

Lezione

PONTI E GRANDI STRUTTURE

Prof. Pier Paolo Rossi

Università degli Studi di Catania

IL COMPORTAMENTO DEGLI IMPALCATI DA PONTE

Ponti a travata

Modellazione

Il modello d'analisi dovrebbe :

- † riflettere la risposta strutturale in termini di deformazioni, resistenze e stabilità locale e globale.
- † includere quanto più elementi strutturali possibile (telai trasversali, irrigidimenti, appoggi...)
- † considerare tutti gli stadi di costruzione e i casi di carico
- † considerare carichi facilmente applicabili
- † consentire il comportamento dinamico e includere i più significativi modi di vibrazione
- † essere facilmente implementabile
- † determinare risultati che consentono facilmente la verifica di normativa
- † essere supportato da programmi di analisi in commercio

Ponti a travata

Modellazione

Il ponte, che è un sistema spaziale, può essere ricondotto a :

- ┆ modello monodimensionale
- ┆ modello di calcolo bidimensionale
 - piastra equivalente
 - graticcio di travi
- ┆ modello di calcolo tridimensionale

Modello monodimensionale

Ponti a travata

Modellazione monodimensionale

Pregi

- † I modelli monodimensionali sono supportati da programmi commerciali di analisi strutturale che considerano le fasi di costruzione, l'influenza della temperatura, viscosità e ritiro ed eseguono automaticamente le verifiche strutturali di normativa.

Difetti

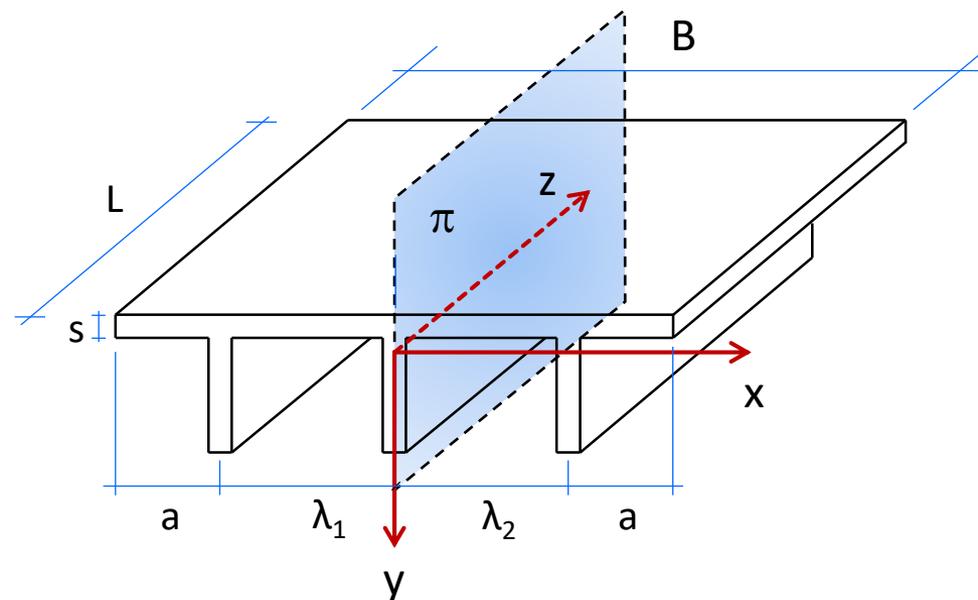
- † I modelli monodimensionali ben si adeguano al progetto per carichi verticali. Tuttavia, essi non considerano tutti gli elementi strutturali (ad esempio le travi trasversali, i controventi orizzontali). Pertanto, alcune verifiche (ad esempio l'instabilità laterale) vanno eseguite a parte.
- † I modelli monodimensionali non sono accurati per ponti curvi o sbiechi.

Ponti a travata

Modellazione monodimensionale

La soluzione del problema di De S. Venant può essere considerata se esiste un piano π , detto piano di sistema, che contiene :

- l'asse geometrico della trave
- uno degli assi principali di inerzia della sezione retta
- gli enti sollecitanti



Ponti a travata

Modellazione monodimensionale

Problemi :

- La conservazione della forma può non essere garantita visto che la sezione è a pareti sottili.

Alla conservazione della forma tende il progettista mediante l'uso di nervature trasversali.

La garanzia della conservazione della forma consentirebbe di sostituire i carichi distribuiti con le loro risultanti.

- Gli enti sollecitanti non sono spesso concentrati in corrispondenza del piano di sistema.

Ponti a travata

Modellazione monodimensionale

1. Caso della sezione indeformabile (traversi rigidi)

L'unico elemento trascurato nella utilizzazione dei risultati della trave è l'eccentricità che il carico risultante distribuito o le forze risultanti concentrate hanno rispetto al piano del sistema

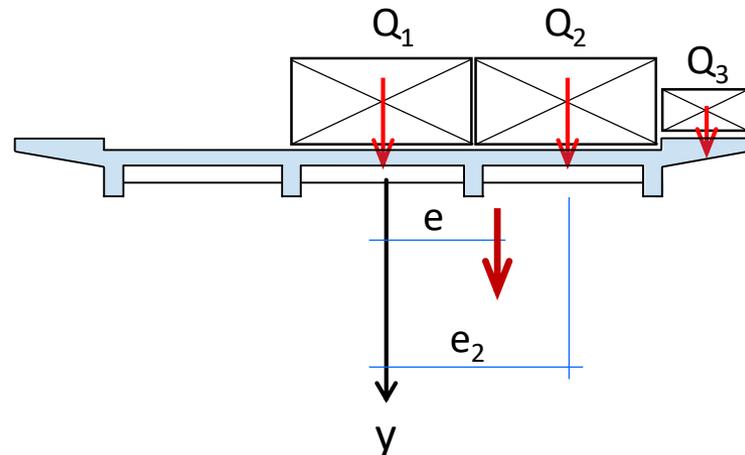
Il carico risultante Q_{tot} è caratterizzato da :

$$Q_{\text{tot}} = \sum Q_i \quad (\text{intensità})$$

$$e = \frac{\sum Q_i e_i}{Q_{\text{tot}}} \quad (\text{posizione})$$

Problema da risolvere :

└ eccentricità del carico

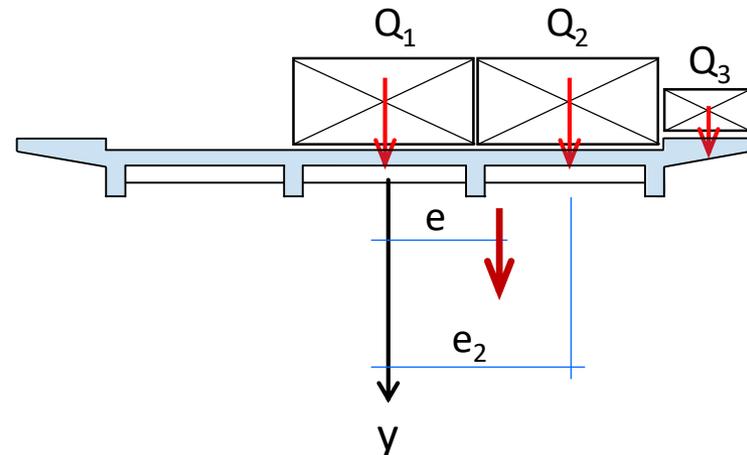


Ponti a travata

Modellazione monodimensionale

2. Caso della sezione deformabile (traversi non rigidi)

Lo stato di sollecitazione e di deformazione del singolo elemento della sezione non dipende solo dalle caratteristiche del carico risultante ma anche dalle caratteristiche (intensità e posizione) dei singoli carichi



Problema da risolvere :

- † eccentricità del carico
- † ripartizione trasversale del carico

Modello monodimensionale:
comportamento flessionale

Ponti a travata

Comportamento flessionale

Le caratteristiche della sollecitazione M e V provocano tensioni normali e tangenziali :

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

$$(\tau b_0) = \frac{V}{I} S \quad (\text{ formula di Jourawsky })$$

Ponti a travata

Comportamento flessionale

Lo spostamento verticale
è indipendente dalla coordinata x

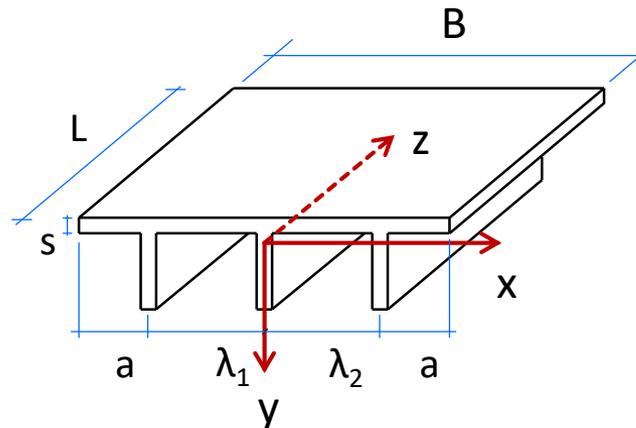


$$v(z, x) = v(z)$$

Lo spostamento assiale nasce per
effetto della rotazione flessionale ed
è indipendente dalla coordinata x :



$$w(y, z) = -v' y$$



Ponti a travata

Comportamento flessionale

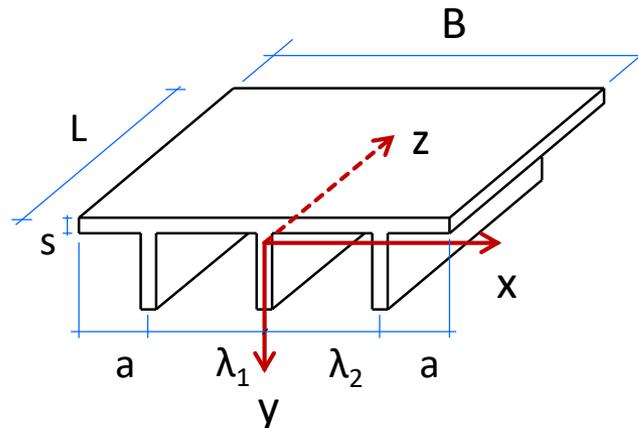
Per derivazione delle precedenti equazioni si ottiene :

$$\varepsilon = \frac{\partial w}{\partial y} = -v'' y$$

$$v'' = -\frac{M}{EI}$$

e per successiva derivazione

$$v''' = -\frac{V}{EI}$$



Ponti a travata

Deformazioni a taglio

Nella maggior parte dei casi, le deformazioni a taglio sono alquanto piccole e pertanto la loro influenza può essere trascurata.

Nota!

L'influenza delle deformazioni a taglio deve essere considerata nei ponti di piccola luce

In tal caso, se si aggiunge il contributo della deformazione da taglio, si ha :

$$v' = -\int \frac{M}{EI} dz + \chi \frac{V}{GA} + C$$

dove χ è il fattore di taglio

Modello monodimensionale: comportamento torsionale

Ponti a travata

Equilibrio torsionale

Ipotesi:

La sezione trasversale
è rigida nel proprio piano

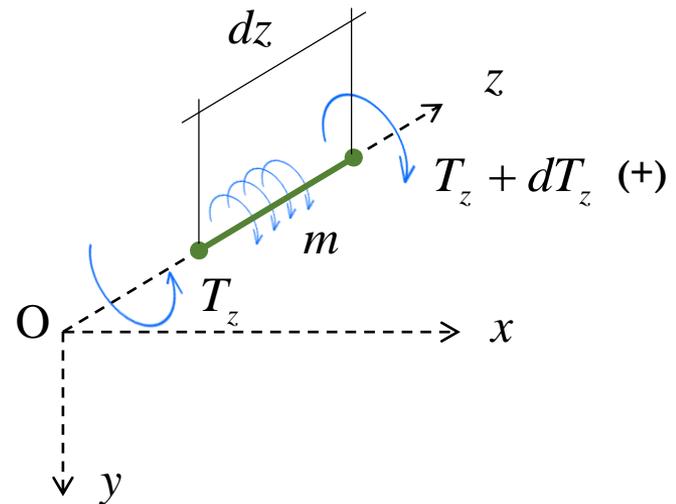
Oggetto :

elemento di travata lungo dz
e soggetto a momento torcente.

Equazione di equilibrio alla
rotazione intorno a z

$$(T_z + dT_z) + m \cdot dz - T_z = 0$$

Da questa relazione si ottiene



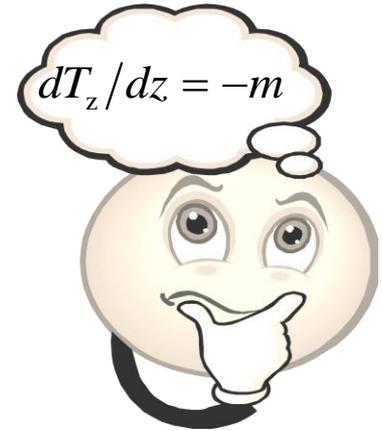
$$T_z = -\int m \cdot dz$$



$$dT_z/dz = -m$$

Ponti a travata

Equilibrio torsionale



Per detto elemento di travata vale :

$$T_z = GJ \theta^{(1)} = GJ \theta'$$

dove :

G modulo di elasticità tangenziale

J rigidità torsionale primaria

$\theta^{(1)}$ angolo unitario di torsione (rotazione relativa tra due sezioni a distanza unitaria)

Derivando questa relazione, si ottiene :

$$GJ \theta'' = -m \quad \longleftarrow$$

Attenzione !

Questa relazione può ritenersi valida
se la sezione è compatta

Ponti a travata

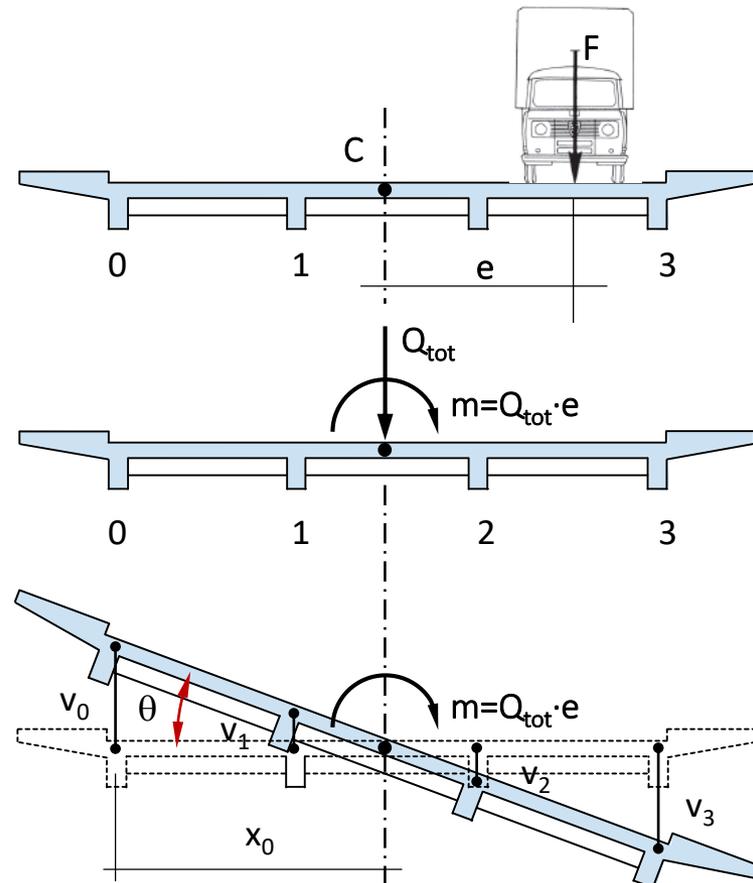
Ripartizione del carico torcente

Alla rotazione $\theta(z)$ della sezione corrispondono spostamenti verticali, valutabili tramite la relazione :

$$v_i = \theta x_i$$

La torsione globale della trave è fronteggiata attraverso :

- † torsione della sezione
- † flessione delle nervature longitudinali



Ponti a travata

Ripartizione del carico torcente

Di questa inflessione delle nervature è possibile tener conto :

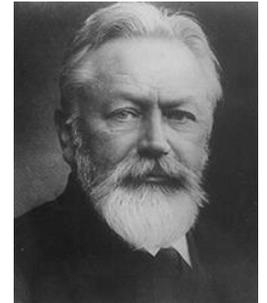
1. trascurando la continuità rotazionale tra soletta e nervature (teoria di Engesser)
2. considerando la continuità rotazionale tra soletta e nervature (teoria della torsione non uniforme)

Ponti a travata

Metodo di Engesser

Ai fini della ripartizione del carico torcente :

- └ la sezione è schematizzata come un insieme di travi longitudinali di eguale lunghezza
- └ la rigidità torsionale primaria è trascurata

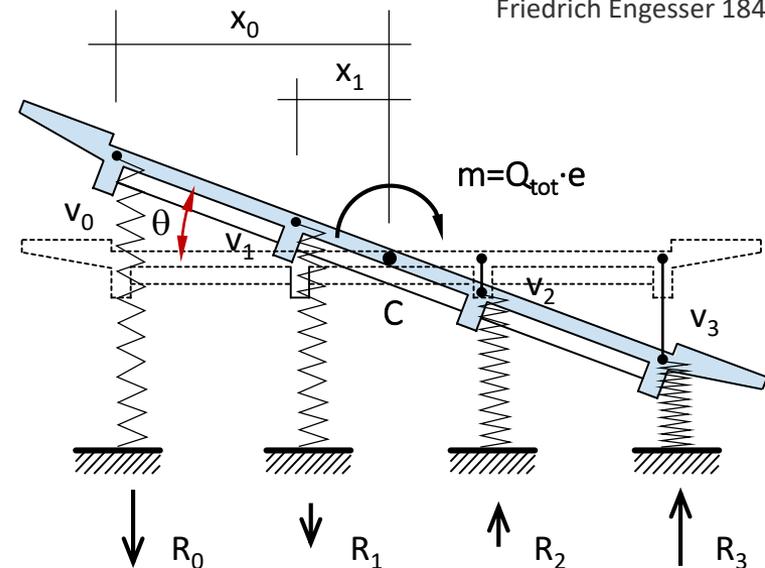


Friedrich Engesser 1848-1931

Il carico torcente è fronteggiato dall'inflessione delle singole travi

Le travi si oppongono allo spostamento con un carico reattivo :

$$R_i = EI_i v_i'''' = EI_i x_i \theta''''$$



Ponti a travata

Metodo di Engesser

I carichi reattivi devono :

- verificare l'equilibrio alla traslazione verticale (risultante complessivamente nulla)
- verificare l'equilibrio alla rotazione torsionale

ovvero
$$\sum_i R_i = \theta'''' \sum_i EI_i x_i = 0$$

$$\sum_i R_i x_i = \theta'''' \sum_i EI_i x_i^2 = m$$

Da queste relazioni deriva :

$$\theta'''' = \frac{m}{\sum_i EI_i x_i^2} = \frac{Q_{\text{tot}} \cdot e}{\sum_i EI_i x_i^2}$$

Ponti a travata

Metodo di Engesser

Per effetto del carico torcente per unità di lunghezza $Q_{\text{tot}} \cdot e$,
il carico reattivo sulla generica trave è :

(carico torcente) $\Rightarrow R_i = EI_i x_i \theta''' = \frac{EI_i x_i}{\sum_i EI_i x_i^2} Q_{\text{tot}} \cdot e$

Per effetto del carico centrato Q_{tot} ,
il carico reattivo sulla generica trave è :

(carico centrato) $\Rightarrow R_i = Q_{\text{tot}} \frac{EI_i}{\sum EI_i}$

Ponti a travata

Metodo di Engesser

Complessivamente, il carico reattivo della generica trave è :

$$R_{\text{tot},i} = \frac{EI_i}{\sum EI_i} Q_{\text{tot}} + \frac{EI_i x_i}{\sum EI_i x_i^2} Q_{\text{tot}} \cdot e = \left(\frac{EI_i}{\sum EI_i} + \frac{EI_i x_i}{\sum EI_i x_i^2} e \right) Q_{\text{tot}} = \tau_i Q_{\text{tot}}$$

dove τ_i è un coefficiente di ripartizione

ovvero ...

... dato il carico di intensità Q_{tot} ed eccentricità e ,
il coefficiente di ripartizione τ_i
fornisce la quota di carico che compete alla generica trave.

Nota! Per $Q_{\text{tot}}=1$ ed eccentricità e variabile, la relazione precedente fornisce la linea di influenza della reazione della trave i -esima

Ponti a travata

Metodo di Engesser

Se ...

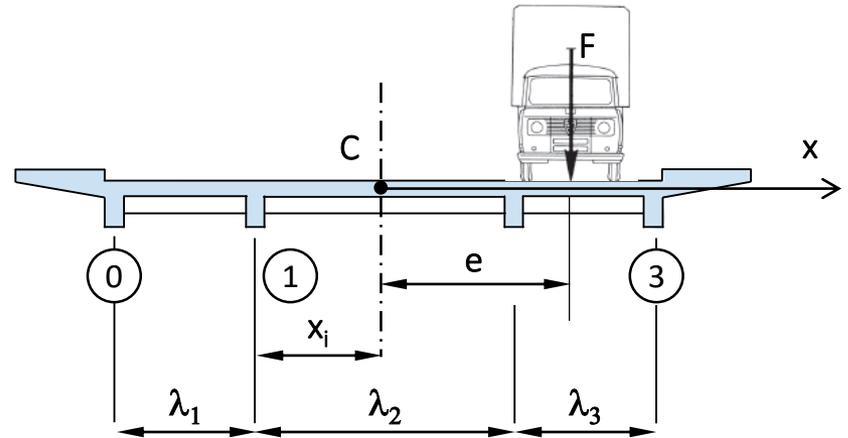
le travi sono tutte uguali,
ma con luci qualsiasi,

il carico reattivo
della generica trave è :

$$R_{\text{tot},i} = \left(\frac{1}{n+1} + \frac{x_i}{\sum x_i^2} e \right) Q_{\text{tot}} = \tau_i Q_{\text{tot}}$$

essendo :

(n+1) il numero di nervature longitudinali



Ponti a travata

Metodo di Engesser

Se...

le luci λ delle travi sono eguali :

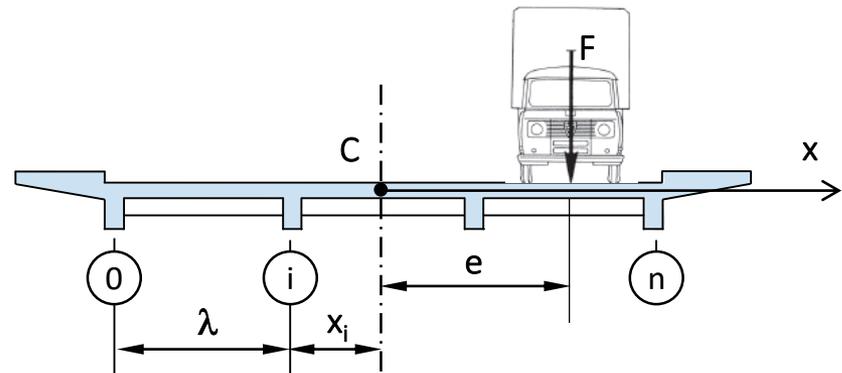
$$x_i = \frac{\lambda}{2}(2i - n)$$

Inoltre :

$$\sum_{i=0}^n x_i^2 = \frac{\lambda^2}{4} \sum_{i=0}^n (4i^2 + n^2 - 4in) = \frac{\lambda^2}{4} \left[4 \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} + n^2(n+1) - 4 \frac{n^2(n+1)}{2} \right]$$

$$= \frac{\lambda^2}{4} n(n+1) \left[\frac{4}{6}(2n+1) + n - \frac{4}{2}n \right] = \frac{\lambda^2}{12} n(n+1)(n+2)$$

essendo $\sum_{i=0}^n i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$ e $\sum_{i=0}^n i = \frac{n(n+1)}{2}$



Ponti a travata

Metodo di Engesser

Se...

le luci λ delle travi sono eguali :

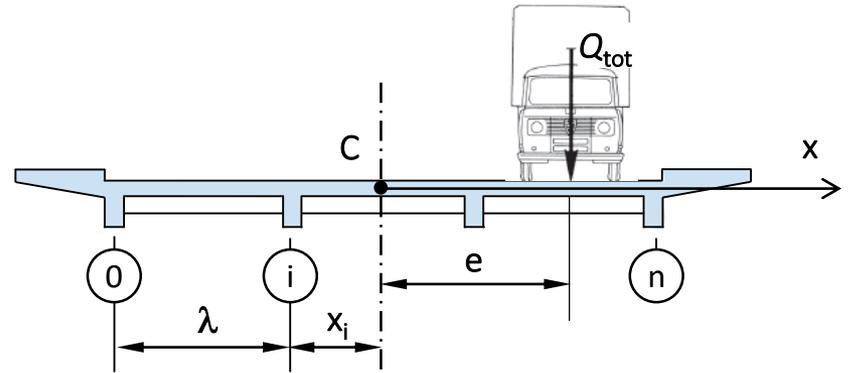
$$R_{\text{tot},i} = \left(\frac{1}{n+1} + \frac{x_i}{\sum x_i^2} e \right) Q_{\text{tot}}$$

e quindi :

$$R_{\text{tot},i} = \left[\frac{1}{n+1} + \frac{\lambda(2i-n)/2}{\lambda^2 n(n+1)(n+2)/12} e \right] Q_{\text{tot}} = \frac{1}{n+1} \left[1 + \frac{6(2i-n)}{\lambda n(n+2)} e \right] Q_{\text{tot}}$$

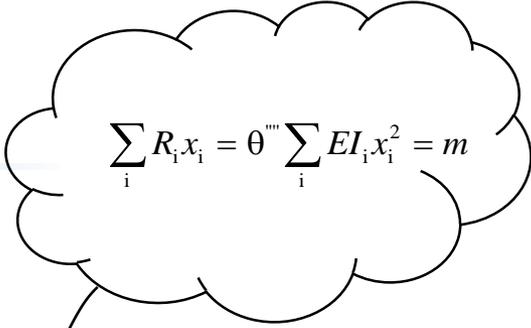
Se $i=0$ o n (trave di estremità) :

$$R_{\text{tot},i} = \frac{1}{n+1} \left[1 \pm \frac{6e}{\lambda(n+2)} \right] Q_{\text{tot}}$$



Ponti a travata

Metodo di Engesser


$$\sum_i R_i x_i = \theta''' \sum_i EI_i x_i^2 = m$$

Dalle relazioni ricavate in precedenza si ha :

$$\theta''' = \frac{Q_{\text{tot}}}{\sum_i EI_i x_i^2} e = \frac{\sum_i EI_i}{\sum_i EI_i x_i^2} e \cdot v'''$$

Data l'affinità tra la rotazione torsionale e lo spostamento verticale, lo spostamento totale della generica trave vale:

$$v_{\text{tot},i} = v_m + \theta x_i = \left(1 + \frac{\sum_i EI_i}{\sum_i EI_i x_i^2} e x_i \right) v_m = \alpha_i v_m$$

dove α_i è un coefficiente di amplificazione dello spostamento medio.

Ponti a travata

Metodo di Engesser

Se...

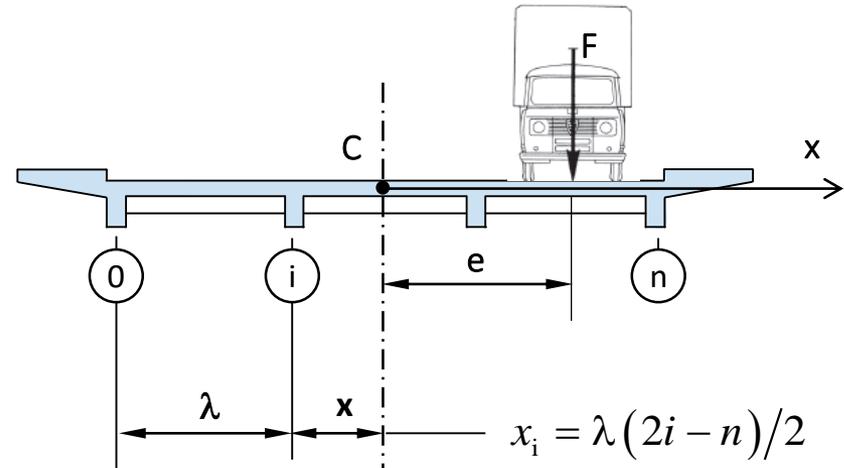
le luci λ delle travi sono eguali :

$$v_{\text{tot},i} = \alpha_i v_m$$

$$\text{dove : } \alpha_i = 1 + \frac{\sum_i EI_i}{\sum_i EI_i x_i^2} e x_i =$$

$$= 1 + \frac{6(2i - n)}{\lambda n(n + 2)} e$$

$$\text{essendo } \sum_{i=0}^n x_i^2 = \frac{\lambda^2}{12} n(n + 1)(n + 2)$$



Se la trave è di estremità :

$$\alpha_0 = 1 \pm \frac{6e}{\lambda(n + 2)}$$

Ponti a travata

Metodo di Engesser

Poiché spostamenti, caratteristiche della sollecitazione e tensioni sono tra loro correlati da legami di proporzionalità, ...

... lo stato tensionale della singola nervatura longitudinale potrà essere dedotto da quello conseguente alla flessione retta ...

... amplificato mediante il coefficiente α , ovvero :

$$\sigma_i = \alpha_i \frac{M}{I} y$$

Tensioni normali

$$(\tau b_0)_i = \alpha_i \frac{V}{I} S$$

Tensioni tangenziali

Ponti a travata

Influenza del numero dei campi

Se...

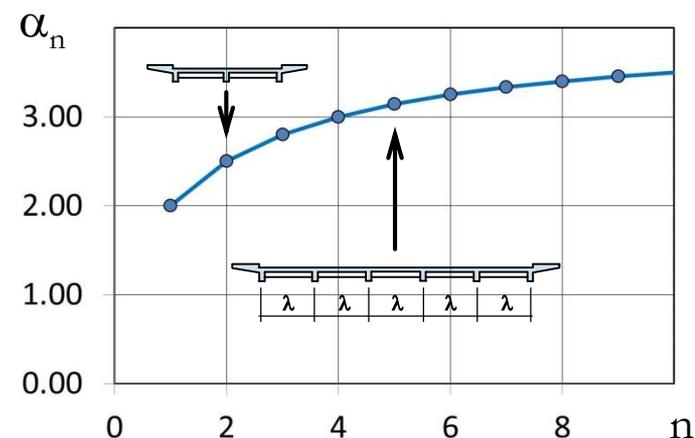
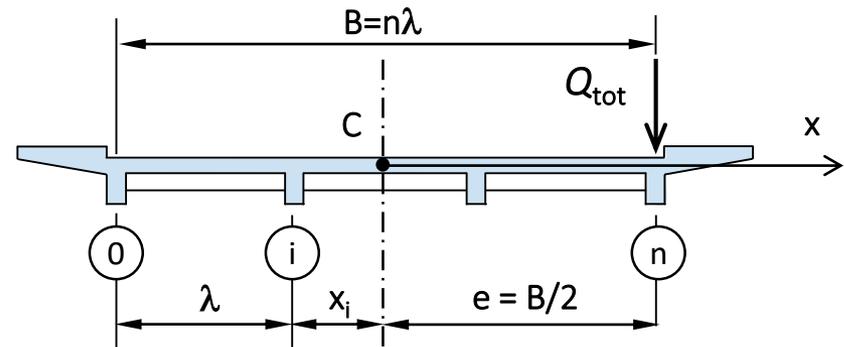
- la larghezza del ponte è variabile
- le luci tra le travi sono uguali
- il carico è eccentrico con $e=B/2$

si ha

$$\alpha_n = 1 + \frac{6e}{\lambda(n+2)} = 1 + \frac{3n}{n+2}$$

All'aumentare dei campi, le nervature estreme sono sempre più sollecitate.

Non vi è alcun vantaggio nel creare impalcati molto larghi.



Ponti a travata

Influenza del numero dei campi

$$\alpha_i = 1 + \frac{\sum EI_i}{\sum EI_i x_i^2} e x_i$$

Se...

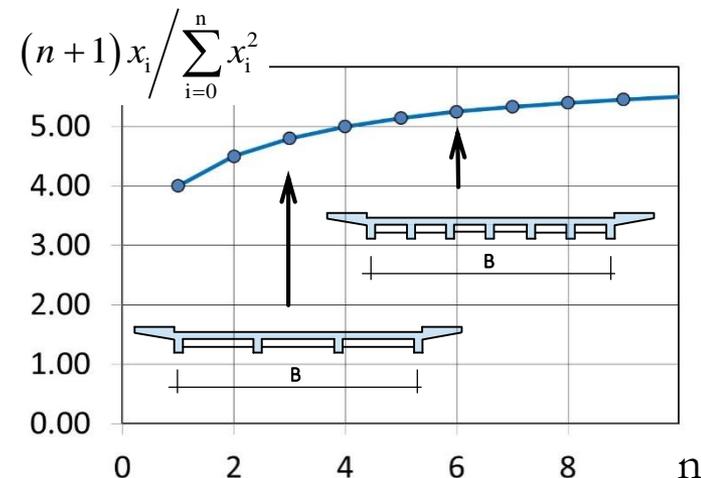
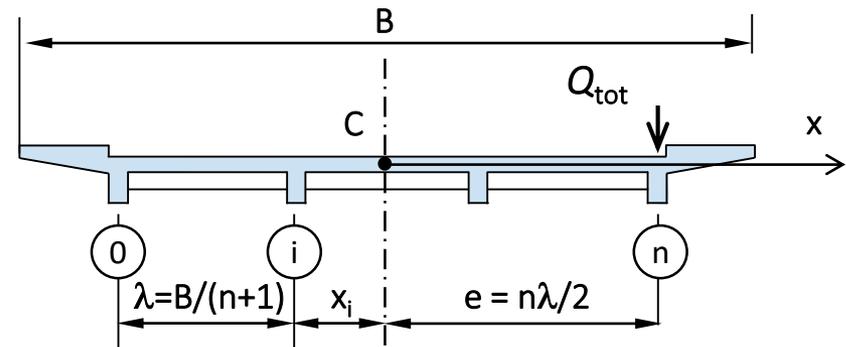
- la larghezza del ponte è fissa
- le luci tra le travi sono eguali
- il carico è eccentrico con $e=B/2$

ed inoltre :

- $(n+1)EI_i = \text{cost}$ (rigid. fless. globale)
- $I_i = \text{cost}$ (inerzia nervatura long.)

si nota che
il numero dei campi ha una scarsa
influenza sulla ripartizione.

La scelta del numero di campi
è principalmente condizionata dalla
progettazione della soletta.



torsione primaria:
sezioni aperte e chiuse

Ponti a travata

Rigidità torsionale primaria in sezioni aperte

La sezione aperta del ponte risulta scomponibile in una serie di rettangoli allungati costituiti da :

- ┆ soletta di impalcato
- ┆ nervatura

Per ciascuna di queste parti la rigidità torsionale primaria si scrive :

$$GJ = \frac{1}{3} \kappa G L \delta^3$$

dove :

- L lato maggiore della sezione rettangolare
- δ lato minore della sezione rettangolare
- κ coefficiente di forma

Ponti a travata

Rigidità torsionale primaria in sezioni aperte

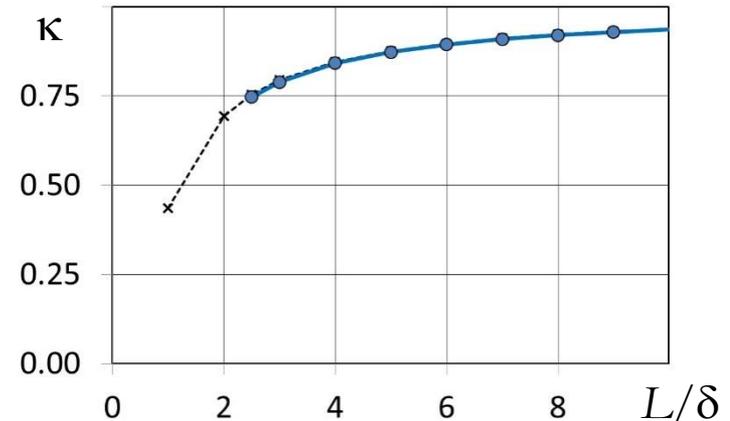
Il coefficiente Ψ si deduce dalla relazione :

$$\kappa = \left[1 - \frac{1.92}{\pi} \frac{\delta}{L} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^5} \tanh\left(\frac{n\pi L}{2\delta}\right) \right]$$

Per $L/\delta \geq 2.5$

è lecito effettuare
la seguente approssimazione :

$$\kappa = \left(1 - 0.63 \frac{\delta}{L} \right)$$

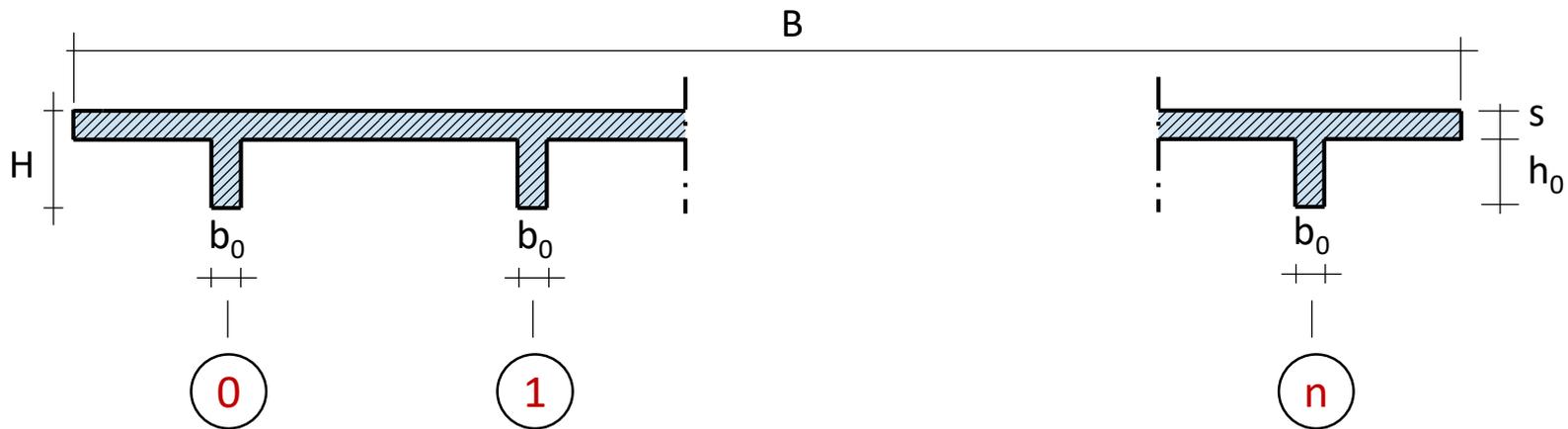


Ponte a travata

Rigidità torsionale primaria in sezioni aperte

Per un impalcato con $n+1$ travi uguali si ha :

$$GJ = \frac{1}{3} G \left[Bs^3 + \kappa(n+1)h_0b_0^3 \right]$$



Ponti a travata

Tensioni da torsione primaria in sezioni aperte

Lo stato tensionale è quello della sezione rettangolare con valori massimi agli estremi dei lati minori

$$\tau = 3\Phi \frac{T_i}{L\delta^2}$$

dove :

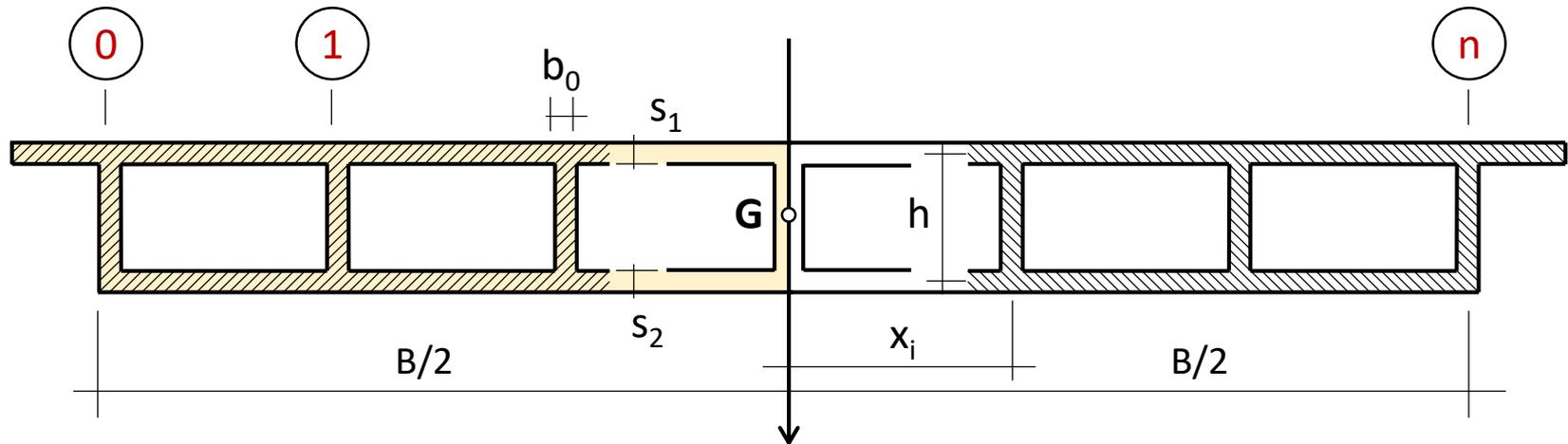
T_i aliquota di momento torcente primario relativo al singolo rettangolo, ottenibile scomponendo T_{tot} in parti proporzionali alla rigidità delle singole parti secondo la relazione :

$$T_i = T_{\text{tot}} \frac{GJ_i}{\sum GJ_i} = T_{\text{tot}} \frac{\kappa_i L_i \delta_i^3}{\sum \kappa_i L_i \delta_i^3}$$

Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

Nel caso di sezioni chiuse, l'elevato grado di connessione determina una certa difficoltà di soluzione.



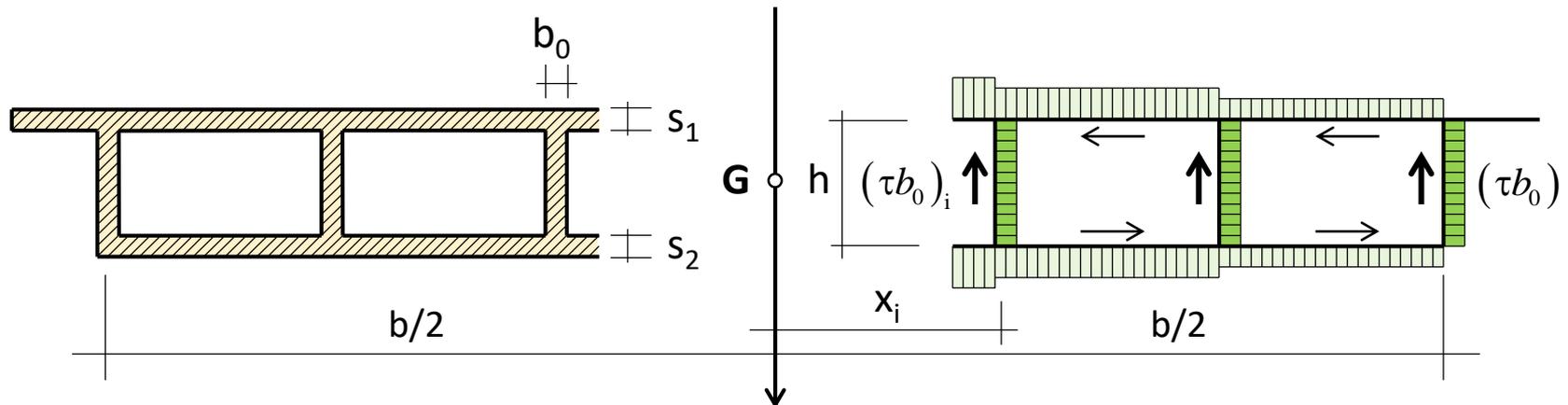
Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

Una soluzione approssimata può essere determinata assumendo che l'intensità dei flussi $(\tau b_0)_i$ vari con la distanza x_i dal piano di simmetria.

Pertanto, detto (τb_0) il valore reattivo delle nervature estreme si ha :

$$(\tau b_0)_i = (\tau b_0) \frac{2}{b} x_i$$



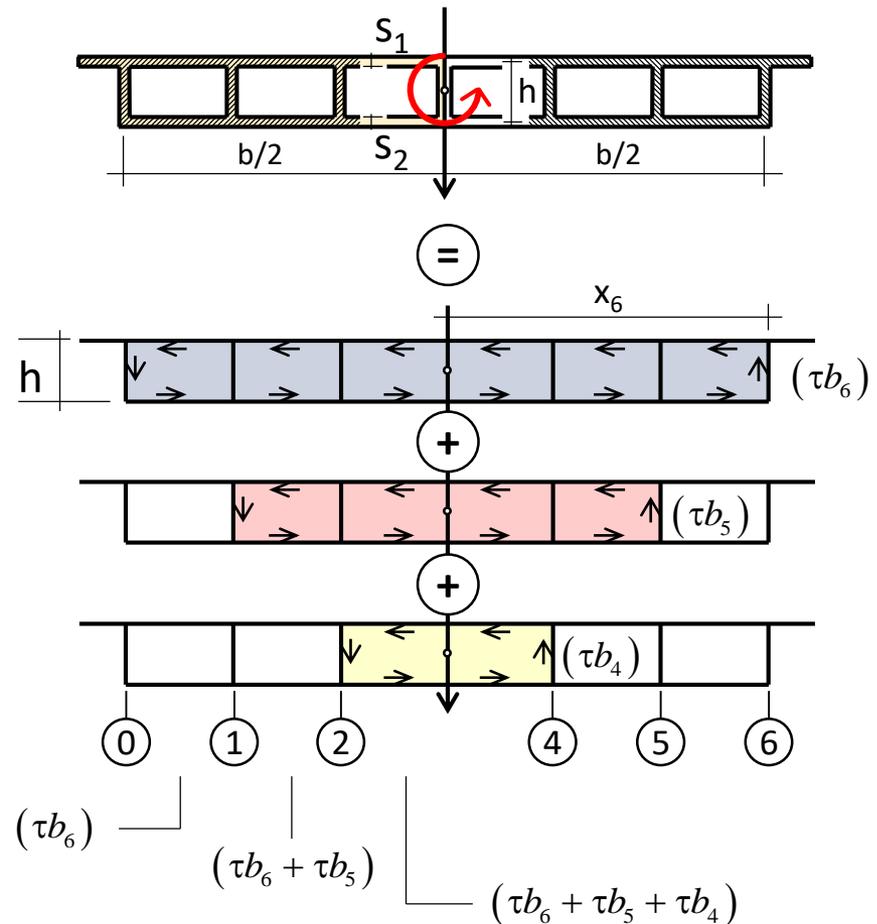
Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

I flussi nelle solette sono esprimibili in funzione dei flussi $(\tau b_0)_i$, ovvero :

$$(\tau s_1)_j = (\tau s_2)_j = \frac{2}{b} (\tau b_0) \sum_{i=j}^n x_i$$

(analogia idrodinamica)

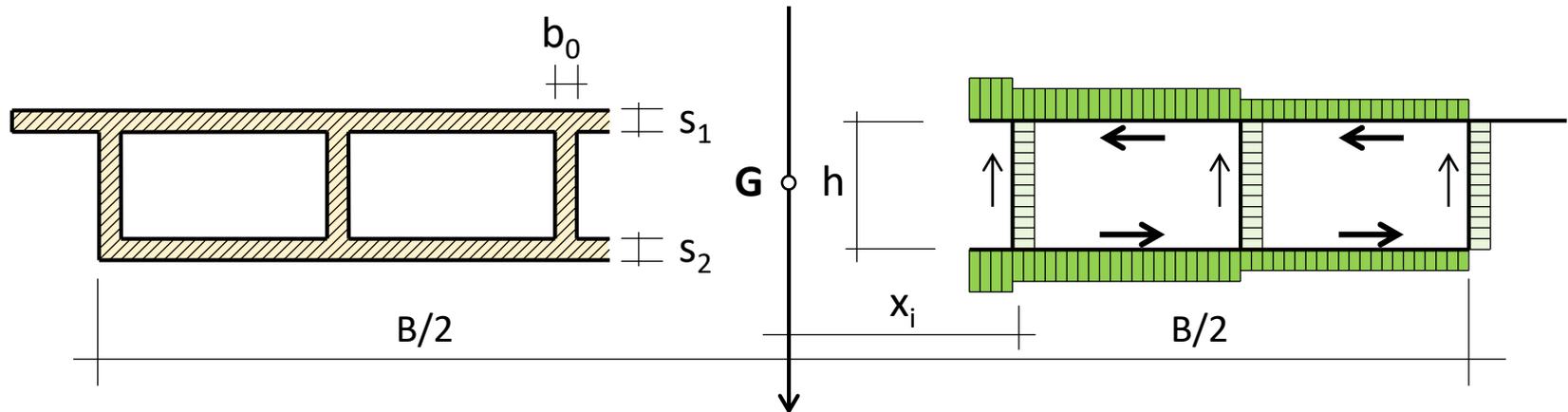


Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

I flussi nelle solette sono esprimibili in funzione dei flussi $(\tau b_0)_i$,
ovvero :

$$(\tau s_1)_j = (\tau s_2)_j = \sum_{i=1}^n (\tau b_0)_i = \frac{2}{b} (\tau b_0) \sum_{i=1}^n x_i$$



Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

L'equilibrio tra il momento torcente esterno T e quello interno impone che valga la relazione :

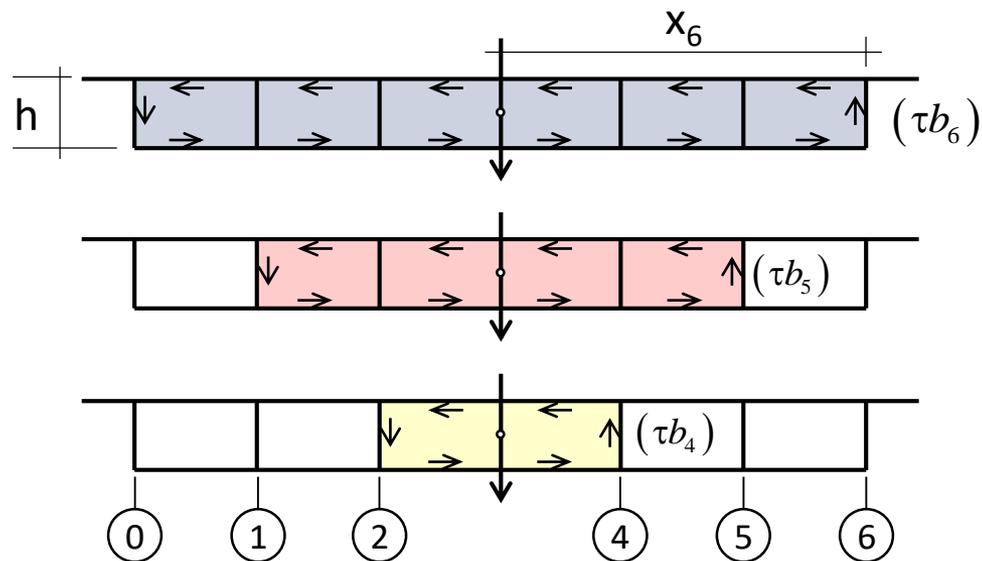
$$T = \sum_{i=0}^n (\tau b_0)_i h x_i + \sum_{j=1}^n (\tau s)_j \lambda h = (\tau b_0) 4 \frac{h}{b} \sum_{i=0}^n x_i^2$$

Contributo nervatura

$$T_T = 2 \cdot \frac{2}{B} (\tau b_0) x_i \cdot h x_i$$

Contributo soletta

$$T_S = 2 \cdot (\tau s)_i \cdot x_i h = 2 \cdot \frac{2}{B} (\tau b_0) x_i \cdot x_i h$$



Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

L'equilibrio tra il momento torcente esterno T e quello interno impone che valga la relazione :

$$T = \sum_{i=0}^n (\tau b_0)_i h x_i + \sum_{j=1}^n (\tau s)_j \lambda h = (\tau b_0) 4 \frac{h}{b} \sum_{i=0}^n x_i^2$$

Risolvendo rispetto a (τb_0) si ottiene:

$$(\tau b_0) = \frac{T}{2bh} \frac{b^2}{2 \sum x_i^2} = \frac{T}{2\Omega} \frac{b^2}{2 \sum x_i^2} = \frac{T}{2\Omega} \zeta$$

Nota!

Questa relazione può intendersi come la formula generalizzata di Bredt, a cui si torna in assenza di nervature intermedie ponendo il coefficiente correttivo $\zeta=1$.

Ponti a travata

Torsione primaria in sezioni chiuse

L'angolo unitario di torsione θ può ottenersi dall'uguaglianza

del lavoro esterno $\longrightarrow L_e = T\theta/2$

con il lavoro interno $\longrightarrow L_i = \frac{1}{2G} \int_c \tau^2 b(s) ds$

Dall'inverso dell'angolo unitario di torsione si ricava la rigidità torsionale primaria :

$$GJ = \frac{4G\Omega^2}{2 \frac{h}{b_0} \left[\frac{b^2}{2 \sum x_i^2} + \frac{b}{s_1} + \frac{b}{s_2} \right]}$$

integrazione dell'equazione fondamentale
della trave soggetta a torsione

Ponti a travata

Torsione primaria e secondaria

Con il metodo di Engesser si è mostrato come è possibile fronteggiare un carico torcente esterno in assenza di rigidità torsionale primaria.

Se sono considerate entrambe le rigidità torsionali (primaria e secondaria), l'equazione fondamentale della trave soggetta a momento torcente diventa :

$$m = E\Gamma \theta''''(z) - GJ \theta''(z)$$

dove :

GJ rigidità torsionale primaria

$E\Gamma = \sum EI x^2$ è la rigidità torsionale secondaria dell'impalcato

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

L'equazione fondamentale della trave soggetta a torsione

$$E\Gamma_{\mu}\theta''''(z) - GJ\theta''(z) = m$$

si può anche scrivere :

$$\theta''''(z) - \sigma^2\theta''(z) = \frac{m}{E\Gamma_{\mu}}$$

(equazione differenziale lineare
a coefficienti costanti)

essendo ... $\sigma^2 = \frac{GJ}{E\Gamma_{\mu}}$

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

L'integrale generale dell'equazione omogenea associata

$$\theta'''' - \sigma^2 \theta'' = 0$$

è del tipo $\theta = e^{hz}$

L'equazione caratteristica è $h^4 - \sigma^2 h^2 = 0$

che ammette le soluzioni $h = 0$ (doppia radice) $h = +\sigma$ $h = -\sigma$

L'integrale generale è :

$$\theta = C_1 + C_2 z + C_3 e^{\sigma z} + C_4 e^{-\sigma z}$$

con $C_1 \dots C_4$ da determinare in funzione delle condizioni ai limiti

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

Essendo : $\sinh \sigma z = \frac{e^{\sigma z} - e^{-\sigma z}}{2}$ $\cosh \sigma z = \frac{e^{\sigma z} + e^{-\sigma z}}{2}$

l'integrale generale dell'equazione omogenea associata può anche essere scritto :

$$\theta = C_1 + C_2 z + C_3' \cosh \sigma z + C_4' \sinh \sigma z$$

dove :

$$C_3' = C_3 + C_4$$

$$C_4' = C_3 - C_4$$

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

L'integrale particolare
dell'equazione fondamentale della trave soggetta a torsione

$$E\Gamma_{\mu}\theta''''(z) - GJ\theta''(z) = m$$

è $\theta = k \left(\frac{m}{E\Gamma_{\mu}} \right) z^2$... con k costante da determinarsi

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

Se calcoliamo le derivate dell'angolo di rotazione torsionale :

$$\theta'' = 2k \frac{m}{E\Gamma_{\mu}} \quad \theta'''' = 0$$

e le sostituiamo nell'equazione differenziale, si ha :

$$-k\sigma^2 \frac{2m}{E\Gamma_{\mu}} = \frac{m}{E\Gamma_{\mu}} \quad \text{e quindi} \quad k = -\frac{1}{2\sigma^2}$$

L'integrale particolare è $\theta = -\frac{m}{2\sigma^2 E\Gamma_{\mu}} z^2$

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

In definitiva, l'integrale generale dell'equazione differenziale

$$E\Gamma_{\mu}\theta''''(z) - GJ\theta''(z) = m$$

è

$$\theta = C_1 + C_2 z + C_3' \cosh \sigma z + C_4' \sinh \sigma z - \frac{m}{2\sigma^2 E\Gamma_{\mu}} z^2$$

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

Per determinare le costanti di integrazione si pone :

- † $\theta = 0$ rotazione torsionale nulla
- vincolo -
- † $\theta' = 0$ ingobbamento impedito ($s_z = \theta' \psi(x, y) = 0$)
- sezioni di simmetria o vincolo -
- † $\theta'' = 0$ tensioni normali nulle ($\sigma = -E \bar{y} v'' = 0$)
- sezioni di estremità -
- † $E\Gamma_\mu \theta''' - GJ\theta' = -T$ momento torcente nullo,
- sezioni di estremità o di simmetria -
- † $E\Gamma_\mu \theta''' = -T$ momento torcente nullo e $\theta'=0$

Ponti a travata

Integrazione dell'equazione fondamentale

Nel caso di continuità di più tronchi,
si pone nelle sezioni di contatto :

- † $\theta_s = \theta_d$ continuità delle rotazioni torsionali
nelle sezioni di contatto
- † $\theta'_s = \theta'_d$ continuità degli spostamenti assiali
nelle sezioni di contatto
- † $\theta''_s = \theta''_d$ eguaglianza delle tensioni normali
nelle sezioni di contatto
- † $\theta_s = \theta_d = 0$ rotazioni torsionali nulle
nelle sezioni di contatto

Principali riferimenti

- Aldo Raithel. Ponti a travata. Liguori editore. 1978. ISBN 88-207-0563-X

FINE