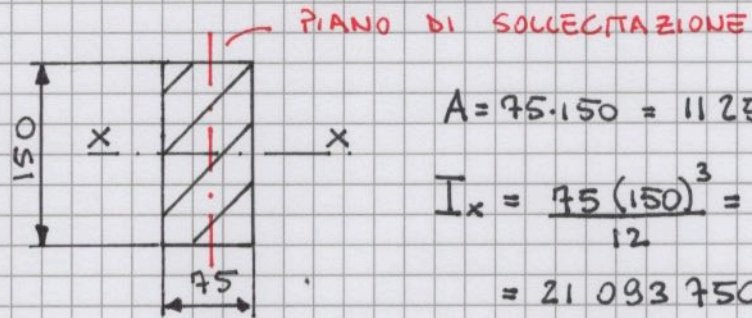
CARICO :  $q = 10 \text{ N/mm}$ MATERIALE : ACCIAIO  $E = 210 \text{ GPa}$ ,  $\nu = 0.3$ 

SEZIONE : RETTANGOLARE



$$A = 75 \cdot 150 = 11250 \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{75 (150)^3}{12} = 21093750 \text{ mm}^4$$

Si osservi che il momento di inerzia da inserire nelle formule del Principio dei Lavori Virtuali è quello calcolato rispetto all'asse  $x-x$ , baricentrico e principale.

Il fattore di taglio  $\chi$  tiene conto dell'ingrossamento della sezione nel calcolo della deformazione. Per i rettangoli vale :  $\chi = 1.2$

Si calcola il modulo di elasticità tangenziale  $G$  attraverso le formule valide per materiali isotropi.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{210000}{2(1.3)} = 80769,2308 \text{ MPa}$$

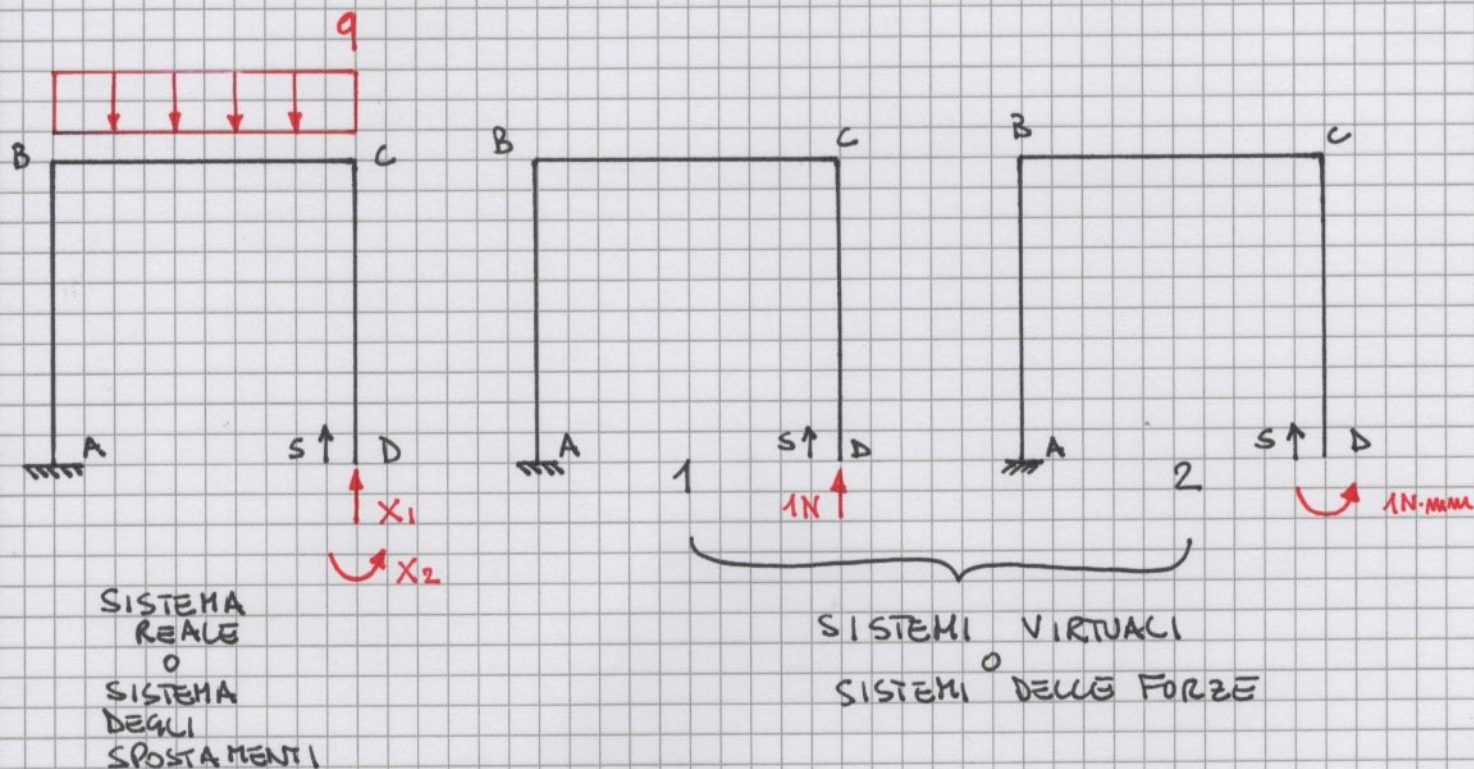
### STATICITÀ

La struttura è del tipo a "portale", costituita da un'unica asta opportunamente piegate. Questa è vincolata a terra da un incastro in A (3 GdV) e un pattino in D (2 GdV). La struttura risulta quindi IPERSTATICA 2 VOLTE.

### PRINCIPIO DEI LAVORI VIRTUALI

Per la soluzione del problema iperstatico si utilizza il Principio dei Lavori Virtuali (PLV). Vediamo i passi dell'analisi:

- 1) Si sopprimono i gradi di vincolo in eccesso, SENZA RENDERE LABILE LA STRUTTURA.
- 2) Si divide la struttura in un sistema REALE (isostatico associato più sezioni iperstatiche inoperte) e in uno o più sistemi VIRTUALI, e si cerca il grado di iperstaticità.



Nel nostro caso abbiamo represso i due qdv del polinomio. Abbiamo quindi i sistemi virtuali o delle forze.

- **SISTEMA REALE**: da questo sistema si calcolano le sollecitazioni interne dovute ai carichi attivi e alle reazioni incognite  $x_1$  e  $x_2$ . ( $dm$ ,  $dt$ ,  $d\varphi$  e  $d\vartheta$ )
- **SISTEMA VIRTUALE**: da questo sistema si calcolano le azioni interne  $N_1$ ,  $T_1$ ,  $M_1$  e  $M_{T1}$  ( $N_2$ ,  $T_2$ ,  $M_2$  e  $M_{T2}$ ) dovute rispettivamente alle forze unitarie e alle coppie unitarie.
- **LAVORO INTERNO**: il lavoro virtuale interno è il lavoro compiuto dalle sollecitazioni del sistema virtuale sulle deformazioni del sistema ~~effettivo~~ reale.

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{INT} &= \int_s N_1 dm + T_1 dt + M_1 d\varphi + M_{T1} d\vartheta = \\ &= \int_s N_1 \frac{N ds}{EA} + \chi \frac{T_1 T ds}{GA} + \frac{M_1 M ds}{EI} + \frac{M_{T1} M_T ds}{GJ_p} = \\ &= \int_s \left( \frac{N_1 N}{EA} + \chi \frac{T_1 T}{GA} + \frac{M_1 M}{EI} + \frac{M_{T1} M_T}{GJ_p} \right) ds \end{aligned}$$

dove:  $dm = \frac{N ds}{EA}$      $dt = \chi \frac{T ds}{GA}$      $d\varphi = \frac{M ds}{EI}$      $d\vartheta = \frac{M_T ds}{GJ_p}$

• LAVORO ESTERNO :

il lavoro virtuale esterno è definito come il lavoro compiuto dalle forze esterne (attive e vincolari) del sistema VIRTUALE sugli spostamenti e sui cedimenti vincolari del sistema REALE.

$$L_{EXT} = 1 \cdot \delta_D + 1 \cdot \vartheta_D$$

Noi ci occupiamo solamente di vincoli perfetti, quindi senza cedimenti. Di conseguenza  $\delta_D$  e  $\vartheta_D$  sono nulli, e quindi anche il lavoro esterno è nullo.

Si come il nostro sistema è iperstatico 2 volte dovremo utilizzare due equazioni, e quindi un sistema, per definire le incognite  $X_1$  e  $X_2$ .

Ricordiamo bene il Teorema del Lavoro Virtuale:

- Assumendo un sistema CONGRUENTE (il caso di spostamenti e deformazioni soddisfa le condizioni al contorno imposte dai vincoli), e INDIPENDENTEMENTE, un sistema EQUILIBRATO (le forze esterne insieme alle azioni interne soddisfano le equazioni di equilibrio indefinite), il lavoro virtuale esterno è uguale al lavoro virtuale interno.

$$L_{EXT} = L_{INT}$$

Andando per questo detto definiamo le azioni interne del sistema REALE come:

$$N = N(x_1, x_2), \quad T = T(x_1, x_2), \quad M = M(x_1, x_2), \quad M_T = M_T(x_1, x_2)$$

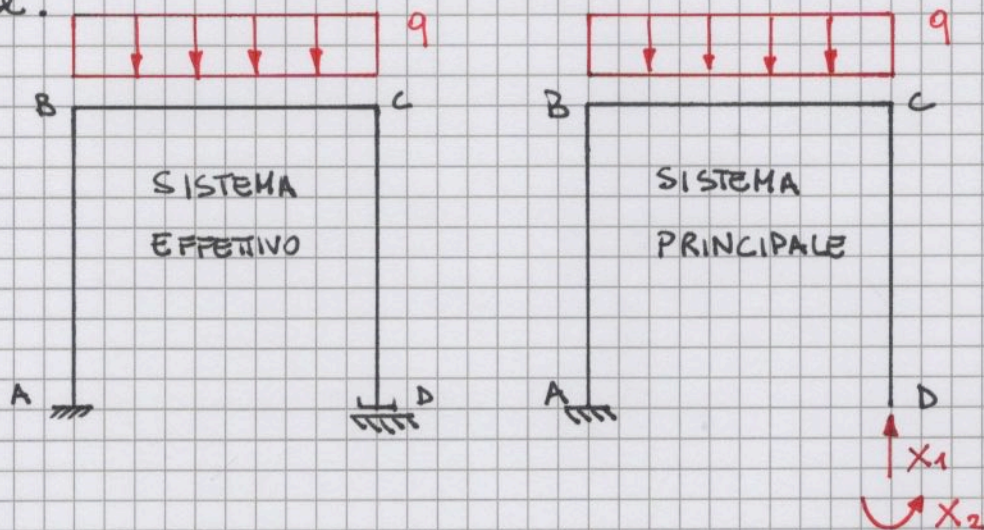
$N, T, M$  e  $M_T$  contengono al loro interno le incognite  $x_1$  e  $x_2$ . Dobbiamo ora considerare le azioni interne del sistema virtuale 1 e 2 con le deformazioni del sistema reale.

$$\rightarrow 1 \cdot \delta_D = 0 = \int_S \left( \frac{N_1 N}{EA} + x \frac{T_1 T}{GA} + \frac{M_1 M}{EI} + \frac{M_{T1} M_T}{GJ_P} \right) ds \quad \text{SIST. VIR. 1}$$

$$\rightarrow 1 \cdot \vartheta_D = 0 = \int_S \left( \frac{N_2 N}{EA} + x \frac{T_2 T}{GA} + \frac{M_2 M}{EI} + \frac{M_{T2} M_T}{GJ_P} \right) ds \quad \text{SIST. VIR. 2}$$

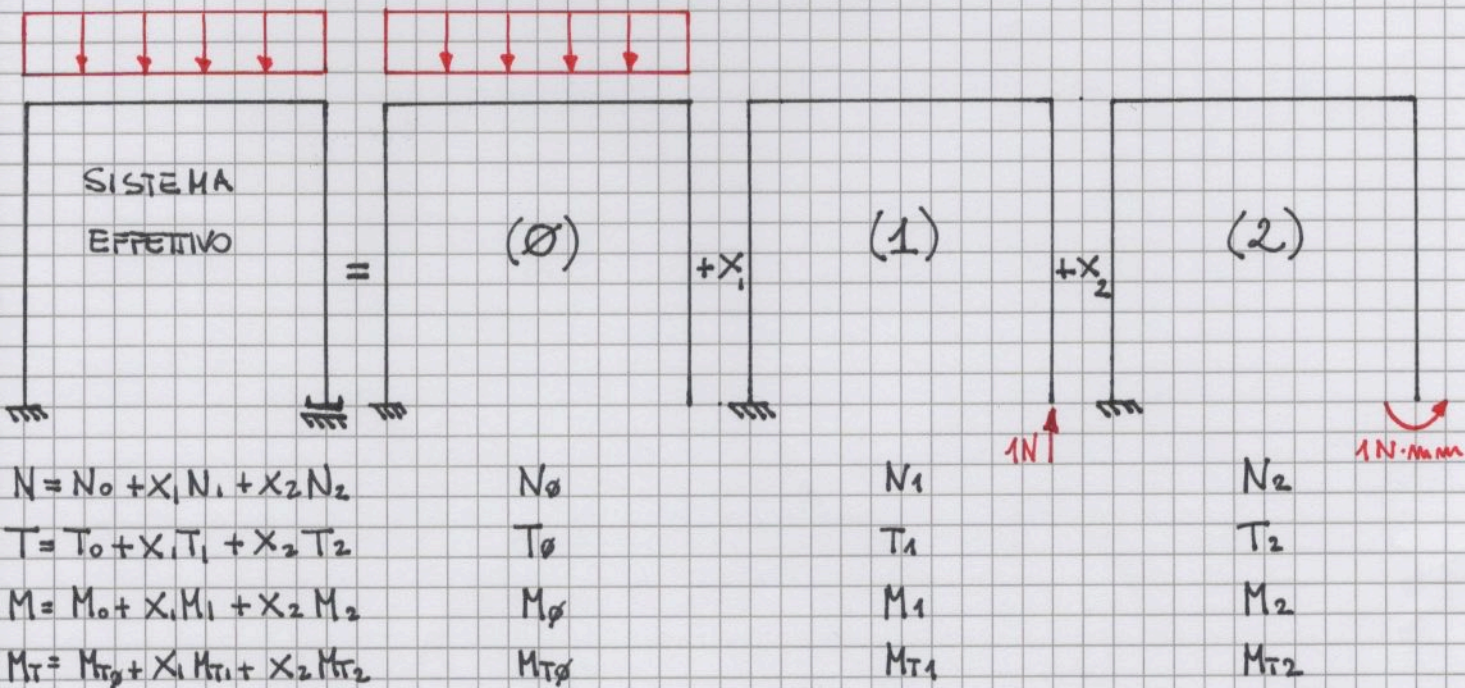
# METODO DELLE FORZE (EQ. DI HÜLLER-BRESLAU)

Quando finore erano rimette un po' meccanica quando si ha e che fare con numero incognite iperstatiche. Ci si rifà allora al metodo delle forze.



Il sistema effettivo è quello da portarsi.

- **SISTEMA PRINCIPALE**: il sistema principale è ottenuto sopprimendo le  $M$  reazioni iperstatiche in eccesso. Si evidenziano quindi le  $i$  reazioni esterne  $X_i$  con  $i = 1, \dots, M$ . Nel nostro caso  $M = 2$ .



- **SISTEMA (0)**: si considera il sistema principale concesso con le sole forze esterne attive ( $q$ ). Si ottengono le azioni interne  $N_0, T_0, M_0$  e  $M_{T0}$ .

- **SISTEMI VIRTUALI (i)**: si considerano sempre il sistema principale applicandogli, una alla volta, le  $m$  incognite iperstatiche, e ad  $m$  sempre un valore arbitrario (unitario). Si calcolano per ciascuno le azioni interne  $N_i, T_i, M_i$  e  $M_{Ti}$ .
- **INCOGNITE IPERSTATICHE**: si determinano le  $m$  incognite iperstatiche  $X_i$  calcolando gli spostamenti in corrispondenza dei vincoli opposti e imponendo la compatibilità cinematica con i vincoli della struttura effettiva. Tale calcolo si effettua con il PLV come in precedenza.
- **DIAGRAMMI FINALI**: ricavate le  $X_i$  si ottengono le azioni interne  $N, T, M$  e  $M_T$  sfruttando il principio di sovrapposizione degli effetti:

$$N = N_0 + \sum_{i=1}^m X_i N_i \quad T = T_0 + \sum_{i=1}^m X_i T_i$$

$$M = M_0 + \sum_{i=1}^m X_i M_i \quad M_T = M_{T0} + \sum_{i=1}^m X_i M_{Ti}$$

Applicando questo detto al nostro sistema si ottiene un sistema  $2 \times 2$ .

1° equazione

$$\Delta_{ext}^I = \Delta_0 \cdot 1 = \phi = \eta_1$$

$$\Delta_{int}^I = \int_S \underbrace{N_1 dm}_{f(N)} + \underbrace{T_1 dt}_{f(T)} + \underbrace{M_1 dl}_{f(M)} + \underbrace{M_{T1} d\varphi}_{f(M_T)} =$$

$$= \int_S \left[ \frac{N_1 (N_0 + X_1 N_1 + X_2 N_2)}{EA} + \chi \frac{T_1 (T_0 + T_1 X_1 + X_2 T_2)}{GA} + \frac{M_1 (M_0 + X_1 M_1 + X_2 M_2)}{EI} \right. \\ \left. + \frac{M_{T1} (M_{T0} + X_1 M_{T1} + X_2 M_{T2})}{G J_p} \right] ds =$$

$$= \int_S \left[ \frac{N_1 N_0}{EA} + \chi \frac{T_1 T_0}{GA} + \frac{M_1 M_0}{EI} + \frac{M_{T1} M_{T0}}{G J_p} \right] ds + \chi \int_S \left[ \frac{N_1^2}{EA} + \chi \frac{T_1^2}{GA} + \frac{M_1^2}{EI} + \frac{M_{T1}^2}{G J_p} \right] ds$$

$$+ \frac{M_{T1}^2}{G J_p} \Big] ds + X_2 \int_S \left[ \frac{N_1 N_2}{EA} + \chi \frac{T_1 T_2}{GA} + \frac{M_1 M_2}{EI} + \frac{M_{T1} M_{T2}}{G J_p} \right] ds$$

In definitiva possiamo scrivere la prima equazione

come: 
$$\underline{M_1 = \gamma_{10} + X_1 \gamma_{11} + X_2 \gamma_{12}}$$

2<sup>a</sup> equazione

$$\delta_{EXT}^II = \delta_{D.1} = \delta = M_2$$

$$\begin{aligned} L_{INT}^2 &= \int_S N_2 dm + T_2 dt + M_2 d\varphi + M_{T2} d\varphi = \int_S \left[ N_2 \frac{[N_0 + X_1 N_1 + X_2 N_2]}{EA} + \right. \\ &+ \left. \chi \frac{T_2 [T_0 + X_1 T_1 + X_2 T_2]}{GA} + \frac{M_2 [M_0 + X_1 M_1 + X_2 M_2]}{EI} + \frac{M_{T2} [M_{T0} + X_1 M_{T1} + X_2 M_{T2}]}{GJ_p} \right] ds \\ &= \int_S \left[ \frac{N_2 N_0}{EA} + \chi \frac{T_2 T_0}{GA} + \frac{M_2 M_0}{EI} + \frac{M_{T2} M_{T0}}{GJ_p} \right] ds + X_1 \int_S \left[ \frac{N_2 N_1}{EA} + \chi \frac{T_2 T_1}{GA} + \frac{M_2 M_1}{EI} + \right. \\ &+ \left. \frac{M_{T2} M_{T1}}{GJ_p} \right] ds + X_2 \int_S \left[ \frac{N_2^2}{EA} + \chi \frac{T_2^2}{GA} + \frac{M_2^2}{EI} + \frac{M_{T2}^2}{GJ_p} \right] ds \end{aligned}$$

$$\underline{M_2 = \gamma_{20} + X_1 \gamma_{21} + X_2 \gamma_{22}}$$

In forma matriciale possiamo scrivere:

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_1 - \gamma_{10} \\ \gamma_2 - \gamma_{20} \end{bmatrix} \rightarrow Ax = b$$

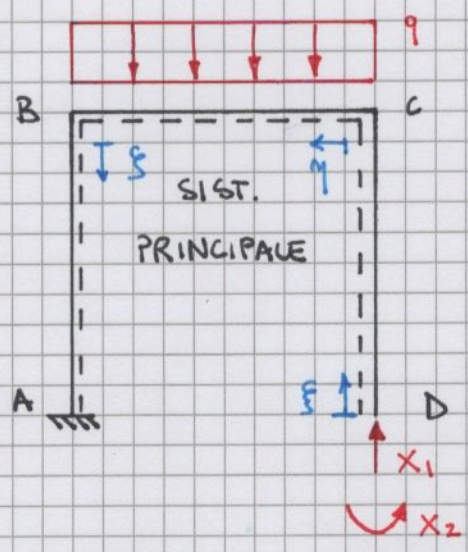
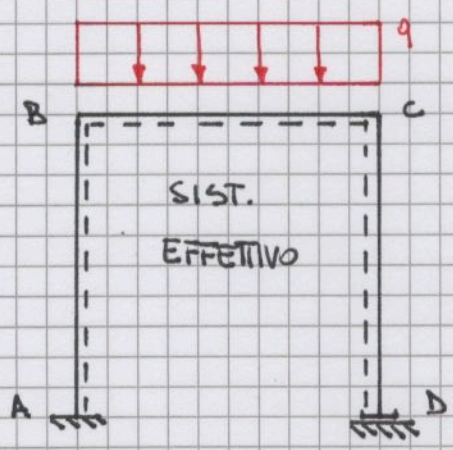
Si noti che la matrice A è SIMMETRICA in quanto  $\gamma_{12} = \gamma_{21}$ , come

avveniva anche del Teorema di Betti.

A questo punto possiamo sfruttare il metodo delle forze per studiare la nostra struttura.

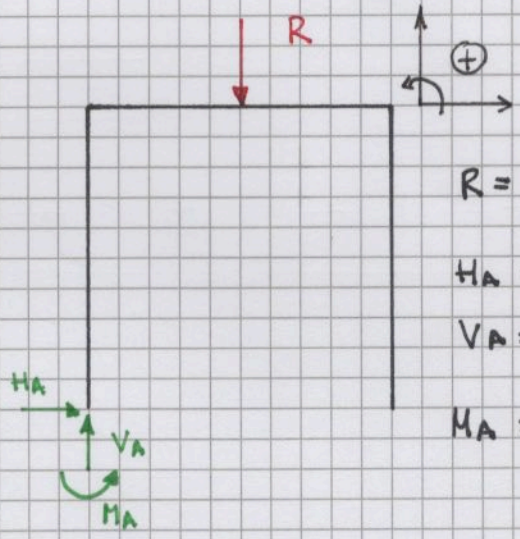
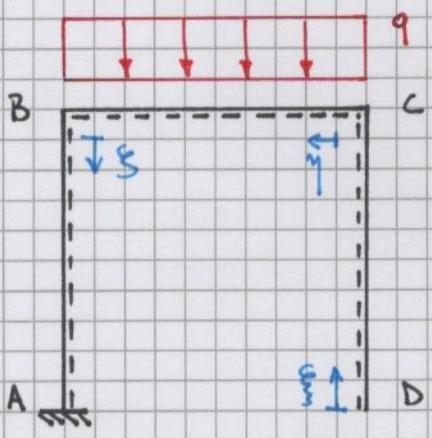
Appunti tratti da "Scienze delle Costruzioni" Paolo Cosimi  
 Monello Vasta

Struttura effettiva - Struttura principale



Si scelgono 3 tratti di intersezione.

SISTEMA (φ)

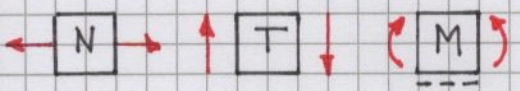


$$R = q \cdot 1000 = 10'000 \text{ N}$$

$$H_A = \phi$$

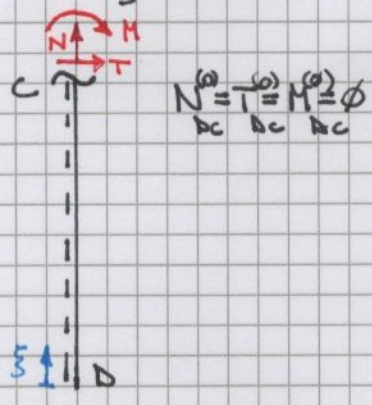
$$V_A = R = 10'000 \text{ N}$$

$$M_A = R \cdot 500 = 5'000'000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$



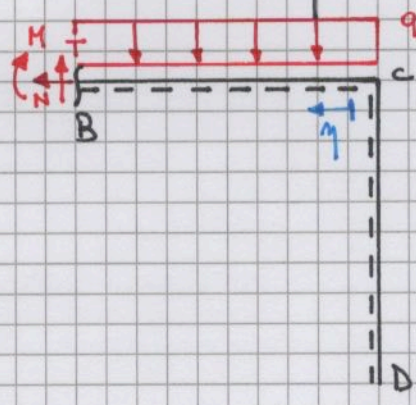
CONVENZIONI

DC  $0 < s < 1000$



$$\begin{aligned} N_{DC}^{(\phi)} &= T_{DC}^{(\phi)} = M_{DC}^{(\phi)} = \phi \end{aligned}$$

CB  $0 < \eta < 1000$



$$\begin{aligned} N_{CB}^{(\phi)} &= \phi \\ T - q\eta &= \phi \\ T_{CB}^{(\phi)} &= q\eta \\ T(\phi) &= \phi \\ T(1000) &= 10'000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M + q \frac{\eta^2}{2} = \phi$$

$$M_{CB}^{(\phi)} = -q \frac{\eta^2}{2}$$

$$M(\phi) = \phi$$

$$M(1000) = -5'000'000 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\frac{dM}{d\eta^2} = -q < \phi$$

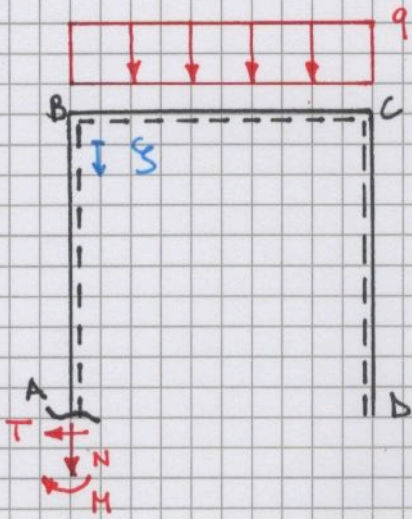
SISTEMA (0)

BA  $0 < s < 1000$

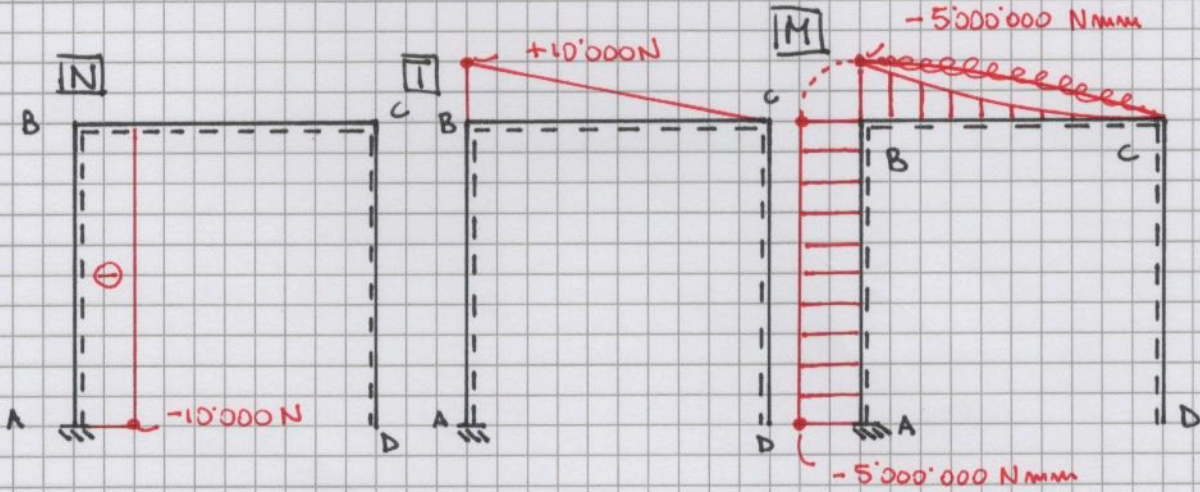
$N_{BA}^{(0)} = -q(1000) = -10'000\text{ N}$

$T_{BA}^{(0)} = \phi$

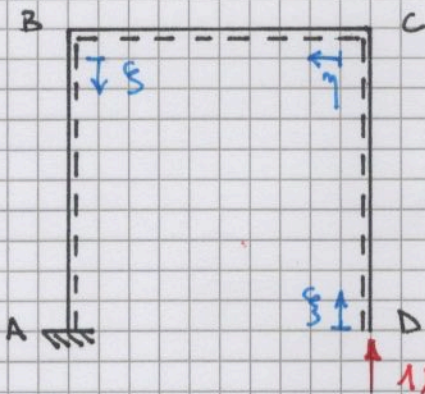
$M_{BA}^{(0)} = -q(1000)500 = -5'000'000\text{ Nmm}$



DIAGRAMMI AZIONI INTERNE STRUTTURA (0)



SISTEMA (1)

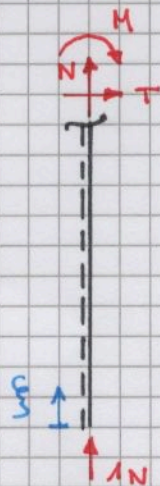


TRATTO DC  $0 < s < 1000$

$N_{DC}^{(1)} = -1\text{ N}$

$T_{DC}^{(1)} = M_{DC}^{(1)} = \phi$

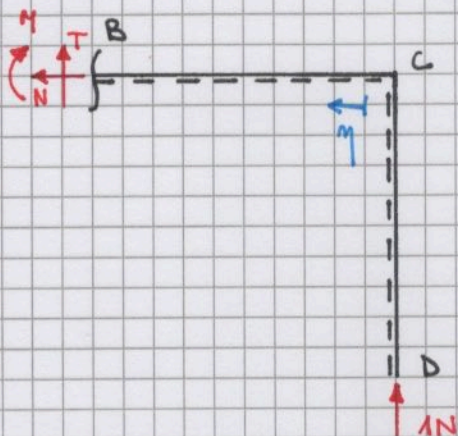
È chiarante necessario scegliere la stessa suddivisione delle zone di integrazione.





# SISTEMA (1)

TRATTO CB  $0 < \eta < 1000$



$$(1) N_{CB} = \phi$$

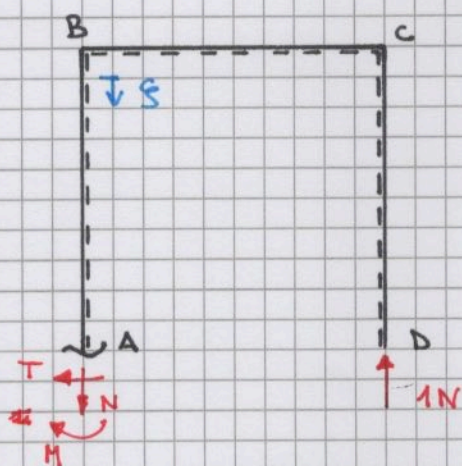
$$T_{CB}^{(1)} = -1N$$

$$M_{CB}^{(1)} = 1 \cdot \eta$$

$$M(\phi) = \phi$$

$$M(1000) = 1000 \text{ Nmm}$$

TRATTO BA  $0 < \xi < 1000$

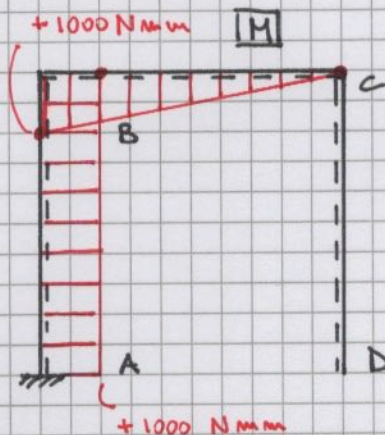
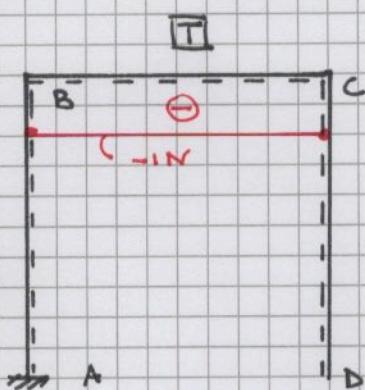
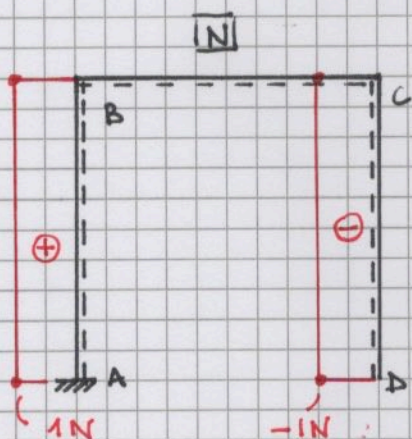


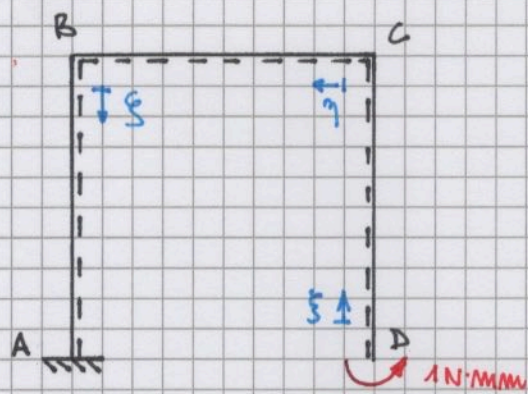
$$(1) N_{BA} = 1N$$

$$T_{BA}^{(1)} = \phi$$

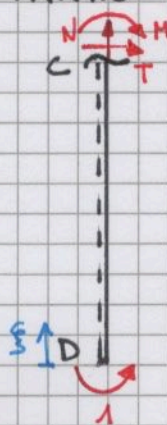
$$M_{BA}^{(1)} = 1(1000) = 1000 \text{ Nmm}$$

DIAGRAMMI AZIONI INTERNE STRUTTURA (1)





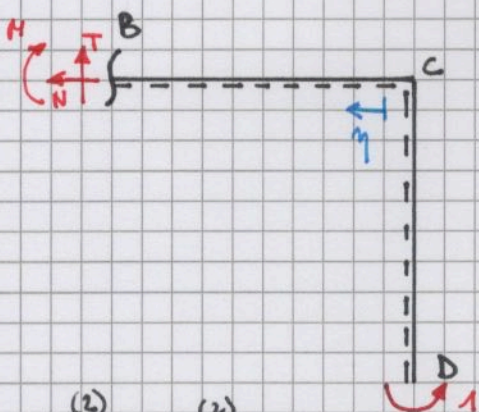
TRATTO DC  $0 < \xi < 1000$



$$N_{DC}^{(2)} = T_{DC}^{(2)} = \phi$$

$$M_{DC}^{(2)} = 1 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

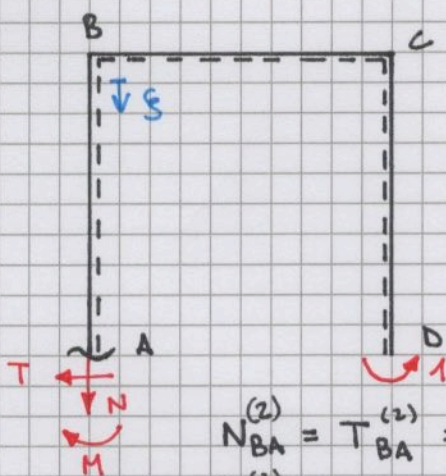
TRATTO CB  $0 < \eta < 1000$



$$N_{CB}^{(2)} = T_{CB}^{(2)} = \phi$$

$$M_{CB}^{(2)} = 1 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

TRATTO BA  $0 < \xi < 1000$

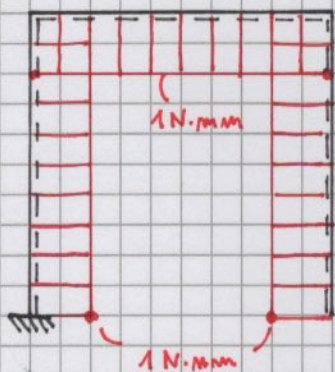


$$N_{BA}^{(2)} = T_{BA}^{(2)} = \phi$$

$$M_{BA}^{(2)} = 1 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Aziende monole e taglio sono nulli in tutta la struttura (2), quindi si ripete il solo disegno dei momenti.

M



Una volta calcolate le azioni interne dei sistemi  $\phi$ , 1 e 2 siamo pronti a calcolare i tensori  $M_{ij}$  che caratterizzano la struttura  $ij$  del sistema.

Calcolo dei contributi energetici.

$$\begin{aligned}
 M_{10} &= \int_0^{1000} \left( \frac{N_{DC}^{(1)} N_{DC}^{(0)}}{EA} + \chi \frac{T_{DC}^{(1)} T_{DC}^{(0)}}{GA} + \frac{M_{DC}^{(1)} M_{DC}^{(0)}}{EI} \right) d\xi + \\
 &\quad \text{TRATTO DC} \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{CB}^{(1)} N_{CB}^{(0)}}{EA} + \chi \frac{T_{CB}^{(1)} T_{CB}^{(0)}}{GA} + \frac{M_{CB}^{(1)} M_{CB}^{(0)}}{EI} \right) d\eta + \\
 &\quad \text{TRATTO CB} \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{BA}^{(1)} N_{BA}^{(0)}}{EA} + \chi \frac{T_{BA}^{(1)} T_{BA}^{(0)}}{GA} + \frac{M_{BA}^{(1)} M_{BA}^{(0)}}{EI} \right) d\xi = \\
 &\quad \text{TRATTO BA} \\
 &= \phi - 0.2388 - 1.1330 = \cancel{1.1330} - 1.4218
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{20} &= \int_0^{1000} \left( \frac{N_{DC}^{(2)} N_{DC}^{(0)}}{EA} + \chi \frac{T_{DC}^{(2)} T_{DC}^{(0)}}{GA} + \frac{M_{DC}^{(2)} M_{DC}^{(0)}}{EI} \right) d\xi + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{CB}^{(2)} N_{CB}^{(0)}}{EA} + \chi \frac{T_{CB}^{(2)} T_{CB}^{(0)}}{GA} + \frac{M_{CB}^{(2)} M_{CB}^{(0)}}{EI} \right) d\eta + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{BA}^{(2)} N_{BA}^{(0)}}{EA} + \chi \frac{T_{BA}^{(2)} T_{BA}^{(0)}}{GA} + \frac{M_{BA}^{(2)} M_{BA}^{(0)}}{EI} \right) d\xi = \\
 &= \phi - 3.7625E-04 - 0.0011 = \cancel{0.0011} - 0.0015
 \end{aligned}$$

Dove, dato che il materiale è isotropo, si può calcolare  $G$  mediante:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 80.763 \text{ Mpa} \quad \text{con } \nu = 0.3.$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{12} &= \int_0^{1000} \left( \frac{N_{DC}^{(1)} N_{DC}^{(2)}}{EA} + \chi \frac{T_{DC}^{(1)} T_{DC}^{(2)}}{GA} + \frac{M_{DC}^{(1)} M_{DC}^{(2)}}{EI} \right) d\xi + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{CB}^{(1)} N_{CB}^{(2)}}{EA} + \chi \frac{T_{CB}^{(1)} T_{CB}^{(2)}}{GA} + \frac{M_{CB}^{(1)} M_{CB}^{(2)}}{EI} \right) d\eta + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{BA}^{(1)} N_{BA}^{(2)}}{EA} + \chi \frac{T_{BA}^{(1)} T_{BA}^{(2)}}{GA} + \frac{M_{BA}^{(1)} M_{BA}^{(2)}}{EI} \right) d\xi = \\
 &= \cancel{\phi} + 1.1287E-07 + 2.2575E-07 + \underline{3.3862E-07}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{21} &= \int_0^{1000} \left( \frac{N_{DC}^{(2)} N_{DC}^{(1)}}{EA} + \chi \frac{T_{DC}^{(2)} T_{DC}^{(1)}}{GA} + \frac{M_{DC}^{(2)} M_{DC}^{(1)}}{EI} \right) d\xi + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{CB}^{(2)} N_{CB}^{(1)}}{EA} + \chi \frac{T_{CB}^{(2)} T_{CB}^{(1)}}{GA} + \frac{M_{CB}^{(2)} M_{CB}^{(1)}}{EI} \right) d\eta + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{N_{BA}^{(2)} N_{BA}^{(1)}}{EA} + \chi \frac{T_{BA}^{(2)} T_{BA}^{(1)}}{GA} + \frac{M_{BA}^{(2)} M_{BA}^{(1)}}{EI} \right) d\xi = \\
 &= \cancel{\phi} + 1.1287E-07 + 2.2575E-07 + \underline{3.3862E-07}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{11} &= \int_0^{1000} \left( \frac{(N_{DC}^{(1)})^2}{EA} + \chi \frac{(T_{DC}^{(1)})^2}{GA} + \frac{(M_{DC}^{(1)})^2}{EI} \right) d\xi + \int_0^{1000} \left( \frac{(N_{CB}^{(1)})^2}{EA} + \chi \frac{(T_{CB}^{(1)})^2}{GA} + \frac{(M_{CB}^{(1)})^2}{EI} \right) d\eta + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{(N_{BA}^{(1)})^2}{EA} + \chi \frac{(T_{BA}^{(1)})^2}{GA} + \frac{(M_{BA}^{(1)})^2}{EI} \right) d\xi = \cancel{2.2575E-10} + \cancel{2.2575E-10} + \cancel{2.2575E-10} + \\
 &+ 2.2617E-04 = \cancel{2.2575E-10} + \underline{3.0317E-04}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{22} &= \int_0^{1000} \left( \frac{(N_{DC}^{(2)})^2}{EA} + \chi \frac{(T_{DC}^{(2)})^2}{GA} + \frac{(M_{DC}^{(2)})^2}{EI} \right) d\xi + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{(N_{CB}^{(2)})^2}{EA} + \chi \frac{(T_{CB}^{(2)})^2}{GA} + \frac{(M_{CB}^{(2)})^2}{EI} \right) d\eta + \\
 &+ \int_0^{1000} \left( \frac{(N_{BA}^{(2)})^2}{EA} + \chi \frac{(T_{BA}^{(2)})^2}{GA} + \frac{(M_{BA}^{(2)})^2}{EI} \right) d\xi = \\
 &= \cancel{2.2575E-10} + \cancel{2.2575E-10} + \cancel{2.2575E-10} + \underline{6.7725E-10}
 \end{aligned}$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \eta_{11} & \eta_{12} \\ \eta_{21} & \eta_{22} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix}}_X = \underbrace{\begin{Bmatrix} \emptyset - \eta_{10} \\ \emptyset - \eta_{20} \end{Bmatrix}}_b \quad \begin{cases} X_1 = 5000 \text{ N} \\ X_2 = -277.777,7778 \text{ Nmm} \end{cases}$$

CALCOLO DELLE AZIONI INTERNE STRUTTURA EFFETTIVA

TRATTO DC  $0 < \xi < 1000$

- $N_{DC} = N_{DC}^{(0)} + X_1 N_{DC}^{(1)} + X_2 N_{DC}^{(2)} = -5000 \text{ N}$
- $T_{DC} = T_{DC}^{(0)} + X_1 T_{DC}^{(1)} + X_2 T_{DC}^{(2)} = \emptyset$
- $M_{DC} = M_{DC}^{(0)} + X_1 M_{DC}^{(1)} + X_2 M_{DC}^{(2)} = -277.777,7778 \text{ N}\cdot\text{mm}$

TRATTO CB  $0 < \eta < 1000$

- $N_{CB} = N_{CB}^{(0)} + X_1 N_{CB}^{(1)} + X_2 N_{CB}^{(2)} = \emptyset$
- $T_{CB} = T_{CB}^{(0)} + X_1 T_{CB}^{(1)} + X_2 T_{CB}^{(2)} = 10\eta - 5000$
- $T(\emptyset) = -5000 \text{ N}$        $T(1000) = +5000 \text{ N}$
- $T = \emptyset$  in  $\eta = 500 \text{ mm} \rightarrow$  punto stazionario per il momento
- $M_{CB} = M_{CB}^{(0)} + X_1 M_{CB}^{(1)} + X_2 M_{CB}^{(2)} = -5\eta^2 + 5000\eta - 277.777,7778$

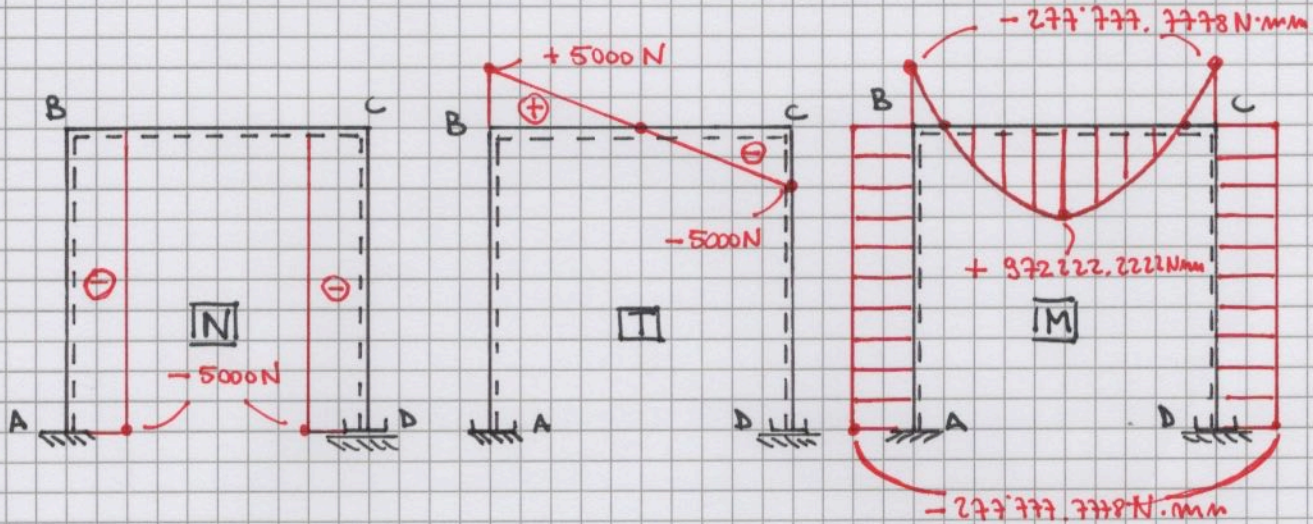
$M(\emptyset) = -277.777,7778 \text{ N}\cdot\text{mm}$        $M(1000) = -277.777,7778 \text{ N}\cdot\text{mm}$

$M(500) = +972.222,2222 \text{ N}\cdot\text{mm} \rightarrow M_{\text{MAX}} \cdot \frac{d^2 M}{d\eta^2} < \emptyset$

$M = \emptyset$  in  $\eta = 59.0414 \text{ mm}$ ,  $\eta = 940.9586 \text{ mm}$

TRATTO BA  $0 < \xi < 1000$

- $N_{BA} = N_{BA}^{(0)} + X_1 N_{BA}^{(1)} + X_2 N_{BA}^{(2)} = -5000 \text{ N}$
- $T_{BA} = T_{BA}^{(0)} + X_1 T_{BA}^{(1)} + X_2 T_{BA}^{(2)} = \emptyset$
- $M_{BA} = M_{BA}^{(0)} + X_1 M_{BA}^{(1)} + X_2 M_{BA}^{(2)} = -277.777,7778 \text{ N}\cdot\text{mm}$



Come si può osservare dai diagrammi del mondo esiste una continuità tra i diversi tratti, quindi la soluzione trovate è corretta.

Si noti che la struttura è simmetrica sia dal punto di vista della geometria che del carico. Di conseguenza anche i diagrammi delle azioni interne sono simmetrici.