



FABRE – Consorzio di ricerca per la valutazione di ponti viadotti e altre strutture

Ponti, viadotti e gallerie esistenti: ricerca, innovazione e applicazioni

2- 4 Febbraio 2022, Lucca



La verifica di resistenza di impalcati da ponte debolmente armati a taglio: alcuni aspetti critici

Carbonari S.¹, Gara F.¹, Innocenzi R.D.², Martini R.¹, Nicoletti V.¹, Ragni L.¹, Dezi L.²

¹*Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche*

²*DSD Dezi Steel Design srl, Ancona*

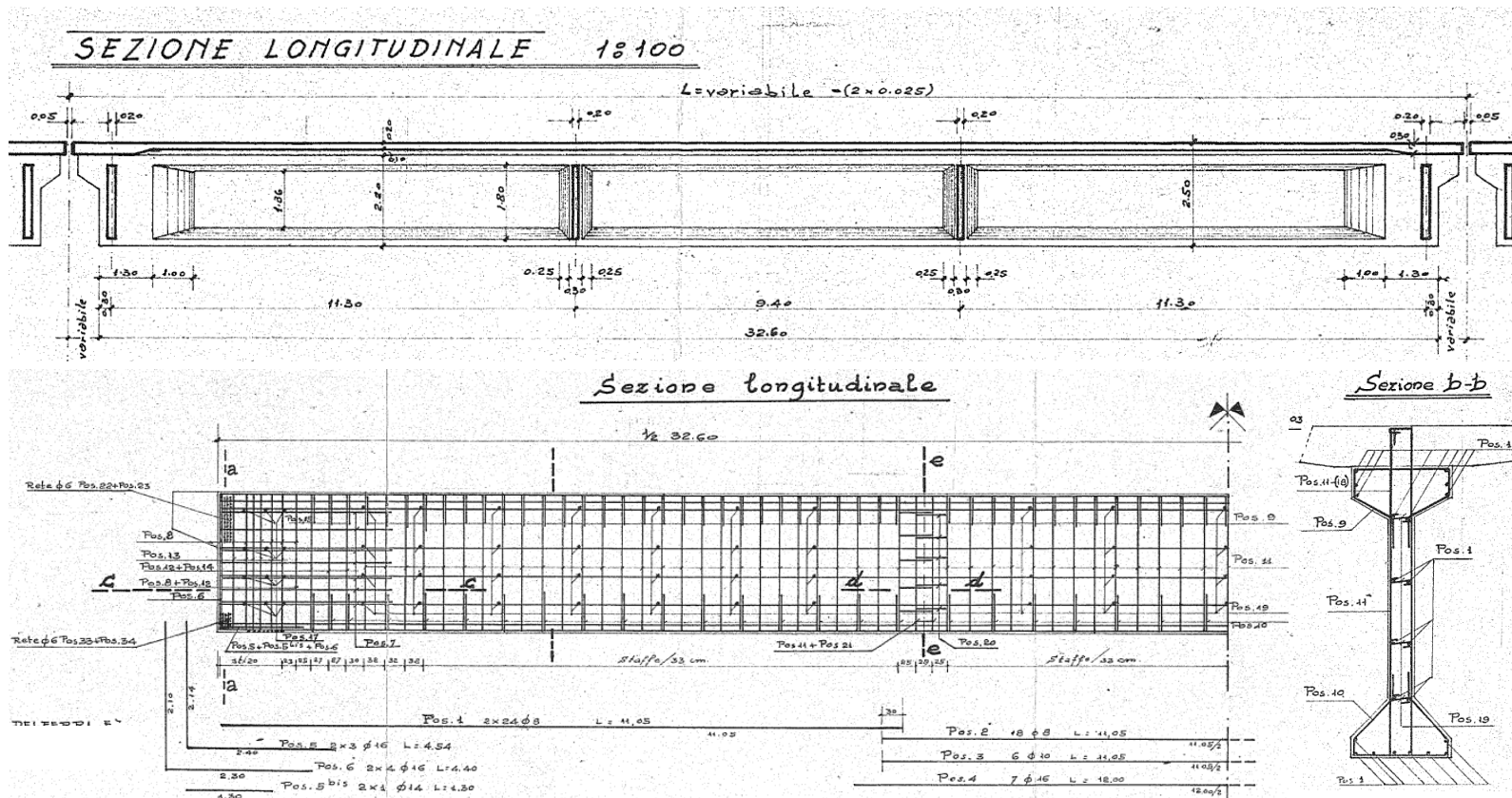


UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE



Introduzione

- ✓ Negli anni 60 e 70 sono stati costruiti in Italia molti viadotti adottando **schemi di travi in cap in semplice appoggio**, spesso debolmente armate a taglio.



- ✓ Tenuto conto delle correnti procedure di verifica allo SLU e degli **aumentati carichi mobili**, le armature trasversali sono spesso insufficienti a fronteggiare il taglio dovuto ai carichi verticali.
- ✓ In questi casi, per la verifica a taglio è conveniente ricorrere ad una **procedura di verifica che considera la trave priva di armature a taglio nella zona non fessurata da momento flettente**.

1. Breve sintesi dei metodi di progetto a taglio attuali e alle TA
- 2.
3. Caso studio
4. Conclusioni

Sintesi dei metodi di progetto a taglio datati e attuali

Verifica a taglio con il metodo delle TA

Per tensioni di trazione inferiori alla resistenza a trazione del calcestruzzo non era richiesta armatura a taglio e si disponeva un'armatura trasversale minima ($A_{sw} > 0,15 b \text{ cm}^2/\text{m}$)

Nel dettaglio $\sigma_t(y, z) \leq 0.02 R_c$

dove $\sigma_t(y, z) = 0.5 \cdot \left(\sigma_z(y, z) - \sqrt{\sigma_z(y, z)^2 + 4\tau_{yz}(y, z)^2} \right)$ massima tensione di trazione sul cls

$\sigma_z(y, z)$ tensione normale valutata dalla formula di Navier

$\tau_{yz}(y, z)$ tensione tangenziale valutata attraverso la teoria approssimata di Jourawski

R_c resistenza a compressione nel calcestruzzo

L'armatura minima, per $b = 20 \text{ cm}$, consiste in $A_{sw} = 3 \text{ cm}^2 = 3 \text{ } \emptyset 8/\text{m}$

Sintesi dei metodi di progetto a taglio datati e attuali

Tre differenti approcci per la resistenza a taglio (EN1992 Part 1-1)

1. elementi che non richiedono armature a taglio (Equazioni 6.2a e 6.2b)
2. elementi che richiedono armature a taglio (Equazioni 6.13 e 6.14)
- 3. elementi precompressi in semplice appoggio nelle regioni non fessurate da momento flettente (Equazione 6.4)**

$$V_{Rd} = \frac{J \cdot b_w}{S} \cdot \underbrace{\sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \sigma_{cp} f_{ctd}}}_{\tau_{yz,Rd}}$$

La verifica non è dovuta per sezioni che si trovano tra l'appoggio e la sezione che giace sul punto di intersezione dell'asse baricentrico con una retta inclinata a 45° dall'appoggio (par. 6.2.2 (3))

Tipicamente, **per travi debolmente armate a taglio questa formula fornisce il maggior valore della resistenza a taglio. Occorre stimare il momento di fessurazione, che dipende dalle fasi costruttive e dal tiro residuo.**

Sintesi dei metodi di progetto a taglio datati e attuali

Equazione 6.4 EN1992 Part 1-1: nelle zone non fessurate da momento flettente la resistenza a taglio è limitata dalla resistenza a trazione del calcestruzzo

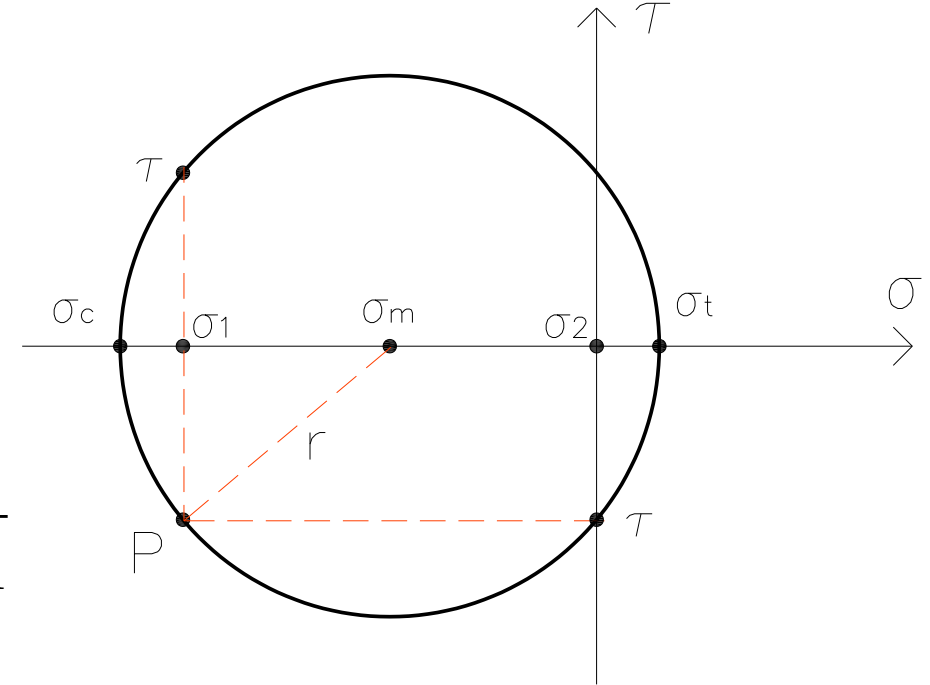
Considerando il generico punto P sull'asse baricentrico soggetto a tensioni di compressione σ_1 e tensioni tangenziali τ , si ottiene infatti:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_1}{2}$$
$$r = \sqrt{\tau^2 + (\sigma_1 - \sigma_m)^2} = \sqrt{\tau^2 + \frac{\sigma_1^2}{4}} \quad \rightarrow \quad \sigma_t = r - \sigma_m = \sqrt{\tau^2 + \frac{\sigma_1^2}{4}} - \frac{\sigma_1}{2}$$

Allo SLU: $\sigma_t = f_{ct}$ $\rightarrow f_{ct} + \frac{\sigma_1}{2} = \sqrt{\tau^2 + \frac{\sigma_1^2}{4}} \rightarrow \tau = \sqrt{f_{ct}^2 + f_{ct} \cdot \sigma_1}$

Dalla formula di Jourawski: $\tau = \frac{V \cdot S}{J \cdot b}$ $\rightarrow V = \frac{J \cdot b}{S} \tau = \frac{J \cdot b}{S} \sqrt{f_{ct}^2 + f_{ct} \cdot \sigma_1}$ EN1992 Part 1-1 (Equazione 6.4)

Per sezioni rettangolari: $\tau = \frac{3V}{2bh} \cong \frac{V}{0.7bh}$ $\rightarrow V = 0.7 \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{f_{ct}^2 + f_{ct} \cdot \sigma_1}$ NTC 2018 (Expression 4.1.24)

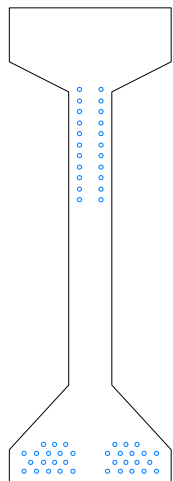


Geometria della struttura

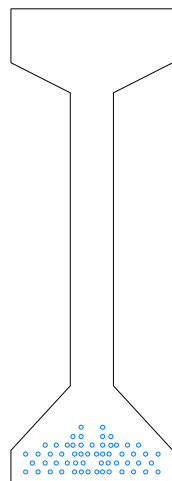
- Lunghezza del viadotto: 370 m
- 11 campate con luce di 34 m
- 2 impalcati con 3 travi a fili aderenti
- 57 trefoli pretesi da $\phi 1/2$ pollice
- **3 staffe d'anima $\phi 8$ mm al metro**

Armatura di precompressione

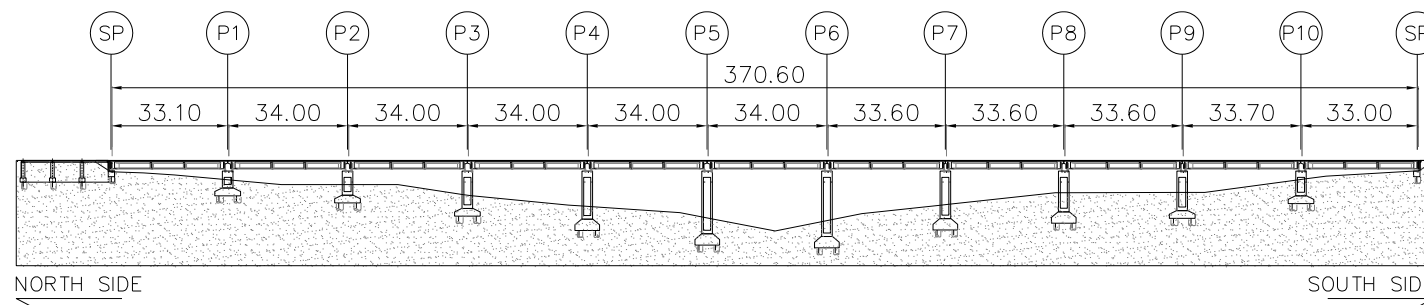
Agli appoggi



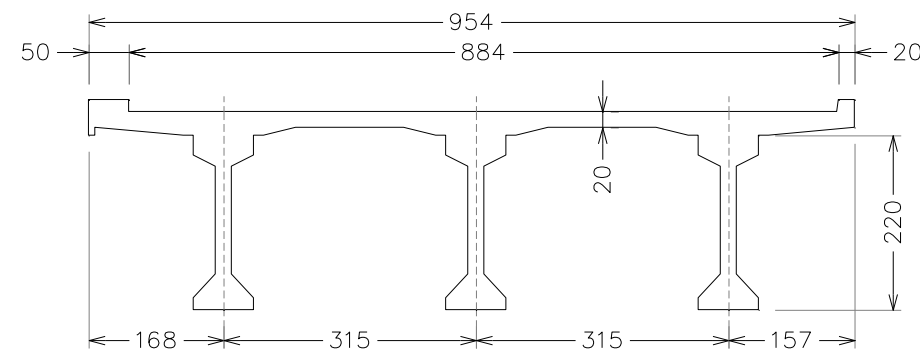
In campata



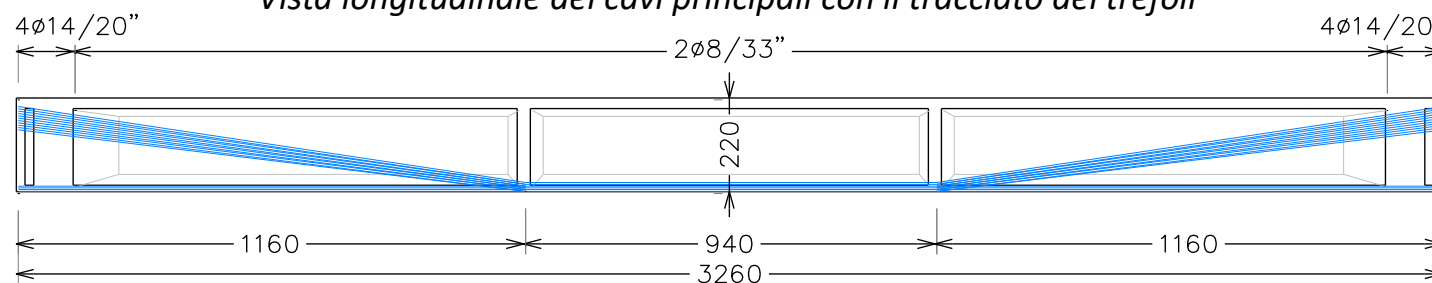
Profilo Longitudinale



Sezione trasversale dell'impalcato



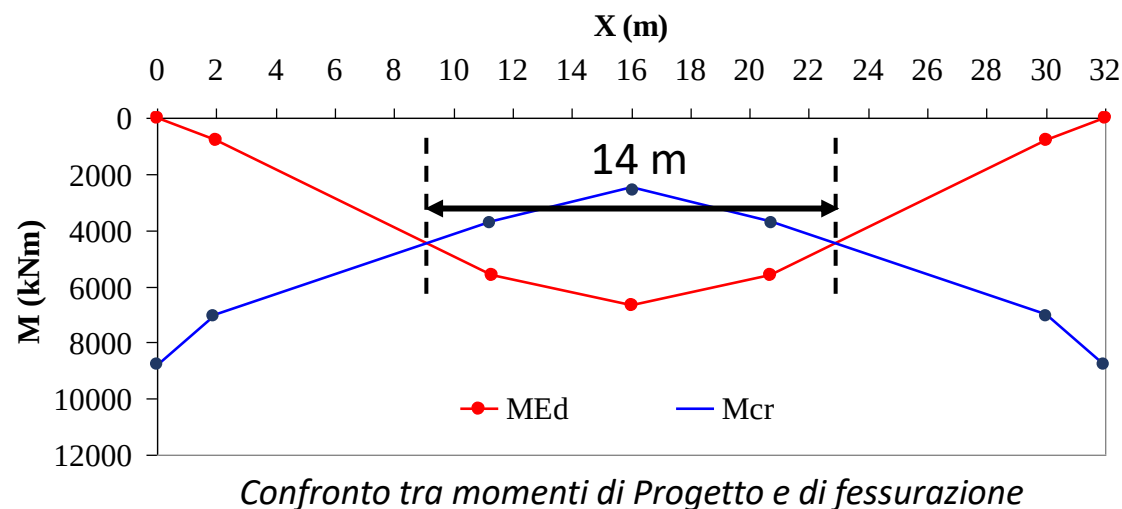
Vista longitudinale dei cavi principali con il tracciato dei trefoli



Verifica a taglio delle travi principali

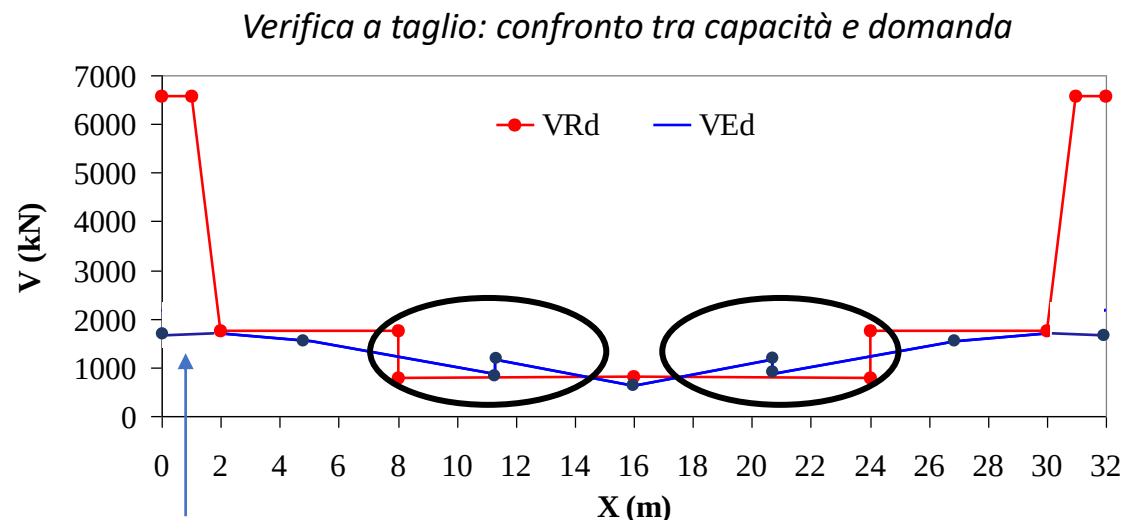
1. Valutazione della **porzione di trave non fessurata da momento flettente**. Questo richiede:
 - calcolo delle **tensioni normali nella fibra estrema della flangia inferiore tenendo conto delle FASI COSTRUTTIVE DELL'OPERA** (evoluzione dei carichi applicati, sia precompressione che carichi esterni, e delle relative proprietà inerziali)
 - la **valutazione della tensione di precompressione residua per la stima del momento di fessurazione** e per il calcolo del contributo resistente a taglio dei trefoli inclinati.
3. Stima del momento di prima fessurazione (momento aggiunto rispetto alla combinazione caratteristica).
4. **Confronto del momento di prima fessurazione con il momento flettente concomitante al taglio massimo (SLU).**

Verifica a taglio delle travi principali



M_{Ed} = Momento di progetto concomitante con il massimo taglio

M_{cr} = Momento di fessurazione



Nelle zone di estremità la verifica non sarebbe dovuta ma comunque soddisfatta dall'incremento dello spessore dell'anima.

Si osserva che le verifiche a taglio **sono essenzialmente non soddisfatte nelle sezioni fessurate da momento flettente.**

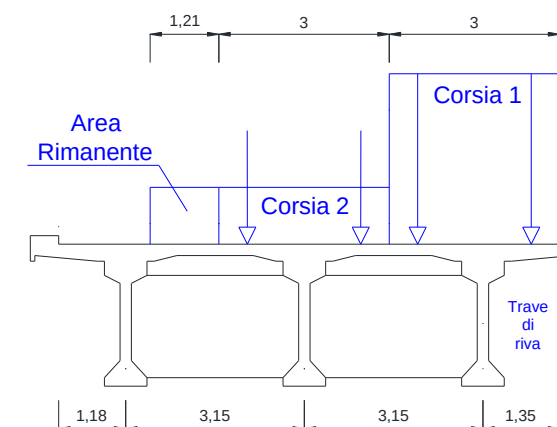
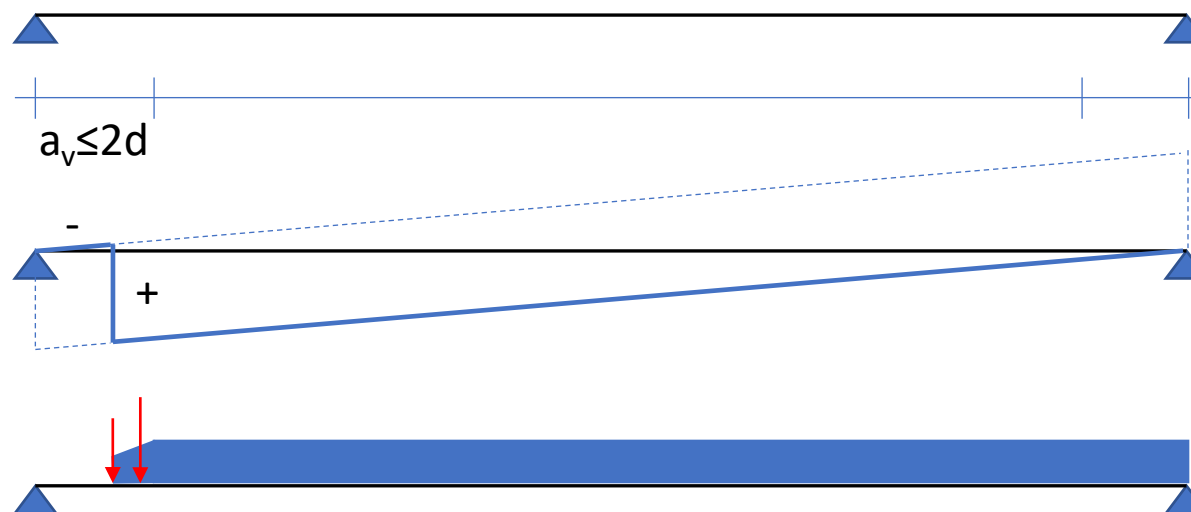
Verifica a taglio delle travi principali

Il taglio sollecitante è stato determinato tenendo conto della possibilità di ridurre i carichi agenti in prossimità degli appoggi.

«Il taglio all'appoggio determinato da carichi applicati alla distanza $a_v \leq 2d$ dall'appoggio stesso si potrà ridurre del rapporto $a_v/2d$ » (Cfr. 4.1.2.3.5.3 NTC2018).

L. d I. del taglio per
forza viaggiante

Carichi mobili
distribuiti e
concentrati

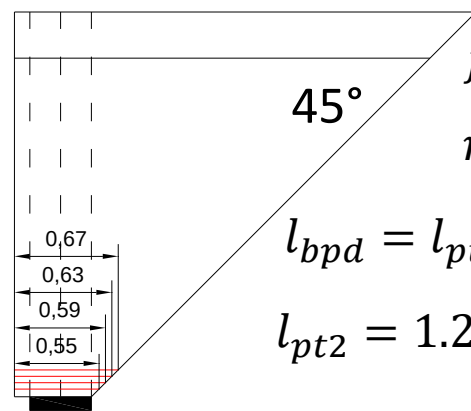


Verifica a taglio delle travi principali

«Le armature longitudinali, oltre ad assorbire gli sforzi conseguenti alle sollecitazioni di flessione, devono assorbire quelli provocati dal taglio, dovuti all'inclinazione delle fessure rispetto all'asse della trave, inclinazione assunta pari a 45° . In particolare, in corrispondenza degli appoggi, le armature longitudinali devono assorbire uno sforzo pari al taglio sull'appoggio» (Cfr. 4.1.2.3.5.1).

Le armature lente sono in genere insufficienti a sopportare a trazione l'intero taglio.

Il contributo dei trefoli orizzontali può essere considerato (EN1992-2) con le dovute accortezze, tenuto conto dell'aderenza effettivamente sviluppata in corrispondenza della sezione di verifica.



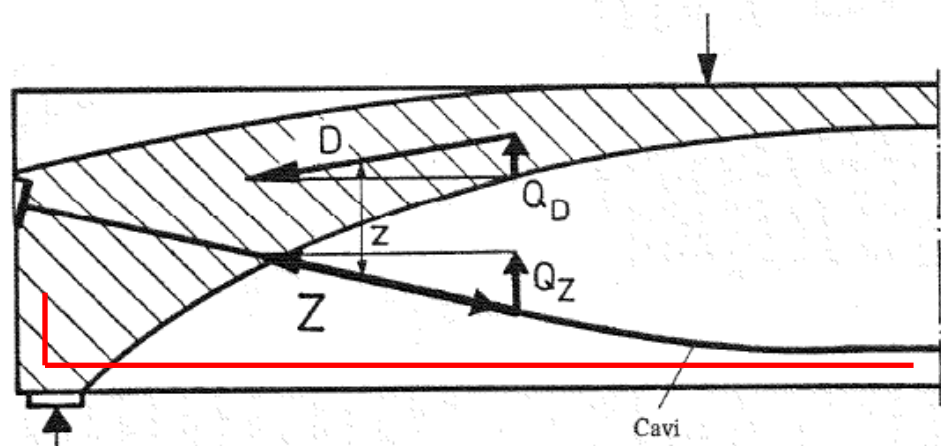
$$f_{bpd} = \eta_{p2} \eta_1 f_{ctd}(t) \quad \text{Tensione di aderenza del trefolo allo SLU (EN1992-1-1 Par. 8.10.2.3)}$$

$\eta_{p2} \quad \eta_1$

$$l_{bpd} = l_{pt2} + \alpha_2 \phi (\sigma_{pd} - \sigma_{pm\infty}) / f_{bpt} \quad \text{Lunghezza di aderenza per l'ancoraggio alla tensione } \sigma_{pd}$$

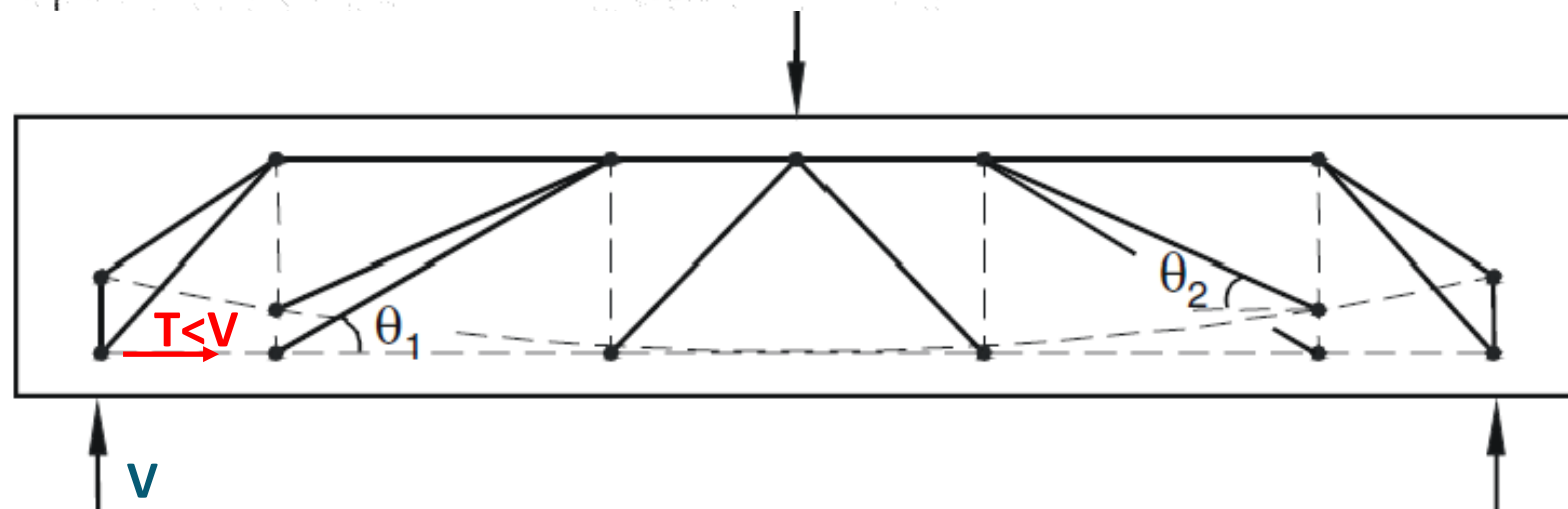
$$l_{pt2} = 1.2 l_{pt} = 1.2 \alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pm0} / f_{bpt} \quad \text{Valore di progetto della lunghezza di trasferimento (EN1992-1-1 Par. 8.10.2.2)}$$

Verifica a taglio delle travi principali



Se il tirante inferiore è debole, la diagonale compressa tendente verso il supporto non si appoggia più in basso, bensì sull'ancoraggio del cavo di presollecitazione (Fritz Leonhardt, vol. 5).

La diagonale compressa diviene più piatta e la resistenza a taglio può essere valutata sovrapponendo due differenti tralicci resistenti.



EN1992-2

Nelle travi in semplice appoggio di ponti esistenti è frequente trovare una uniforme distribuzione di staffe con elevato passo nella parte centrale della trave.

Tenendo conto dei carichi mobili dei codici correnti, che sono significativamente maggiori rispetto ai valori di normative passate, risulta che le sezioni centrali delle travi sono fessurate a taglio e che la resistenza offerta dal meccanismo a traliccio non è sufficiente nei confronti del taglio sollecitante.

In queste situazioni, raggiungere il soddisfacimento delle verifiche di sicurezza a taglio è particolarmente oneroso nei ponti esistenti, nelle zone di appoggio, ma ancor più nelle zone centrali della trave.

La normativa nazionale impone la presenza di un armatura longitudinale in appoggio capace di portare a trazione l'intero taglio. L'EN1992-2 permette di tener conto dei contributi dei trefoli orizzontali, il cui contributo deve essere accuratamente valutato tenendo conto dell'aderenza sviluppata nella sezione di verifica.