = \bar{V} \left(-\frac{T_y}{J_x} x + \frac{T_x}{J_y} y \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{zx,y} - \tau_{zy,x} &= \bar{V} (b_2 x - b_1 y) \\ &= \bar{V} \left(\frac{T_y}{J_x} x + \frac{T_x}{J_y} y \right) = c \end{aligned}$$

- Per tanto, il esempio Ora più come scritto come.

$$\sigma_{22} = a + a_1 x + a_2 y - z(b + b_1 x + b_2 y)$$

vedi tenso-flessione derivata per PSE

$$\sigma_{xz}(x,y,z) = \frac{N}{A} - \frac{M_y}{I_y}x + \frac{M_x}{I_x}y$$

- Equivalenza statica tra σ_{zz} e forze applicate

$$\bullet \int_A \vec{c} \cdot d\vec{A} = (a - bz)A + (a_1 - bz)S_y + (a_2 - bz)S_z = 0$$

Eq de equil

Ex de l'après:
 $\text{div } T_2 = T_{2x,x} + T_{2y,y} = -\frac{T_x}{J_y} x - \frac{T_y}{J_x} y$

- Le zimmeranti 2 eq. in di cong. a pongo

$$\bullet M_x = \int_A \sigma_y y dA = (q_2 - b_2 z) J_x \rightarrow q_2 - b_2 z = \frac{M_x}{J_x} \quad b_2 = 0 \Rightarrow$$

$$= \frac{q_2 J_x - b_2 J_x z}{J_x} \rightarrow q_2 = \frac{M_x}{J_x}, \quad b_2 = -\frac{T_y}{J_x}$$

$$\bullet \quad M_y = - \int_A z x \, dA = - (a_1 - b_1 z) J_y \rightarrow a_1 b_1 z = - \frac{M_y}{J_y}$$

$$= \underbrace{-a_1 J_y}_{M_y} + \underbrace{b_1 J_y}_{-I_z} z \rightarrow a_1 = \frac{M_y}{J_y}, \quad b_1 = - \frac{I_z}{J_y}$$

$$\frac{1+\nu}{E} (\tau_{zx,xy} - \tau_{zy,xx}) = -\frac{\nu}{E} \sigma_{zz,zy}$$

$$\frac{1+\nu}{E} (\tau_{zx,yy} - \tau_{zy,yx}) = +\frac{\nu}{E} \sigma_{zz,zx}$$

$f = f(x, y)$
 $\text{diff} = \int f_{,x} dx + f_{,y} dy + \text{const}$

- Abbiamo risolto analiticamente il campo $\sigma_{zz}(x, y; z)$

- Resta da risolvere il pb. nelle T_{xx}, T_{xy}

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{equil.} \quad \text{div } \tau_z = \tau_{zx,x} + \tau_{zy,y} = -\frac{T_x}{J_y} x - \frac{T_y}{J_x} y \\ \text{congr.} \quad -(\text{rot } \tau_z)_z = \tau_{zx,y} - \tau_{zy,x} = \bar{\nu} \left(-\frac{T_y}{J_x} x + \frac{T_x}{J_y} y \right) \end{array} \right. \quad \text{in } A$$

con l.e. $T_z \cdot D = T_{zx} n_x + T_{zy} n_y = 0$

cost. di integrali
da forme in relaz.
ad M_4 tramite
l'equiv. statica (*)

$$\underbrace{(\text{rot } \sigma_z)_z}_\tau$$

$$\tau_{zx,y} - \tau_{zy,x} = \bar{V}(b_2 x - b_1 y) - c \text{ eq. ne di congruenza}$$

$$= \bar{V}\left(\frac{-T_y}{J_x} x + \frac{T_x}{J_y} y\right) - c$$