

VERIFICA INTERMEDIA DEL 23/01/06

AVVERTENZE

La prova è organizzata in 4 Quesiti, ciascuno dei quali, se svolto senza errori, consente il conseguimento del punteggio riportato vicino al titolo (in 30esimi).

Per il Quesito 2 vengono proposte 2 alternative (2a e 2b), di diverso punteggio e difficoltà.

Svolgere, a propria scelta, una sola delle due alternative.

Quesito 1 (Punti 10)

Data la travatura reticolare mostrata nella Figura 1, determinare:

1. le reazioni vincolari
2. le forze agenti in tutte le aste

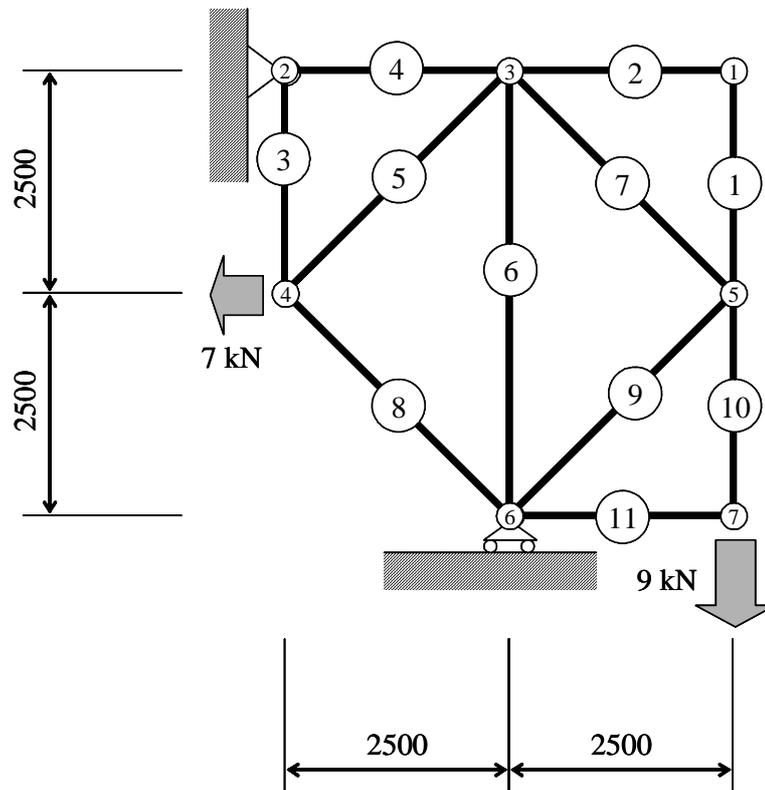


Figura 1

Quesito 2a (Punti 14)

Dato la travatura spaziale mostrata in Figura 2a.1 determinare:

1. le reazioni vincolari
2. l'andamento delle caratteristiche di sollecitazione (con espressione analitica) tracciandone il diagramma (a questo scopo è possibile servirsi del modulo riportato in Fig. 2a.2).

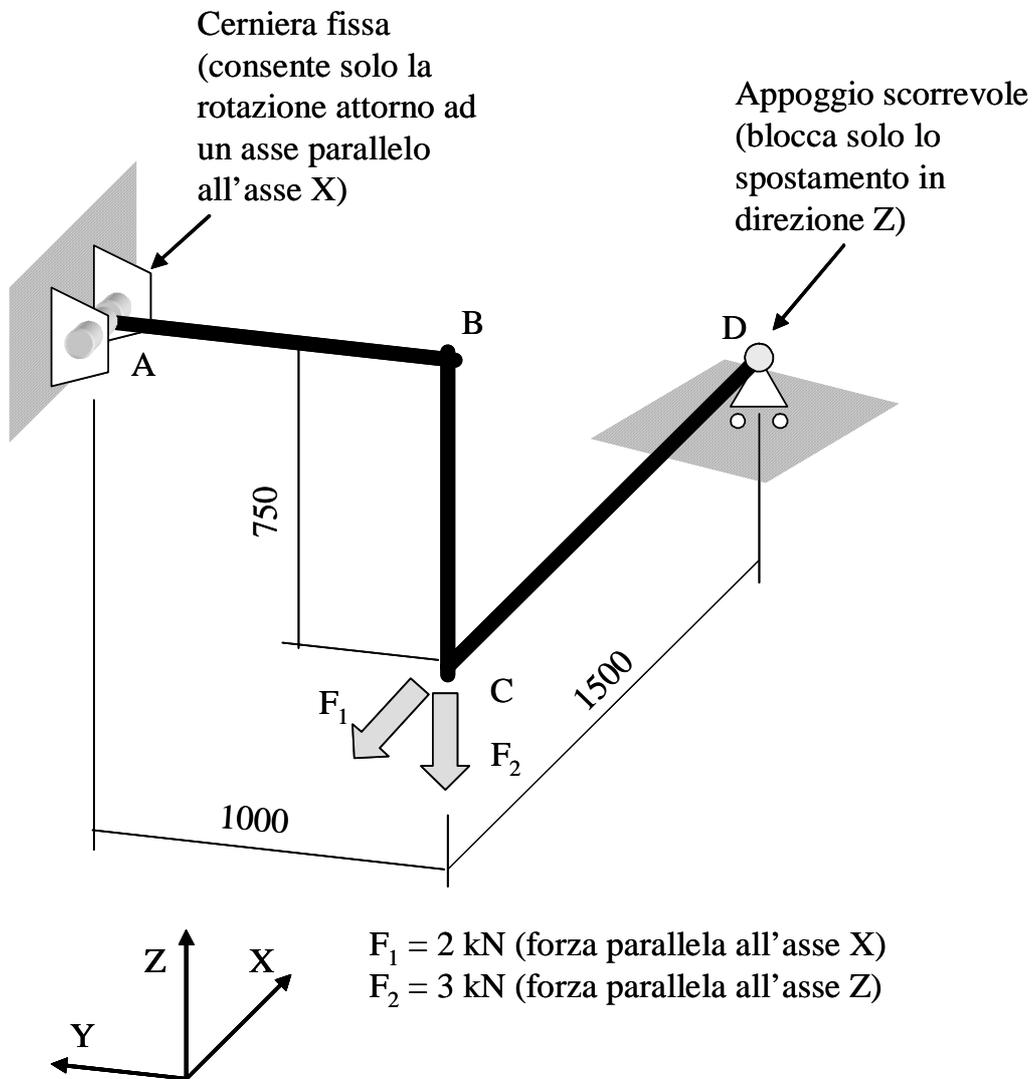


Figura 2a.1

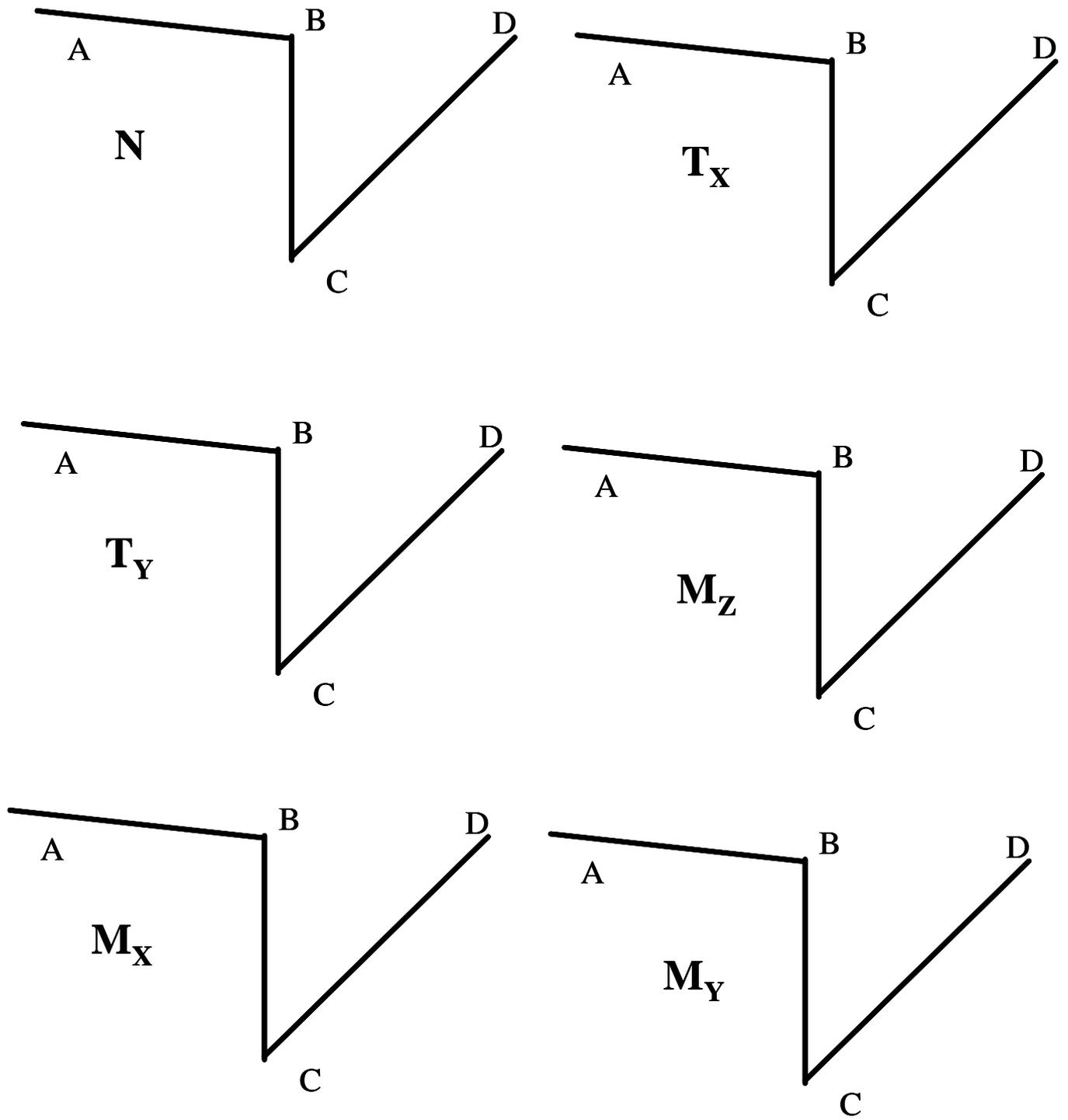


Figura 2a.2

Quesito 2b (alternativo al quesito 2a) (Punti 12)

Data la struttura piana mostrata in Figura 2b.1, determinare:

1. le reazioni vincolari
2. l'andamento delle caratteristiche di sollecitazione (con espressione analitica) tracciandone il diagramma (a questo scopo è possibile servirsi del modulo riportato in Fig. 2b.2).

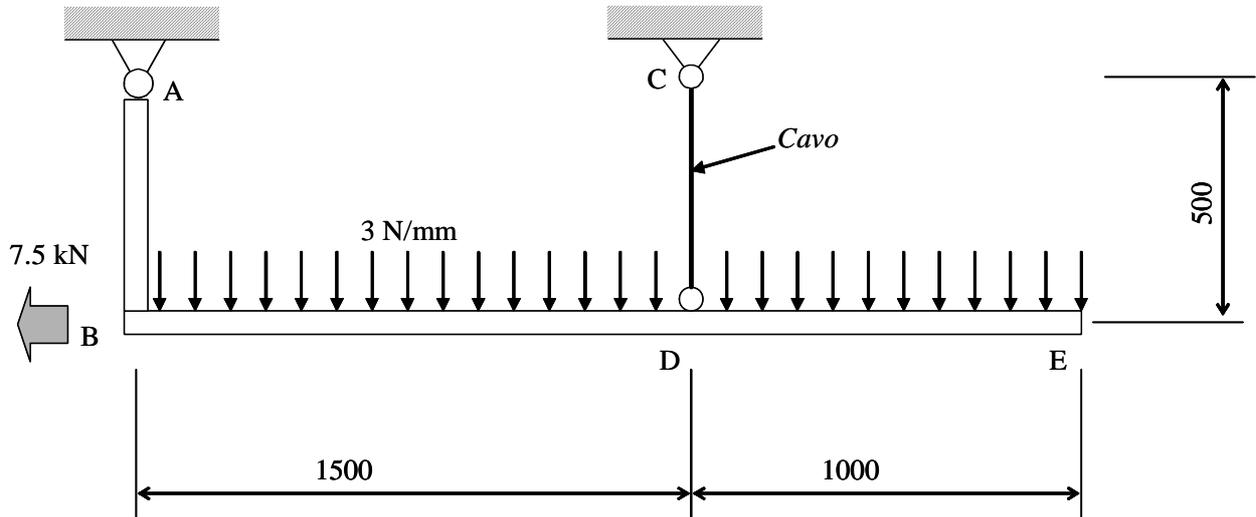


Figura 2b.1

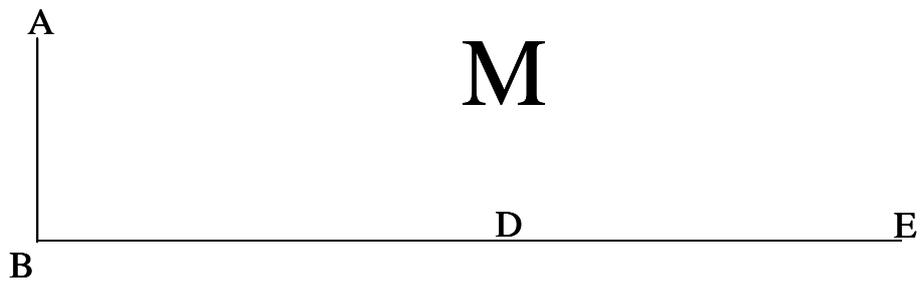
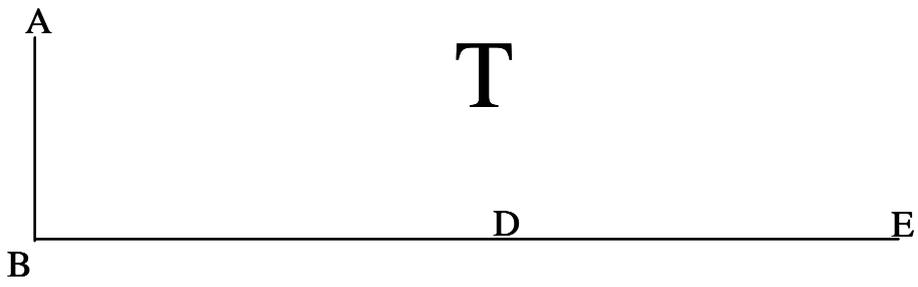
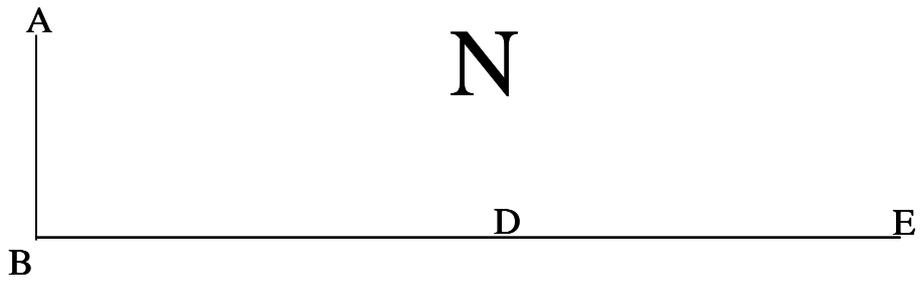


Figura 2b.2

Quesito 3 (Punti 3)

Data la sezione mostrata a doppio T con rinforzo inferiore in Fig. 3, determinare:

1. la posizione del baricentro
2. i momenti di inerzia J_x e J_y rispetto agli assi centrali principali.

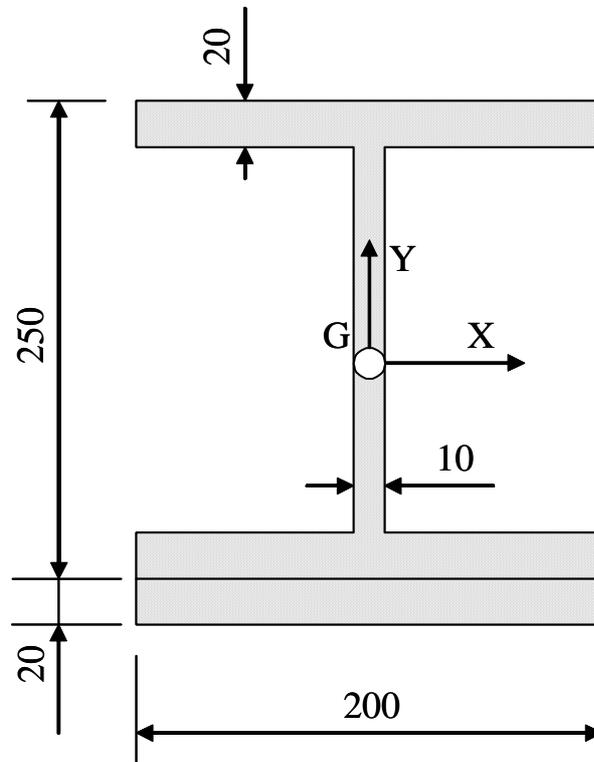


Figura 3

Quesito 4 (Punti 3)

Data la sezione mostrata in Fig. 4, soggetta alle seguenti caratteristiche di sollecitazione:

$$M_x = 75 \text{ kNm}$$

$$M_y = 80 \text{ kNm}$$

$$M_z = 55 \text{ kNm}$$

$$N = 500 \text{ kN}$$

determinare:

1. le tensioni (espresse in MPa) massime prodotte da ciascuna delle caratteristiche di sollecitazione e mostrarne l'andamento indicando i valori massimi e minimi
2. il valore massimo della tensione normale ed il punto della sezione in cui si verifica

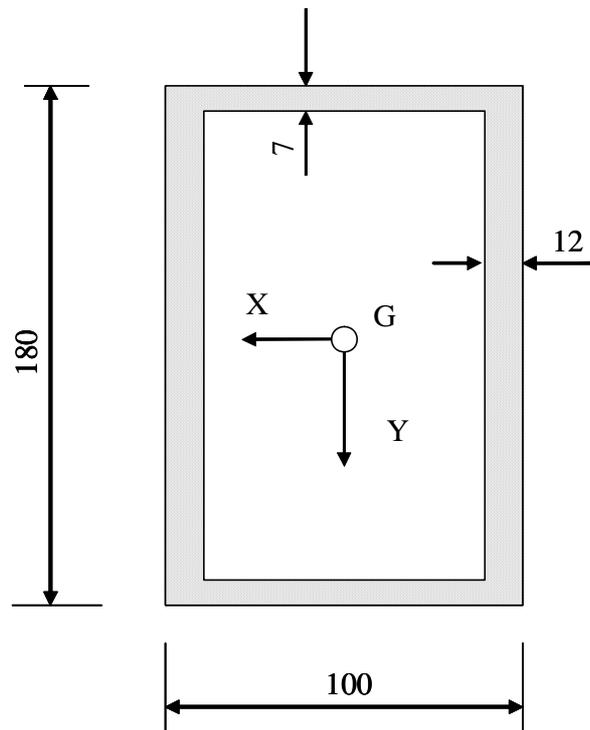


Figura 4

CORSO DI LAUREA IN ING. ELETTRICA

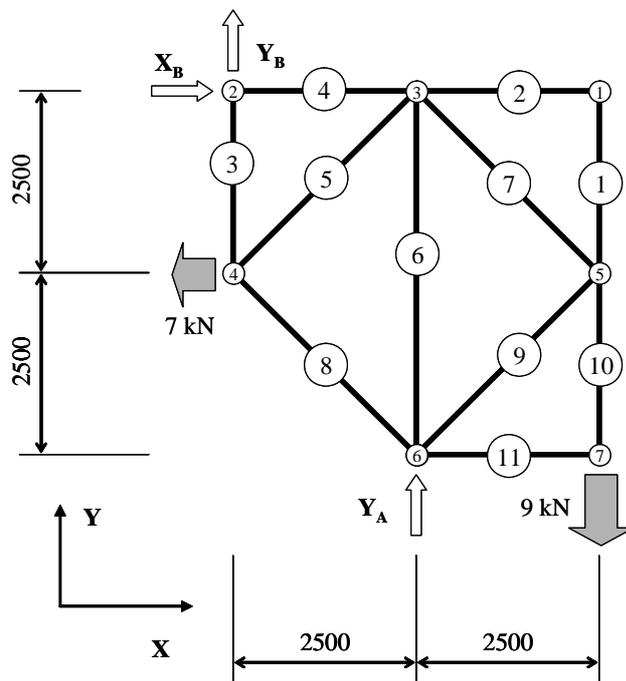
CORSO DI MECCANICA E TECNICA DELLE COSTRUZIONI MECCANICHE

VERIFICA INTERMEDIA DEL 23/01/2005

Quesito 1

Calcolo reazioni vincolari esterne

La struttura è esternamente isostatica. Per il calcolo delle reazioni vincolari esterne si impiegano le equazioni cardinali della statica. Si fissa preliminarmente un sistema di riferimento cartesiano ortogonale e si traccia un diagramma di corpo libero sostituendo i vincoli con le relative reazioni vincolari incognite



Dalle Equazioni di equilibrio si ottiene (forze in KN, lunghezze in mm):

$$Y_A := 0 \quad X_B := 0 \quad Y_B := 0$$

Given

$$R_x = 0 \rightarrow X_B - 7 = 0$$

$$R_y = 0 \rightarrow Y_A + Y_B - 9 = 0$$

$$M_{R_B} = 0 \rightarrow Y_A \cdot 2500 - 7 \cdot 2500 - 9 \cdot 5000 = 0$$

$$\begin{pmatrix} Y_A \\ X_B \\ Y_B \end{pmatrix} := \text{Find}(Y_A, X_B, Y_B)$$

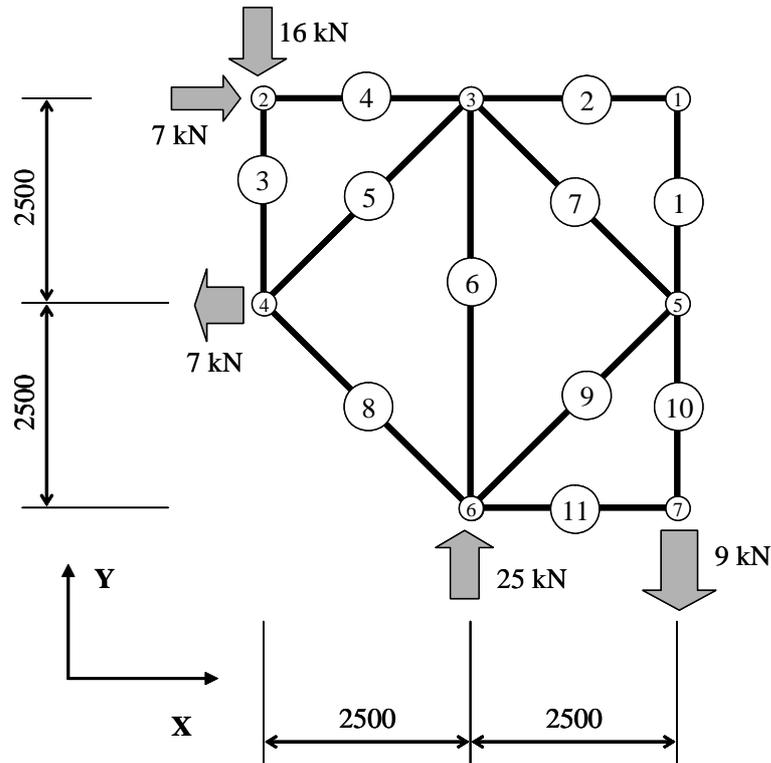
Ottenendo i seguenti valori delle reazioni vincolari (in KN):

$$Y_A = 25$$

$$X_B = 7$$

$$Y_B = -16$$

Si ottiene in tal modo il seguente diagramma di corpo libero dell'intera struttura, con tutte le forze esterne applicate



Calcolo delle forze normali nelle aste

Il calcolo delle forze normali agenti nelle aste viene condotto con il metodo dei nodi. Nella procedura è possibile partire da un qualsiasi nodo in cui convergano non più di 2 aste le cui forze normali siano incognite. Convenzionalmente, si assume per le forze normali incognite un verso corrispondente a quello di un'asta tesa.

Nodo 1

Dato che nel nodo 1 convergono due aste non consecutive e che non ci sono forze applicate si ha immediatamente:

$$N_1 := 0 \quad N_2 := 0$$

Nodo 2

Sistema di equazioni

$$N_3 := 0 \quad N_4 := 0$$

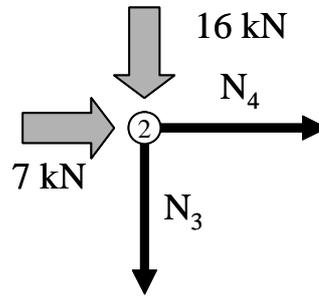
Given

$$N_4 + 7 = 0$$

$$-N_3 - 16 = 0$$

$$\begin{pmatrix} N_3 \\ N_4 \end{pmatrix} := \text{Find}(N_3, N_4)$$

$$N_3 = -16 \quad N_4 = -7$$



Nodo 4

Sistema di equazioni

$$N_5 := 0 \quad N_8 := 0$$

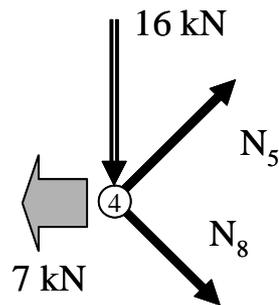
Given

$$N_5 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + N_8 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - 7 = 0$$

$$N_5 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - N_8 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - 16 = 0$$

$$\begin{pmatrix} N_5 \\ N_8 \end{pmatrix} := \text{Find}(N_5, N_8)$$

$$N_5 = 16.263 \quad N_8 = -6.364$$



Nodo 3

Sistema di equazioni

$$N_6 := 0 \quad N_7 := 0$$

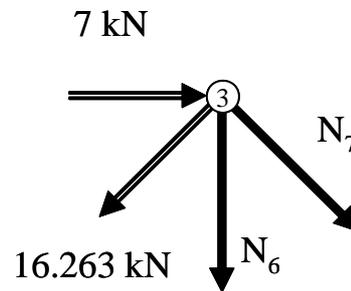
Given

$$N_7 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + 7 - 16.263 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0$$

$$-N_7 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - N_6 - 16.263 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0$$

$$\begin{pmatrix} N_6 \\ N_7 \end{pmatrix} := \text{Find}(N_6, N_7)$$

$$N_6 = -15.999 \quad N_7 = 6.364$$



Nodo 7

Sistema di equazioni

$$N_{10} := 0 \quad N_{11} := 0$$

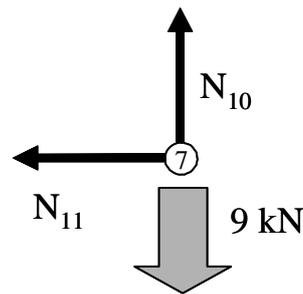
Given

$$N_{11} = 0$$

$$N_{10} - 9 = 0$$

$$\begin{pmatrix} N_{10} \\ N_{11} \end{pmatrix} := \text{Find}(N_{10}, N_{11})$$

$$N_{10} = 9 \quad N_{11} = 0$$



Nodo 5

Sistema di equazioni

$$\underline{N_7} := 0 \quad N_9 := 0$$

Given

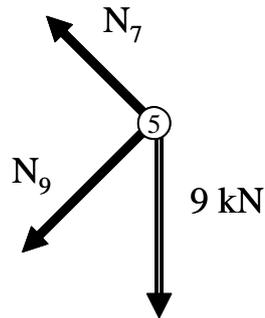
$$-N_9 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - N_7 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0$$

$$N_7 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - N_9 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - 9 = 0$$

$$\begin{pmatrix} \underline{N_7} \\ \underline{N_9} \end{pmatrix} := \text{Find}(N_7, N_9)$$

$$N_7 = 6.364$$

$$N_9 = -6.364$$



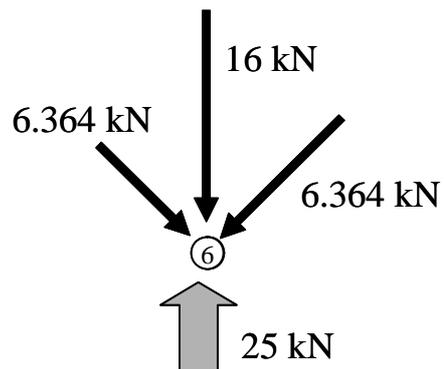
Verifica finale equilibrio nodo 6

Si controlla l'equilibrio del nodo 6, sotto l'azione di tutte le forze ad esso applicate, calcolando le risultanti in direzione "X" ed "Y" e verificando la loro uguaglianza a 0.

$$6.364 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - 6.364 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = 0$$

$$-6.364 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - 6.364 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4}\right) + 25 - 16 = 0$$

Verifica OK

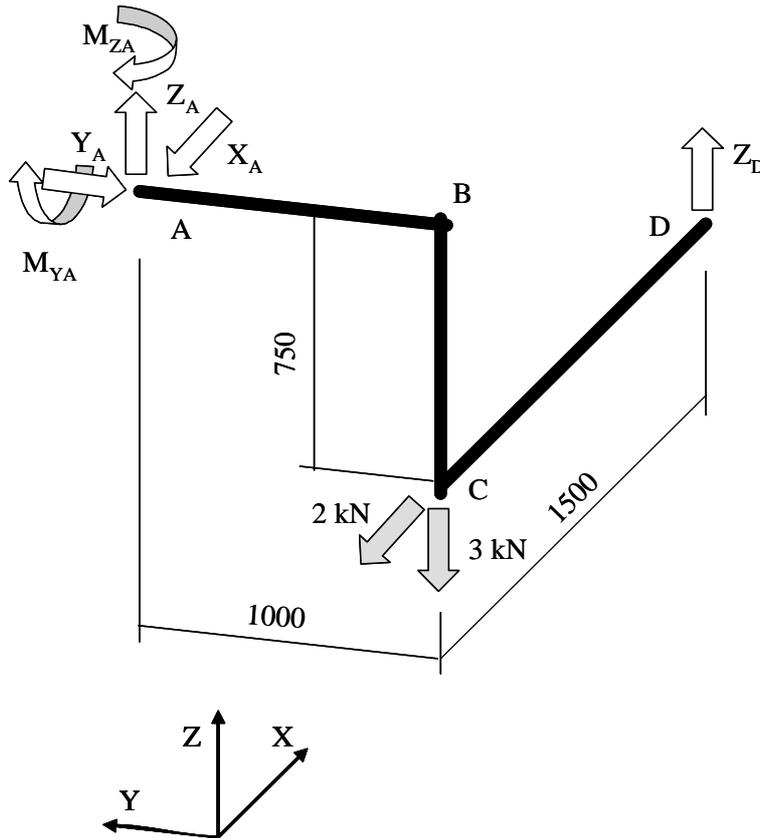


Quesito 2a

Calcolo delle reazioni vincolari

La struttura è esternamente isostatica, per cui le reazioni vincolari possono essere valutate tramite le 6 equazioni cardinali della statica.

A tale scopo, fissato preliminarmente un sistema di riferimento cartesiano generale "X-Y-Z", si procede in primo luogo a classificare i vincoli, sostituendoli con le relative reazioni vincolari incognite ed ottenendo lo schema di calcolo riportato nella Figura.



Dalle Equazioni di equilibrio si ottiene (forze in KN, lunghezze in m, momenti calcolati rispetto al polo A):

$$X_A := 0 \quad Y_A := 0 \quad Z_A := 0 \quad M_{Y_A} := 0 \quad M_{Z_A} := 0 \quad Z_D := 0$$

Given

$$R_x = 0 \rightarrow -X_A - 2 = 0$$

$$R_y = 0 \rightarrow Y_A = 0$$

$$R_z = 0 \rightarrow Z_A + Z_D - 3 = 0$$

$$MR_{x_A} = 0 \rightarrow -Z_D \cdot 1 + 3 \cdot 1 = 0$$

$$MR_{y_A} = 0 \rightarrow M_{Y_A} - Z_D \cdot 1.5 + 2 \cdot 0.750 = 0$$

$$MR_{z_A} = 0 \rightarrow -M_{Z_A} - 2 \cdot 1 = 0$$

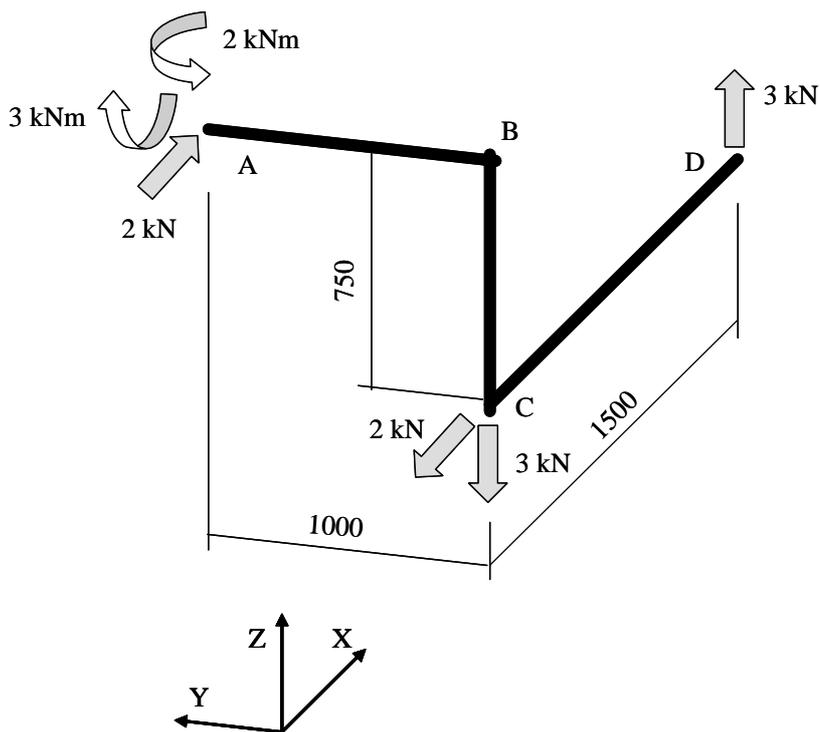
$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ M_{YA} \\ M_{ZA} \\ Z_D \end{pmatrix} := \text{Find}(X_A, Y_A, Z_A, M_{YA}, M_{ZA}, Z_D)$$

Ottenendo i seguenti valori delle reazioni vincolari (in kN e kNm):

$$X_A = -2 \qquad Y_A = 0 \qquad Z_A = 0$$

$$M_{YA} = 3 \qquad M_{ZA} = -2 \qquad Z_D = 3$$

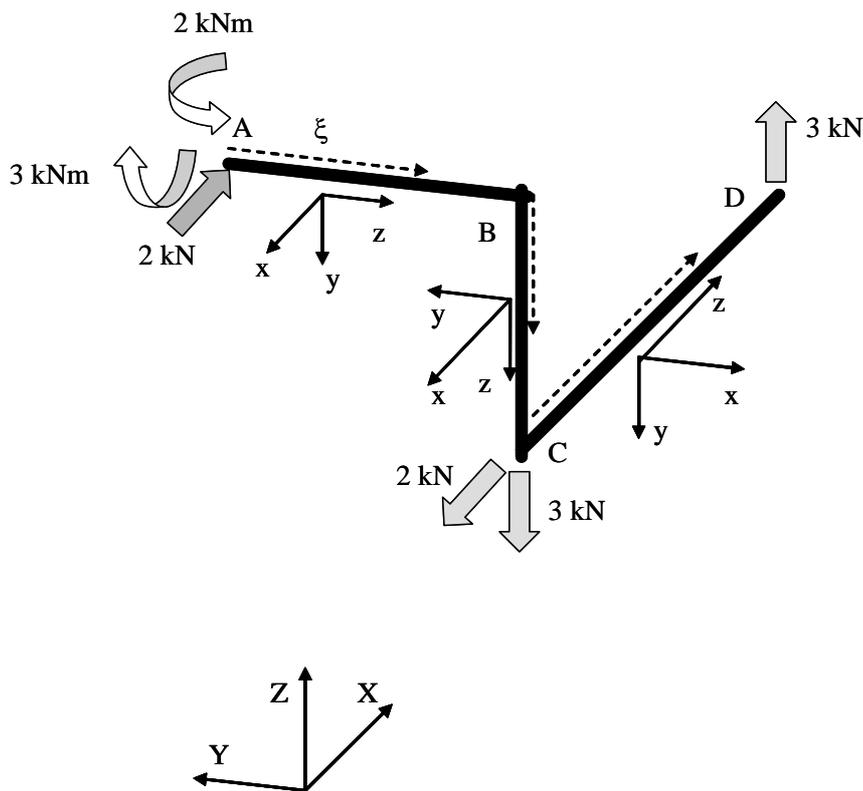
Si ottiene in tal modo il seguente diagramma di corpo libero dell'intera struttura, con tutte le forze esterne applicate



Tracciamento diagrammi caratteristiche di sollecitazione

Ai fini del tracciamento dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione, si introduce la coordinata curvilinea ξ (origine nel punto A, termine nel punto D, valore compreso tra 0 e 3250 mm) e si fissa sulla generica sezione il sistema di riferimento locale x-y-z per il calcolo della caratteristiche di sollecitazione, la cui disposizione nei diversi tratti di trave è mostrata in figura.

Si noti che, per semplificare la rappresentazione, i diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione sono stati linearizzati. Ai fini di una più semplice interpretazione, si noti che i punti significativi indicati sulla figura corrispondono ai seguenti valori della coordinata curvilinea ξ : Punto A -> $\xi=0$; Punto B -> $\xi=1000$; Punto C -> $\xi=1750$; Punto D -> $\xi=3250$



Forza Normale

La forza normale è nulla in tutta la struttura.

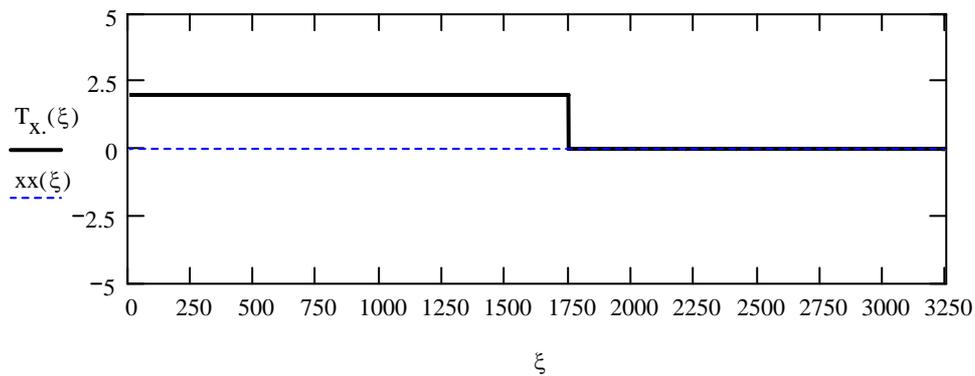
Taglio T_x (in kN)

$$\xi := 0, 1 \dots 3250$$

$xx(\xi) := 0$ (questa variabile fittizia ha il solo scopo di far comparire sui diagrammi la linea corrispondente al valore 0)

$$T_x(\xi) := \begin{cases} 2 & \text{if } 0 \leq \xi \leq 1000 & \text{Tratto A-B} \\ 2 & \text{if } 1000 \leq \xi \leq 1750 & \text{Tratto B-C} \\ 0 & \text{otherwise} & \text{Tratto C-D} \end{cases}$$

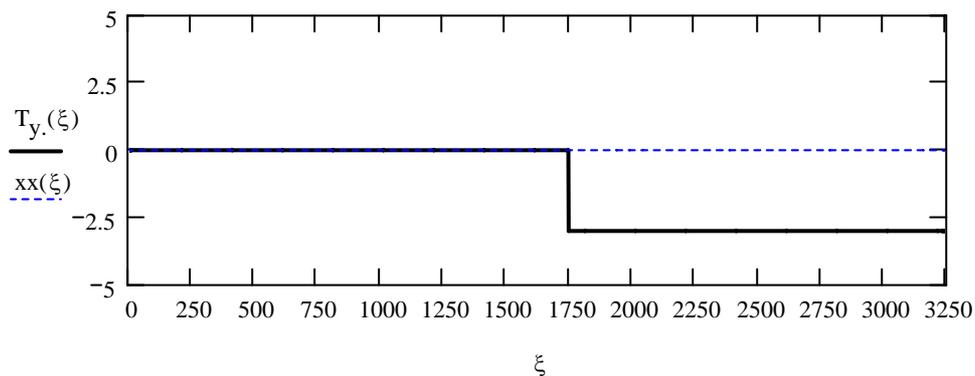
$$T_x(0) = 2 \quad T_x(1750) = 2 \quad T_x(1750.001) = 0 \quad T_x(3250) = 0$$



Taglio T_y (in kN)

$$T_y(\xi) := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq \xi \leq 1000 \\ 0 & \text{if } 1000 \leq \xi \leq 1750 \\ -3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

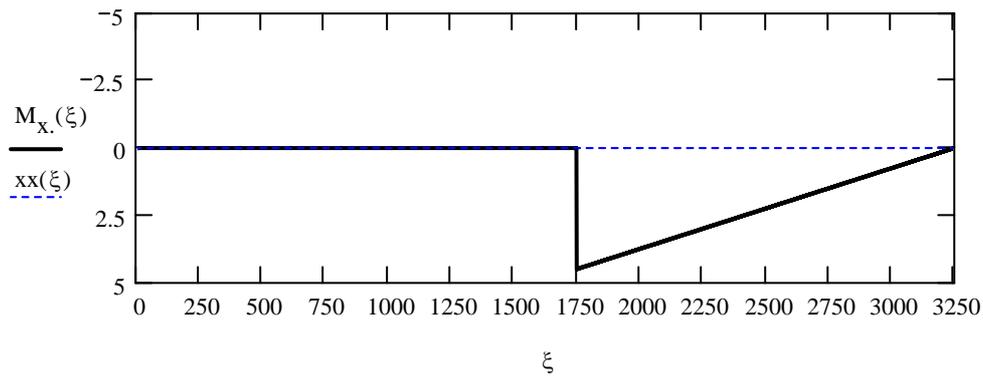
$$T_y(0) = 0 \quad T_y(1750) = 0 \quad T_y(1750.001) = -3 \quad T_y(3250) = -3$$



Momento M_x (in kNm)

$$M_{x.}(\xi) := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq \xi \leq 1000 \\ 0 & \text{if } 1000 \leq \xi \leq 1750 \\ 3 \cdot \frac{3250 - \xi}{1000} & \text{otherwise} \end{cases}$$

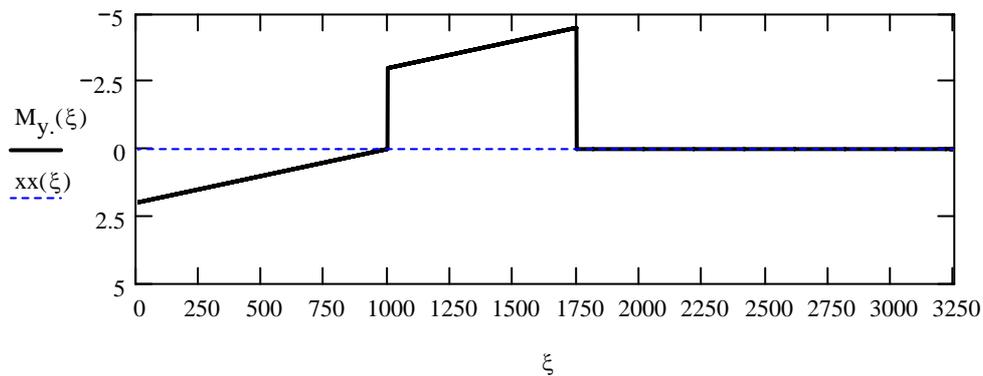
$$M_{x.}(0) = 0 \quad M_{x.}(1750) = 0 \quad M_{x.}(1750.001) = 4.5 \quad M_{x.}(3250) = 0$$



Momento M_y (in kNm)

$$M_{y.}(\xi) := \begin{cases} 2 \cdot \frac{1000 - \xi}{1000} & \text{if } 0 \leq \xi \leq 1000 \\ 2 \cdot \frac{1750 - \xi}{1000} - 3 \cdot \frac{1500}{1000} & \text{if } 1000 \leq \xi \leq 1750 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

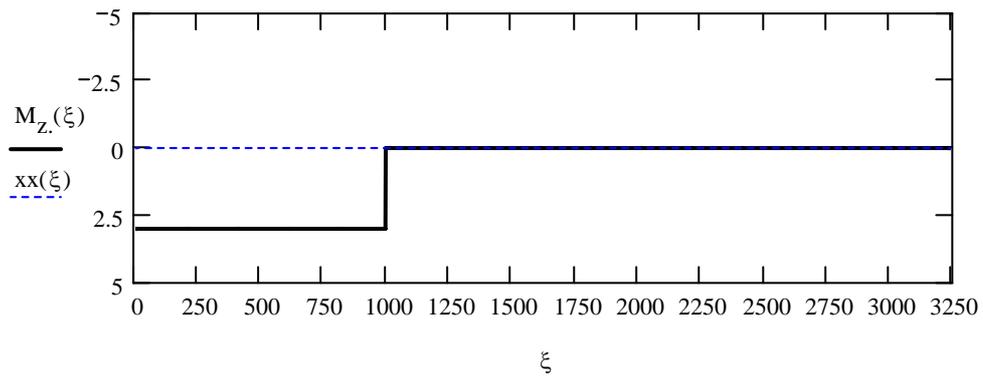
$$M_{y.}(0) = 2 \quad M_{y.}(1000) = 0 \quad M_{y.}(1000.001) = -3 \quad M_{y.}(1750) = -4.5 \quad M_{y.}(1750.001) = 0$$



Momento M_Z (in kNm)

$$M_{Z.}(\xi) := \begin{cases} 3 \cdot \frac{1500}{1000} - 2 \cdot \frac{750}{1000} & \text{if } 0 \leq \xi \leq 1000 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{Z.}(0) = 3 \quad M_{Z.}(1000) = 3 \quad M_{Z.}(1000.001) = 0 \quad M_{Z.}(3250) = 0$$



Quesito 2b

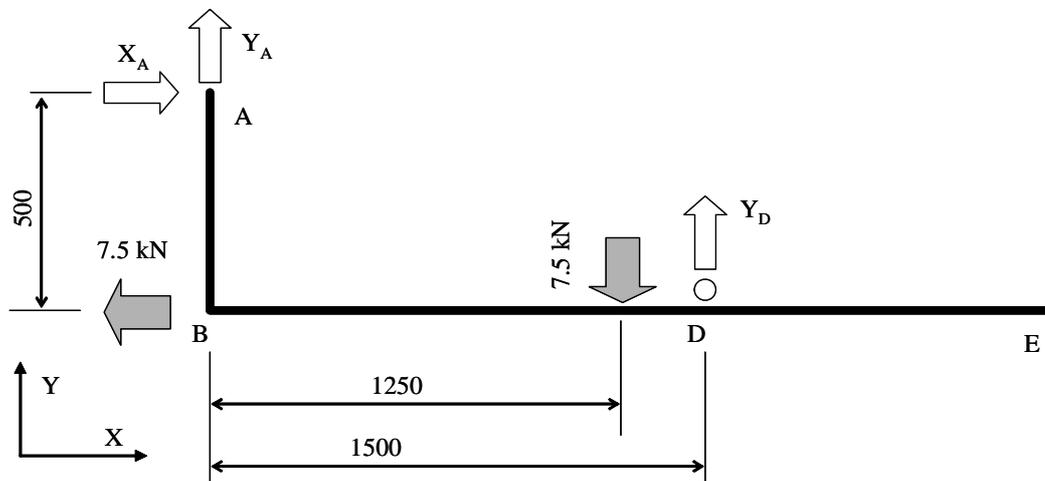
Calcolo reazioni vincolari esterne

La struttura è esternamente isostatica. Per il calcolo delle reazioni vincolari esterne è quindi possibile impiegare le equazioni cardinali della statica.

A tale scopo, si fissa preliminarmente un sistema di riferimento cartesiano ortogonale e si traccia un diagramma di corpo libero sostituendo i vincoli con le relative reazioni vincolari incognite.

Si nota che il cavo, per definizione, può trasmettere solo forze dirette lungo la sua fibra assiale. Pertanto esso esercita sulla trave esclusivamente una forza verticale, che si può assumere come reazione incognita (Y_D nella figura)

Ai fini del calcolo delle reazioni vincolari il carico distribuito viene sostituito con un carico concentrato "staticamente equivalente". Si ottiene in tal modo il seguente schema di calcolo:



Dalle Equazioni di equilibrio si ottiene (forze in N, lunghezze in mm, momenti calcolati rispetto al polo A):

$$X_A := 0 \quad Y_A := 0 \quad Y_D := 0$$

Given

$$R_x = 0 \text{ --->} \quad X_A - 7500 = 0$$

$$R_y = 0 \text{ --->} \quad Y_A + Y_D - 7500 = 0$$

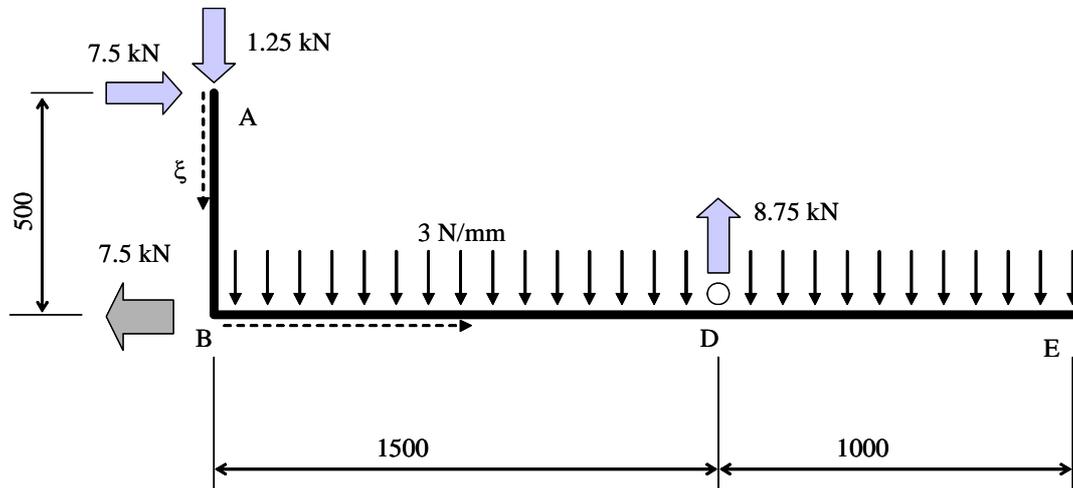
$$M_z A = 0 \text{ --->} \quad Y_D \cdot 1500 - 7500 \cdot 1250 - 7500 \cdot 500 = 0$$

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Y_D \end{pmatrix} := \text{Find}(X_A, Y_A, Y_D)$$

Ottenendo i seguenti valori delle reazioni vincolari (in N):

$$X_A = 7.5 \times 10^3 \quad Y_A = -1.25 \times 10^3 \quad Y_D = 8.75 \times 10^3$$

Si ottiene in tal modo il seguente diagramma di corpo libero dell'intera struttura, con tutte le forze esterne applicate



Tracciamento diagrammi caratteristiche di sollecitazione

Ai fini del tracciamento dei diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione, si introduce la coordinata curvilinea ξ (origine nel punto A) e si fissa sulla generica sezione il sistema di riferimento corrente N-T secondo le usuali convenzioni.

Nelle figure seguenti, i diagrammi delle caratteristiche di sollecitazione sono rappresentati per semplicità in forma rettilinea.

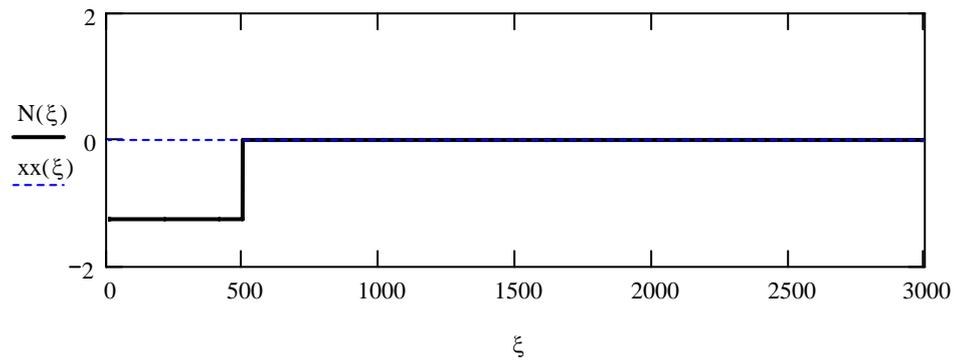
Ai fini di una loro più agevole comprensione, si richiama l'attenzione sulla seguente corrispondenza tra i valori di ξ ed i punti salienti della struttura: A -> $\xi=0$; B -> $\xi=500$; D -> $\xi=2000$; E -> $\xi=3000$.

Forza Normale (in kN)

La forza normale è data da:

$$\xi := 0, 1 \dots 3000 \qquad \text{xx}(\xi) := 0$$
$$\text{N}(\xi) := \begin{cases} -1.25 & \text{if } 0 \leq \xi \leq 500 & \text{Tratto A-B} \\ 0 & \text{if } 500 \leq \xi \leq 2000 & \text{Tratto B-D} \\ 0 & \text{otherwise} & \text{Tratto D-E} \end{cases}$$

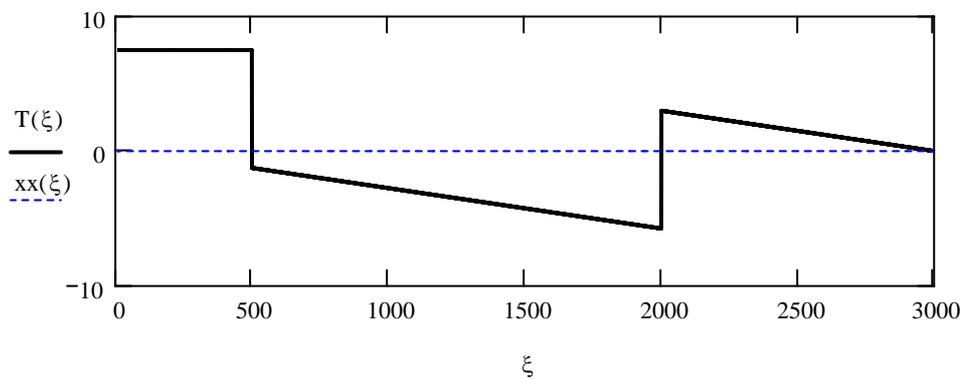
$$\text{N}(0) = -1.25 \quad \text{N}(500) = -1.25 \quad \text{N}(500.001) = 0 \quad \text{N}(3000) = 0$$



Taglio T (in kN)

$$\text{T}(\xi) := \begin{cases} 7.5 & \text{if } 0 \leq \xi \leq 500 \\ -8.75 + \frac{3 \cdot (3000 - \xi)}{1000} & \text{if } 500 \leq \xi \leq 2000 \\ \frac{3 \cdot (3000 - \xi)}{1000} & \text{otherwise} \end{cases}$$

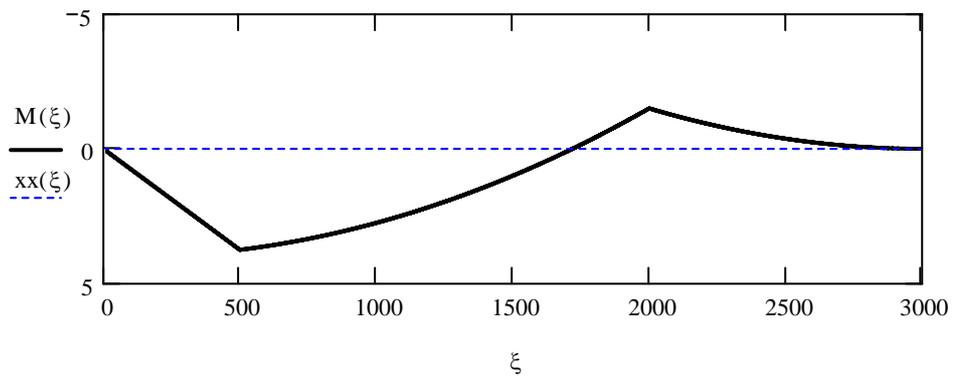
$$\text{T}(0) = 7.5 \quad \text{T}(500) = 7.5 \quad \text{T}(500.001) = -1.25 \quad \text{T}(2000) = -5.75 \quad \text{T}(2000.001) = 3 \quad \text{T}(3000) = 0$$



Momento M (in kNm)

$$M(\xi) := \begin{cases} 7.5 \cdot \frac{\xi}{1000} & \text{if } 0 \leq \xi \leq 500 \\ 8.75 \cdot \frac{2000 - \xi}{1000} - \frac{3}{1000} \cdot \frac{(3000 - \xi)^2}{2 \cdot 1000} & \text{if } 500 \leq \xi \leq 2000 \\ \frac{-3}{1000} \cdot \frac{(3000 - \xi)^2}{2 \cdot 1000} & \text{otherwise} \end{cases}$$

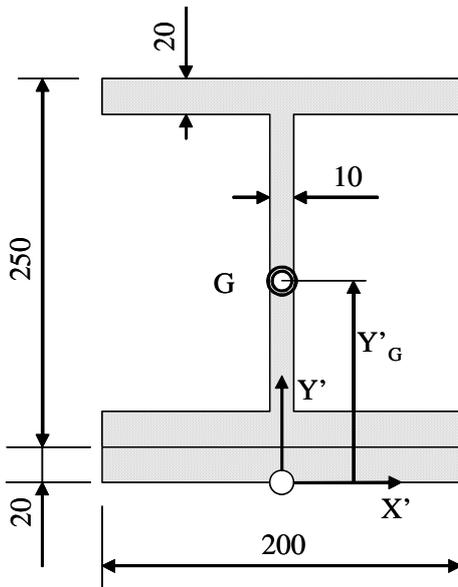
$$M(0) = 0 \quad M(500) = 3.75 \quad M(2000) = -1.5 \quad M(3000) = 0$$



Quesito 3

Posizione del baricentro

La posizione del baricentro in direzione orizzontale è nota, in quanto esso giace sull'asse di simmetria verticale della sezione. Al fine di determinare la quota verticale si fissa un sistema di riferimento ausiliario a piacere $X'Y'$ (nella figura l'origine si trova sul lato inferiore della sezione).



Suddivisa la figura in rettangoli, corrispondenti all'anima ed alle due piattabande, se ne calcola l'area e la quota baricentrica nel sistema $X'Y'$:

$$A_1 := 200 \cdot 40 \quad \text{Area primo rettangolo (piattabanda inferiore)}$$

$$Y_{G1} := 20 \quad \text{Quota baricentro primo rettangolo}$$

$$A_2 := 210 \cdot 10 \quad \text{Area secondo rettangolo (anima)}$$

$$Y_{G2} := 40 + \frac{210}{2} \quad \text{etc.}$$

$$A_3 := 200 \cdot 20$$

$$Y_{G3} := 20 + 250 - 10$$

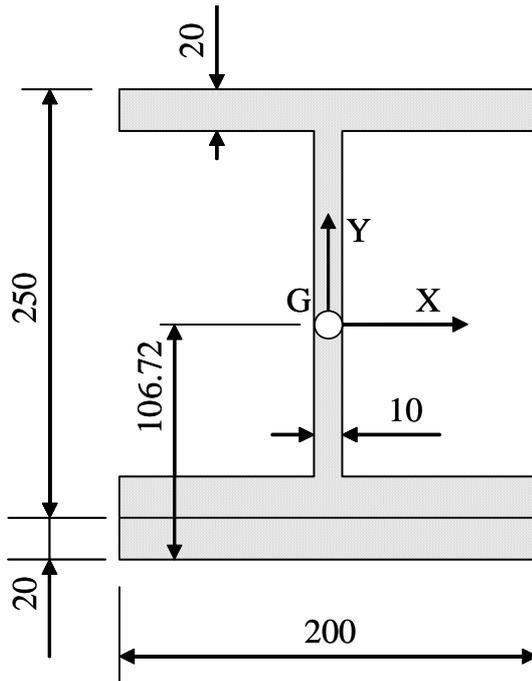
La posizione del baricentro può essere determinata tramite la nota relazione

$$Y_G := \frac{A_1 \cdot Y_{G1} + A_2 \cdot Y_{G2} + A_3 \cdot Y_{G3}}{A_1 + A_2 + A_3} \quad Y_G = 106.702$$

Una volta trovato il baricentro, è immediato individuare gli assi principali di inerzia, uno dei quali coincide con l'asse di simmetria verticale della sezione, mentre l'altro risulta ad esso ortogonale

Momento attorno all'asse X

Il momento attorno all'asse centrale principale X può essere valutato come somma dei contributi dei tre rettangoli precedentemente utilizzati. Il contributo di ciascuno dei tre rettangoli include il momento "intrinseco" (rispetto ad un asse passante per il baricentro del rettangolo stesso) ed il momento "di trasporto".



$$J_{X1} := \frac{1}{12} \cdot (200) \cdot 40^3 + A_1 \cdot (Y_{G1} - Y_G)^2$$

$$J_{X2} := \frac{1}{12} \cdot (10) \cdot (250 - 2 \cdot 20)^3 + A_2 \cdot (Y_{G2} - Y_G)^2$$

$$J_{X3} := \frac{1}{12} \cdot (200) \cdot 20^3 + A_3 \cdot (Y_{G3} - Y_G)^2$$

$$J_X := J_{X1} + J_{X2} + J_{X3}$$

$$J_X = 1.661 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

Momento attorno all'asse Y

Il momento attorno ad Y può essere valutato in maniera analoga a quello attorno all'asse X. E' tuttavia necessario tener presente che l'asse Y globale della sezione coincide con l'asse y baricentrico dei singoli rettangoli, per cui non è necessario includere il momento di trasporto.

$$J_{Y1} := \frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 200^3$$

$$J_{Y2} := \frac{1}{12} \cdot (250 - 20 \cdot 2) \cdot 10^3$$

$$J_{Y3} := \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 200^3$$

$$J_Y := J_{Y1} + J_{Y2} + J_{Y3}$$

$$J_Y = 4.002 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Quesito 4

Variazione unità di misura

Si esprimono le caratteristiche di sollecitazione in N e Nmm..

$$M_x := 75 \cdot 10^6 \quad \text{N*mm}$$

$$M_y := 80 \cdot 10^6 \quad \text{N*mm}$$

$$M_z := 55 \cdot 10^6 \quad \text{N*mm}$$

$$N := 5 \cdot 10^5 \quad \text{N}$$

Calcolo Momenti di Inerzia ed area

$$J_x := \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 180^3 - \frac{1}{12} \cdot (100 - 2 \cdot 12) \cdot (180 - 2 \cdot 7)^3 \quad J_x = 1.963 \times 10^7 \quad \text{mm}^4$$

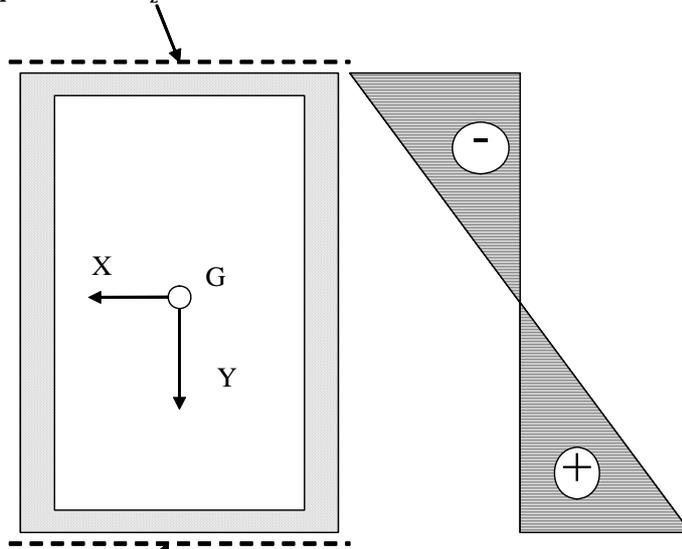
$$J_y := \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 100^3 - \frac{1}{12} \cdot (180 - 2 \cdot 7) \cdot (100 - 2 \cdot 12)^3 \quad J_y = 8.927 \times 10^6 \quad \text{mm}^4$$

$$A := 100 \cdot 180 - (100 - 2 \cdot 12) \cdot (180 - 2 \cdot 7) \quad A = 5.384 \times 10^3 \quad \text{mm}^2$$

Tensioni dovute ad M_x

Dato che, vista la simmetria, l'asse "X" è uno degli assi principali di inerzia, la flessione attorno ad "X" è un caso di flessione retta. Le tensioni consistono quindi nella sola σ_z , sono date dalla formula di Navier e risultano costanti con "X" e lineari in "Y". I valori massimi e minimi si verificano nelle zone indicate nella figura seguente.

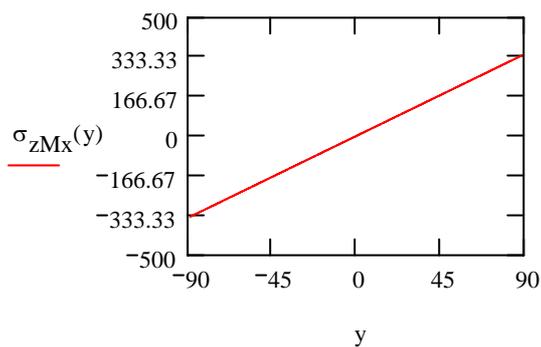
Su questa linea σ_z assume valore minimo



Su questa linea σ_z assume valore massimo

$$y := -90..90$$

$$\sigma_{zMx}(y) := \frac{M_x}{J_x} \cdot y \quad \text{Formula di Navier per } M_x$$



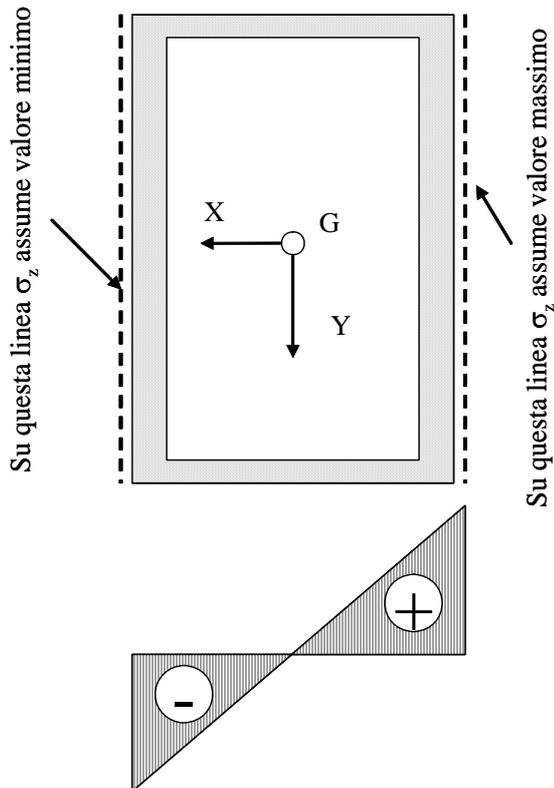
Variazione con "y" della tensione σ_z dovuta al momento M_x

$$\sigma_{zMx}(90) = 343.871 \quad \text{MPa} \quad \text{Valore massimo}$$

$$\sigma_{zMx}(-90) = -343.871 \quad \text{MPa} \quad \text{Valore minimo}$$

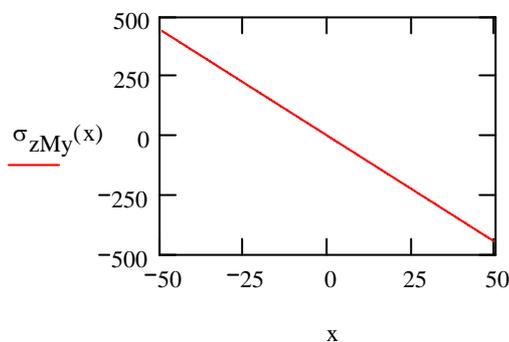
Tensioni dovute ad M_y

Dato che anche l'asse "Y" è uno degli assi principali di inerzia, anche la flessione attorno ad "Y" è un caso di flessione retta. Le tensioni consistono quindi nella sola σ_z , sono date dalla formula di Navier e risultano costanti con "Y" e lineari in "X". I valori massimi e minimi si verificano nelle zone indicate nella figura seguente.



$$x := -50..50$$

$$\sigma_{zM_y}(x) := -\frac{M_y}{J_y} \cdot x \quad \text{Formula di Navier per } M_y$$



Variazione con "x" della tensione σ_z dovuta al momento M_y

$$\sigma_{zM_y}(-50) = 448.054 \quad \text{MPa} \quad \text{Valore massimo}$$

$$\sigma_{zM_y}(50) = -448.054 \quad \text{MPa} \quad \text{Valore minimo}$$

Tensioni dovute a N

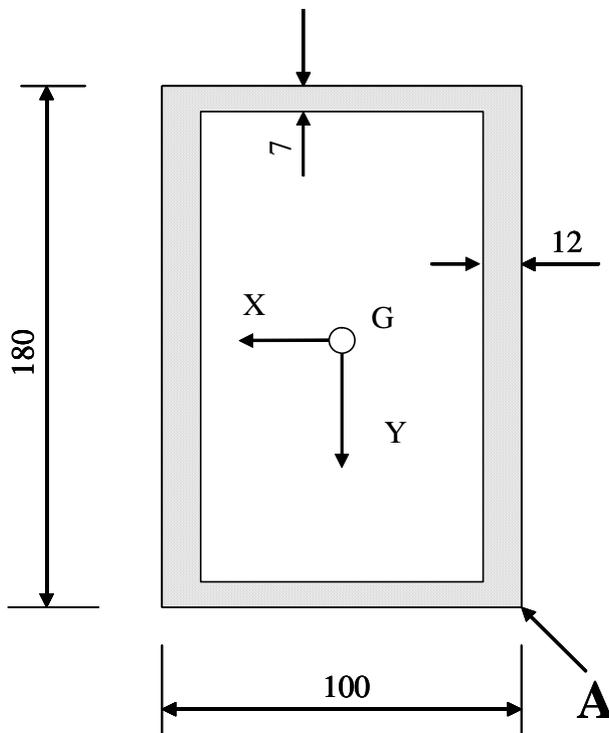
Le tensioni dovute a N sono uniformi sulla sezione e sono date da:

$$\sigma_{zN} := \frac{N}{A} \quad \sigma_{zN} = 92.868$$

Tensioni normali totali e loro valore massimo

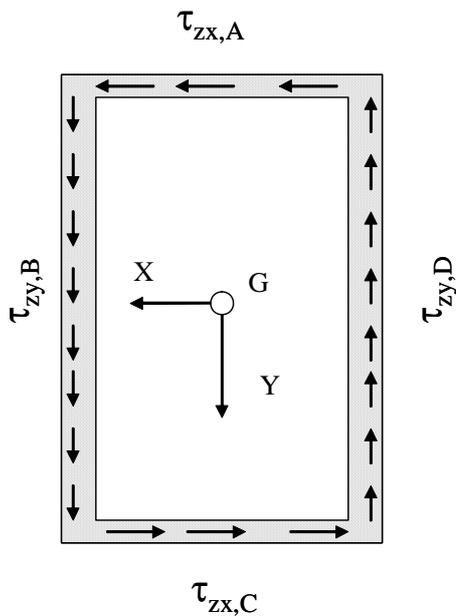
Le tensioni normali totali sono date, punto per punto, dalla somma dei tre contributi. In base agli andamenti trovati, il valore massimo si verifica nel punto A indicato in figura ed è pari a:

$$\sigma_{zmax} := \sigma_{zMx}(90) + \sigma_{zMx}(-50) + \sigma_{zN} \quad \sigma_{zmax} = 884.793 \quad \text{MPa}$$



Tensioni dovute ad M_z

Le tensioni tangenziali prodotte dal momento torcente possono essere stimate con la formula di Bredt. Esse hanno l'andamento mostrato in figura e risultano massime in valore assoluto nelle zone in cui lo spessore è minore (A e C) e minime in valore assoluto nelle zone in cui lo spessore è maggiore (B e D). I relativi valori sono stimabili come segue:



$$\Omega := (100 - 12) \cdot (180 - 7)$$

Area racchiusa dal profilo medio

$$\tau_{zx,A} := \frac{M_z}{2 \cdot \Omega \cdot 7} \quad \tau_{zx,A} = 258.051 \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{zy,B} := \frac{M_z}{2 \cdot \Omega \cdot 12} \quad \tau_{zy,B} = 150.53 \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{zx,C} := -\frac{M_z}{2 \cdot \Omega \cdot 7} \quad \tau_{zx,C} = -258.051 \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{zy,D} := -\frac{M_z}{2 \cdot \Omega \cdot 12} \quad \tau_{zy,D} = -150.53 \quad \text{MPa}$$