



Politecnico di Bari

Dipartimento di Ingegneria Civile,
Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica



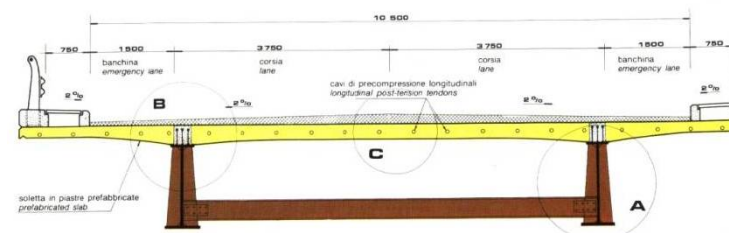
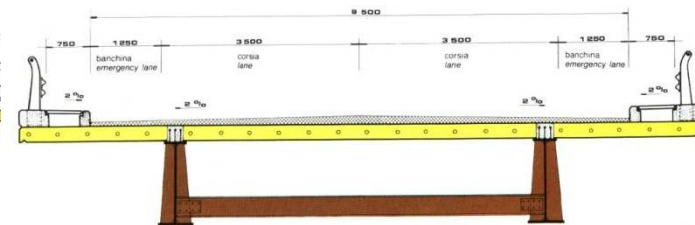
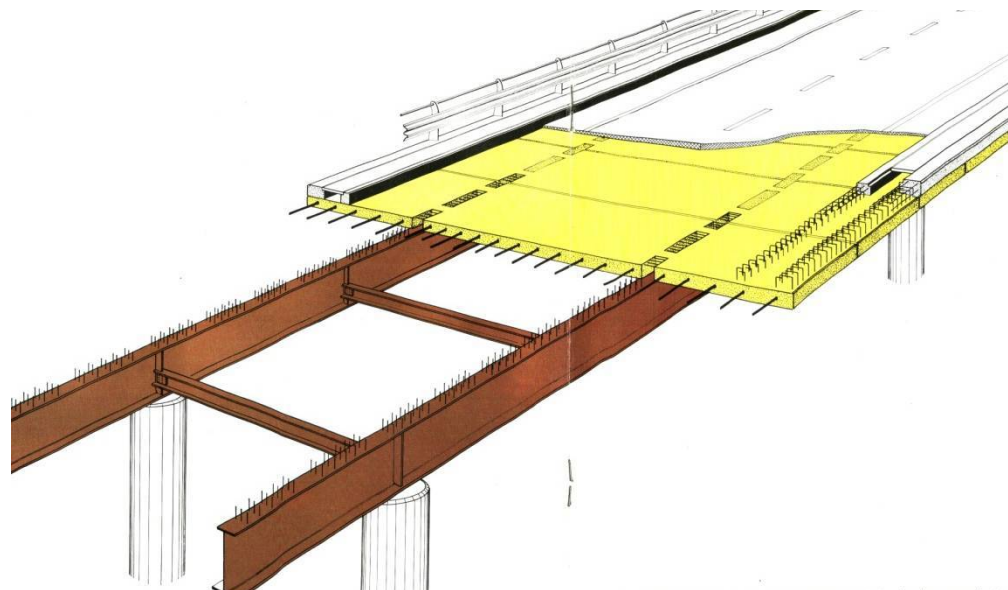
C.d.L. Magistrale in Ingegneria Civile

Corso di **TEORIA e PROGETTO di PONTI**

Domenico RAFFAELE
domenico.raffaele@poliba.it

PARTE III : I PONTI a TRAVATA - SOVRASTRUTTURA

Lezione n. 9 : Impalcati a struttura mista Acciaio-Calcestruzzo



Politecnico di Bari
Teoria e Progetto di PONTI
Domenico RAFFAELE



A.A. 2019-2020

Campi di impiego

Luci 50 ~ 80 m

Vantaggi:

- ⇒ la **leggerezza** (*elevato rapporto resistenza/peso*)
- ⇒ la **snellezza** (*elevato rapporto L/h*)
- ⇒ la scarsa sensibilità ai **cedimenti differenziali delle fondazioni**
- ⇒ la facilità di realizzazione di **impalcati continui**
- ⇒ la **durabilità** (*possibilità di rinnovare lo strato protettivo contro la corrosione e di sostituire elementi strutturali*)

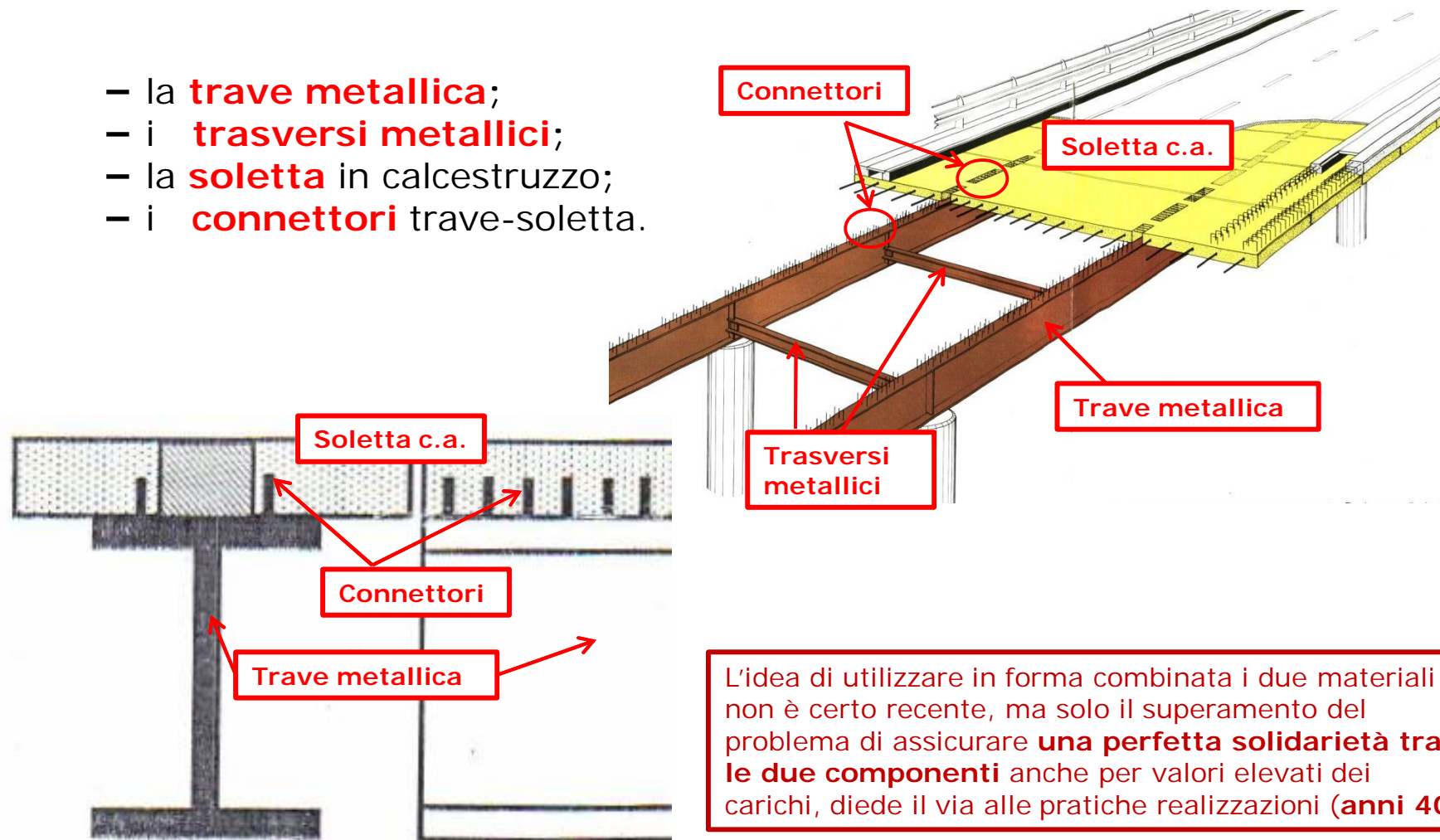
Svantaggi:

- ⇒ **Costo** (*attualmente più elevato del c.a.p.*)
- ⇒ la **posa in opera avviene per fasi** (*occorre considerare in modo appropriato i differenti stati tensionali*)

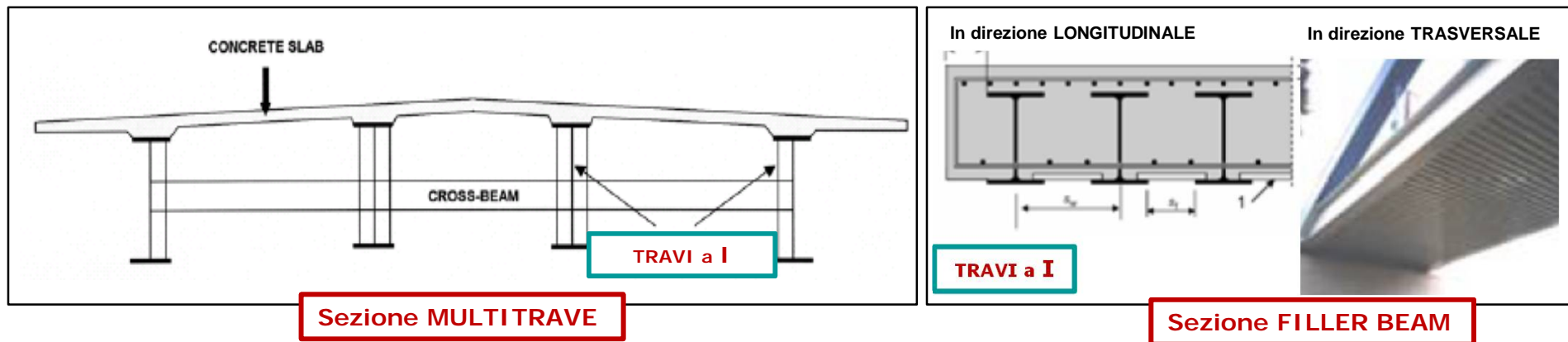
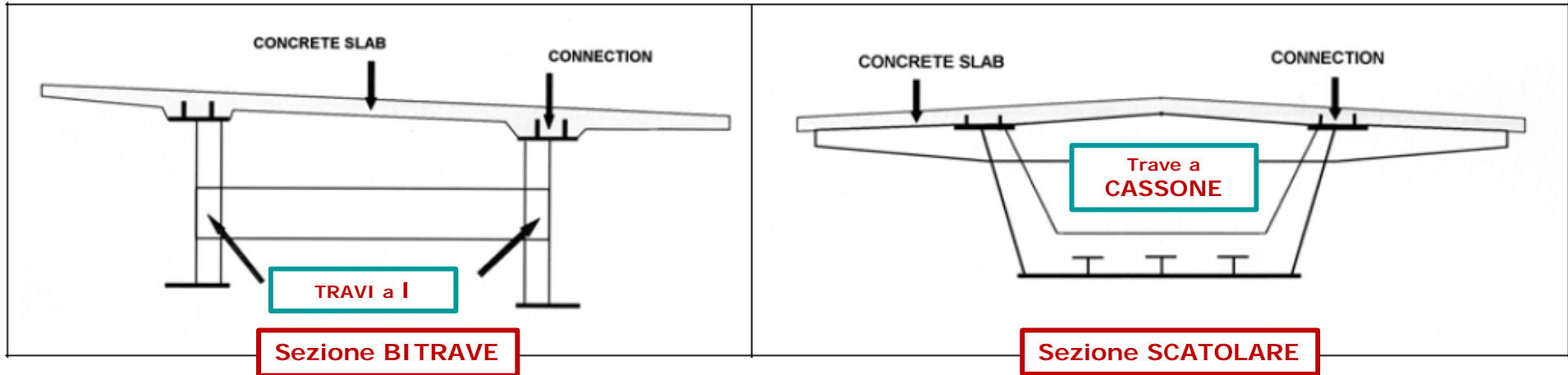


L'impalcato a struttura mista è costituito da **quattro parti fondamentali** che richiedono differenti controlli statici:

- la **trave metallica**;
- i **trasversi metallici**;
- la **soletta** in calcestruzzo;
- i **connettori** trave-soletta.

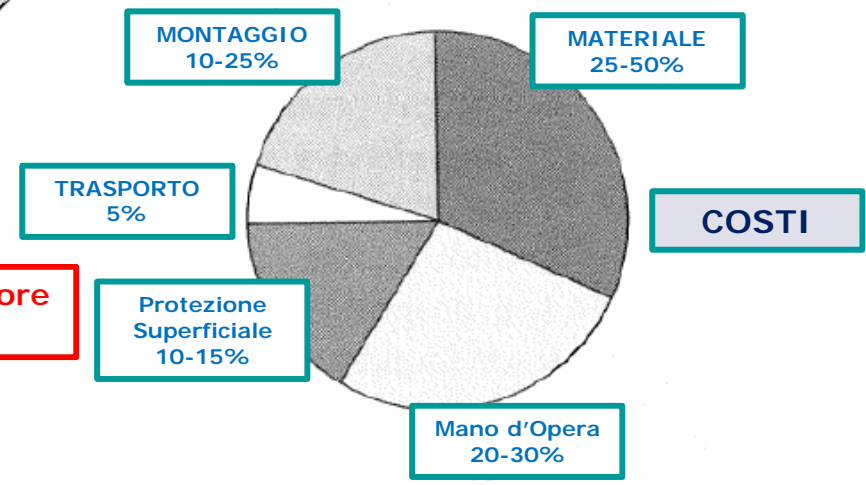
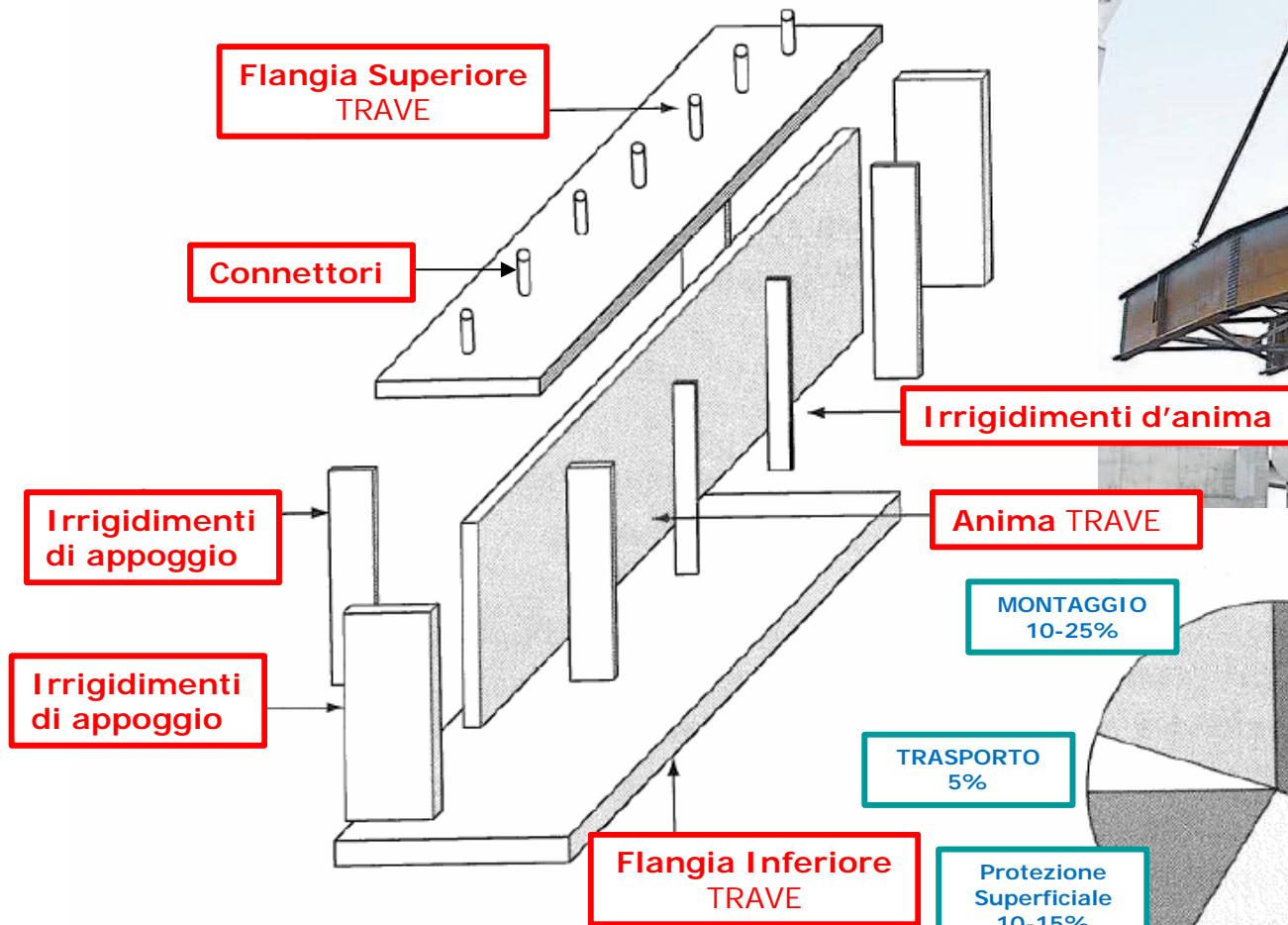


Principali morfologie SEZIONALI



TRAVI a I

Elementi costituenti la TRAVE

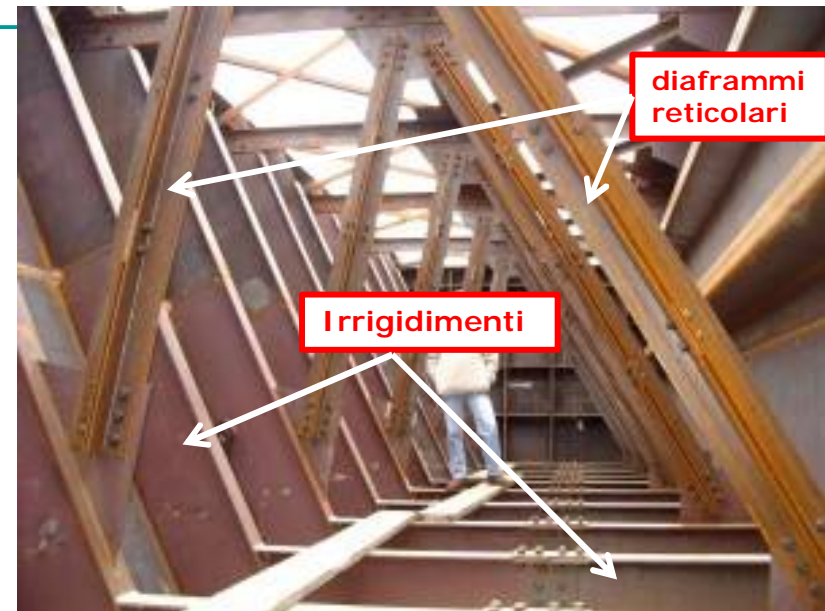


TRAVI a CASSONE

I cassoni metallici sono costituiti da **pareti piane irrigidite**, collegate in modo da formare una sezione scatolare chiusa. Questa caratteristica conferisce al cassone, diversamente dai ponti a graticcio, **grande rigidità torsionale**.

□ La **chiusura superiore è garantita dalla soletta in cls** che fa anche da piattaforma stradale.

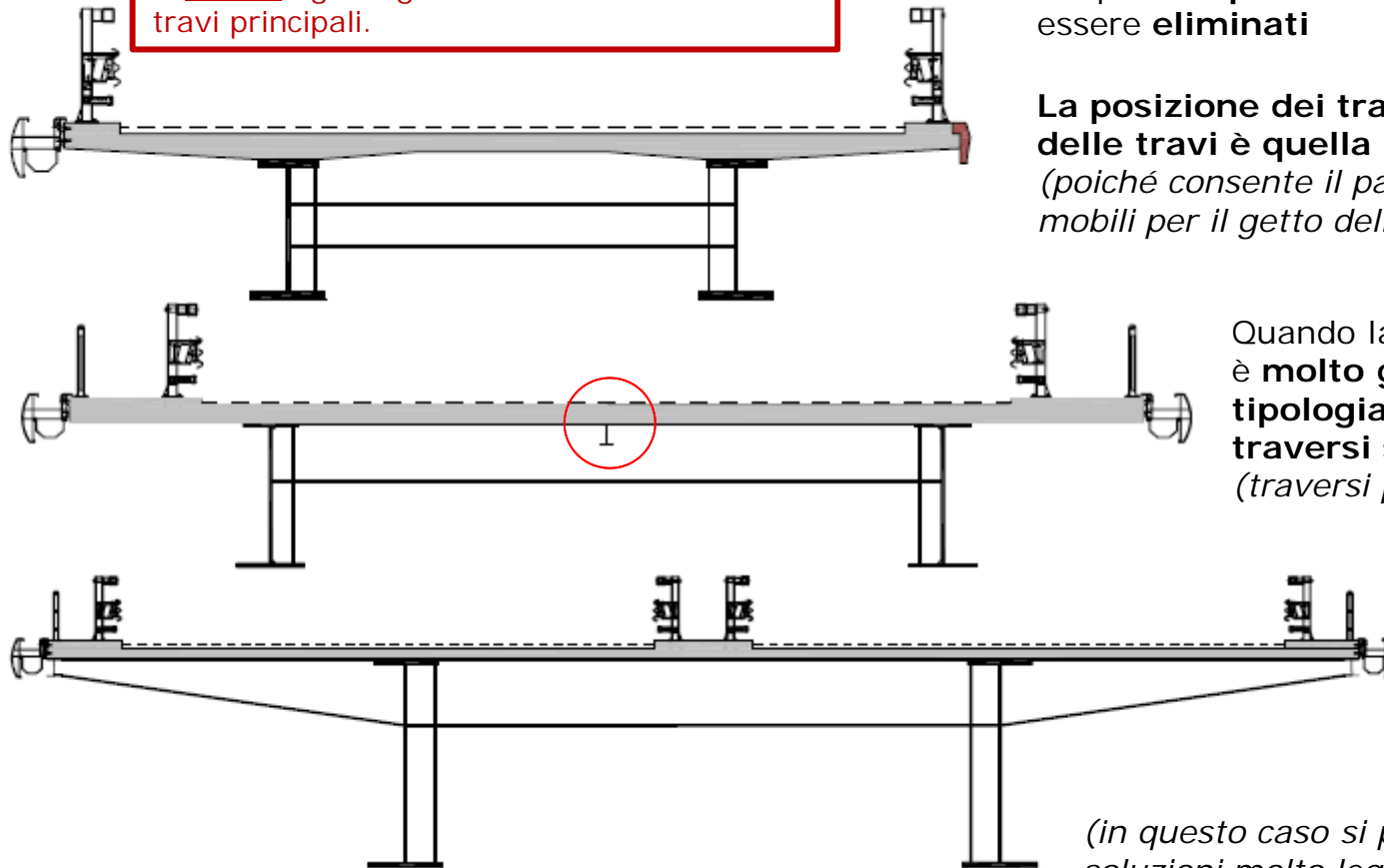
□ La **stabilità di forma è garantita** dall'utilizzo di un sistema di **diaframmi** realizzati con **strutture reticolari**, ovvero con **parete metallica piena**.



La SEZIONE TRASVERSALE

La SEZIONE BITRAVE

È costituita da **due travi a I**; è dotata di un **numero ridotto di traversi ad I**,
➤ normalmente non solidali alla soletta e
➤ saldati agli irrigidimenti verticali delle due travi principali.



Le principali tipologie utilizzate per gli impalcati continui sulle luci medie sono riconducibili ai **due schemi**

Sezione **BITRAVE**

Sezione a **CASSONE**

I **traversi** hanno un **interasse di 6-8 m**

nei ponti di **piccola luce** (< 30 m) possono essere **eliminati**

La **posizione dei traversi a metà altezza delle travi** è quella **più conveniente**,
(*poiché consente il passaggio delle casseforme mobili per il getto della soletta*)

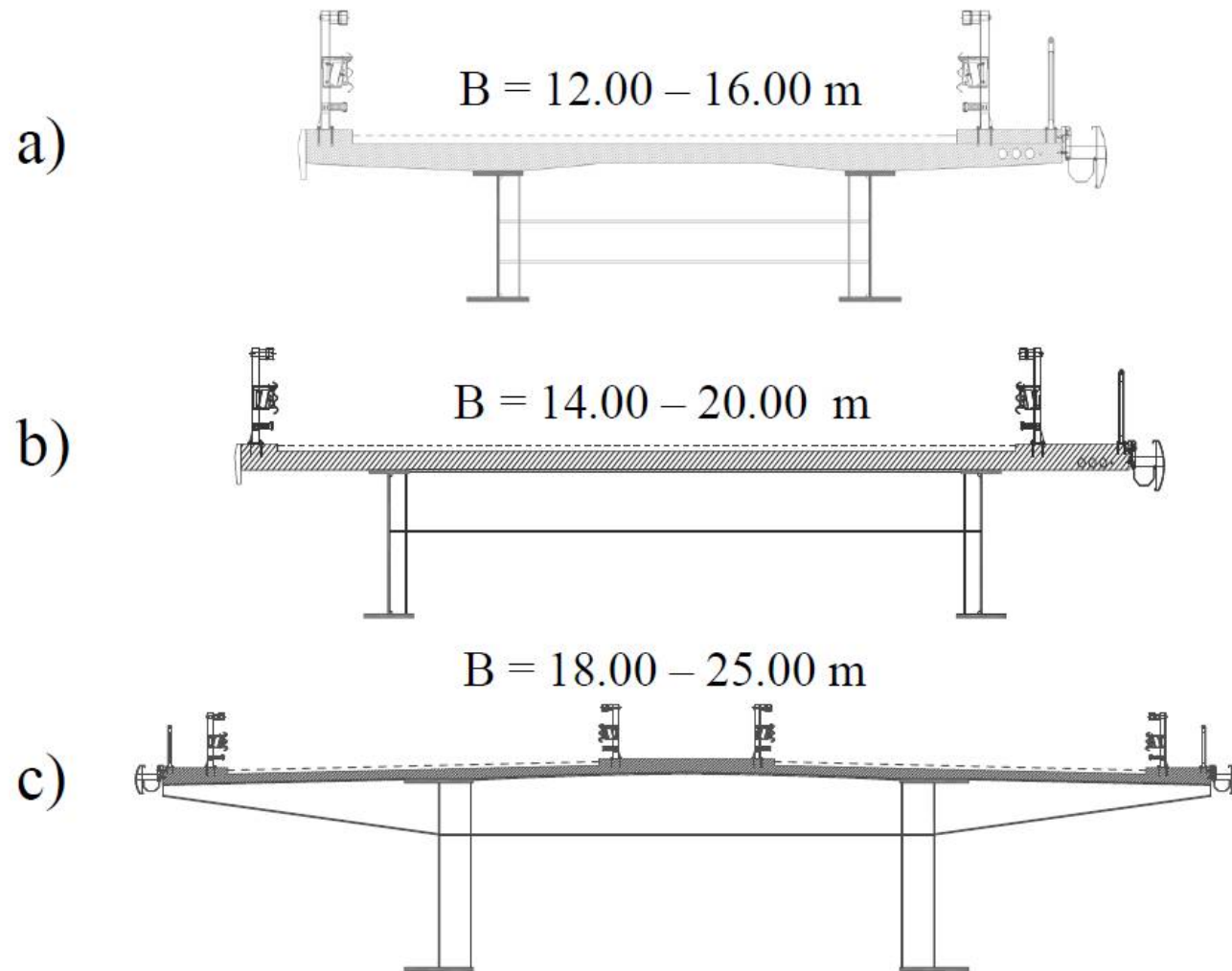
Quando la **larghezza della soletta** è **molto grande** (15-25 m), la **tipologia bitrave** è utilizzata con **traversi solidali alla soletta** (*traversi portanti*).

Per **contenere l'interasse delle travi** si adottano soluzioni con traversi aggettanti e sbalzi pronunciati;

(*in questo caso si possono realizzare soluzioni molto leggere con **interasse dei traversi di circa 4 m** e spessore della soletta di 22-25 cm*).

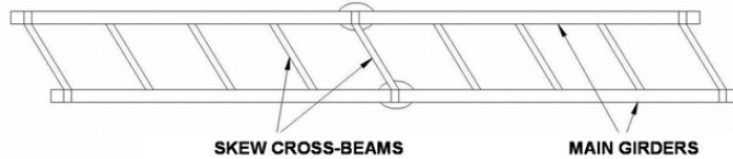


Impalcati a sezione aperta



Disposizione dei traversi nei SISTEMI BI-TRAVE

CASE N°1: MODERATE SKEWNESS – BRIDGE FEATURES ONLY SKEW CROSS-BEAMS.



CASE N°2: IMPORTANT SKEWNESS – BRIDGE FEATURES SQUARE STANDARD CROSS-BEAMS AND SKEW CROSS-BEAMS AT SUPPORTS.

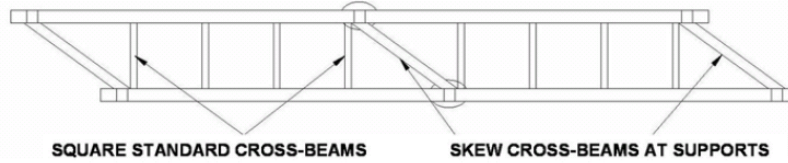
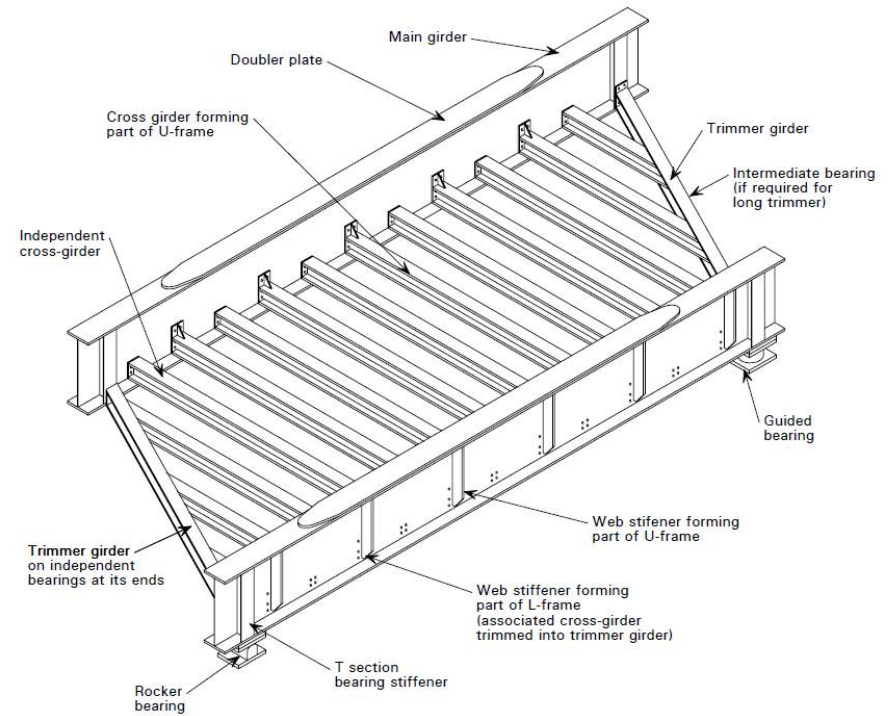
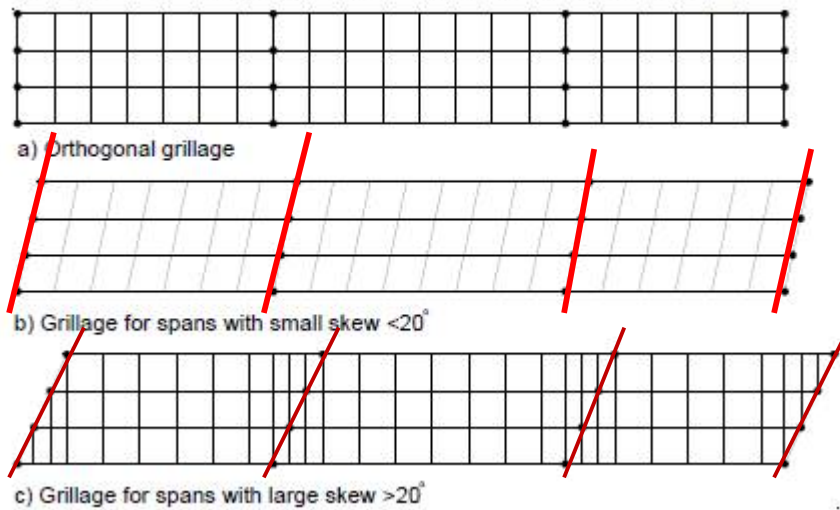
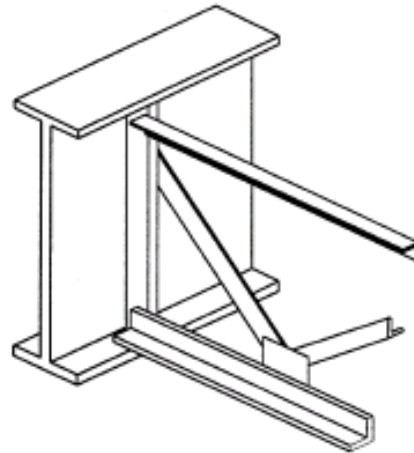


Figure 6.1 2D grillage models for a three-span multi-girder bridge



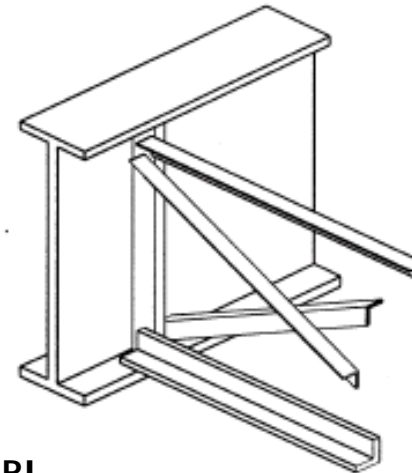
Morfologia TRASVERSI

Impalcati Multitrave

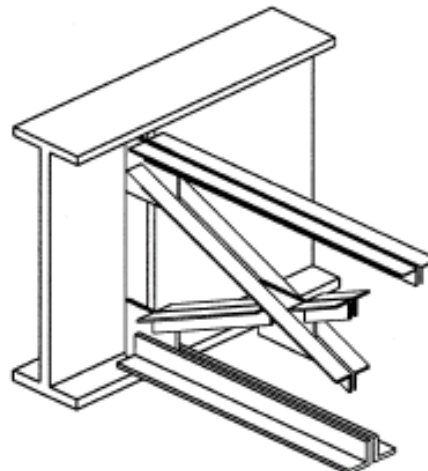


(a)

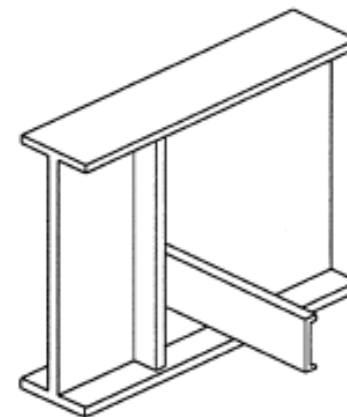
Trasversi RETICOLARI
(aste semplici)



(b)



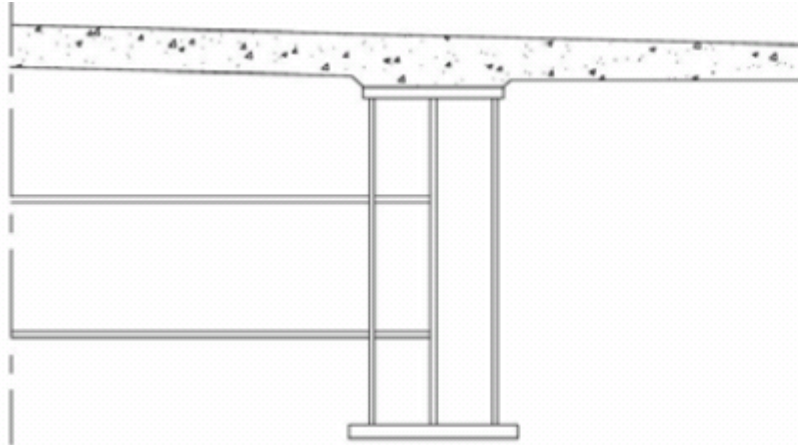
(c) Trasversi RETICOLARI
(aste composte)



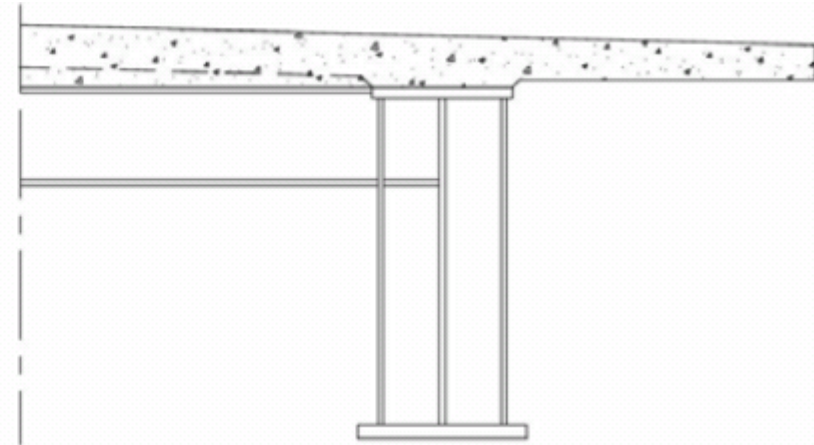
(d) Trasversi ad ANIMA PIENA



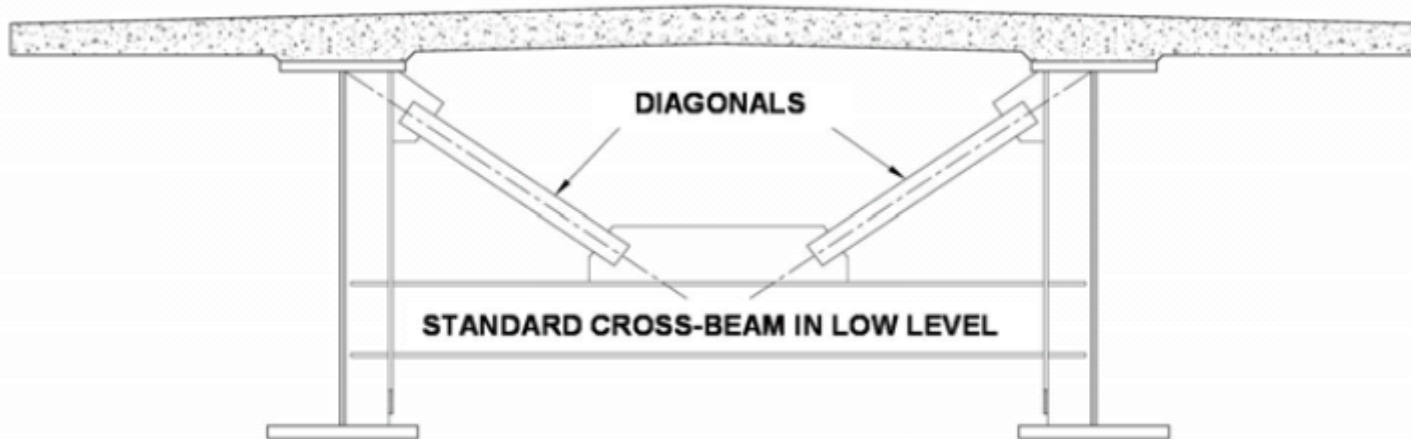
Traversi ad ANIMA PIENA per Impalcati A Trave Multipla



Traverso a metà altezza trave



Traverso solidale alla soletta

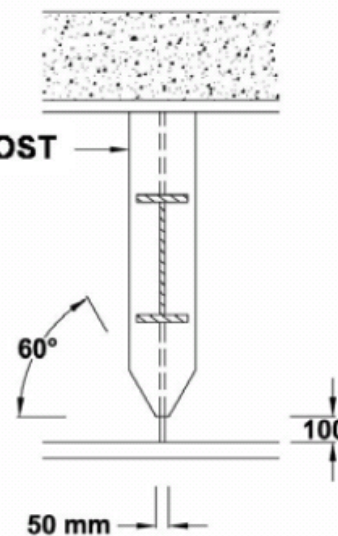
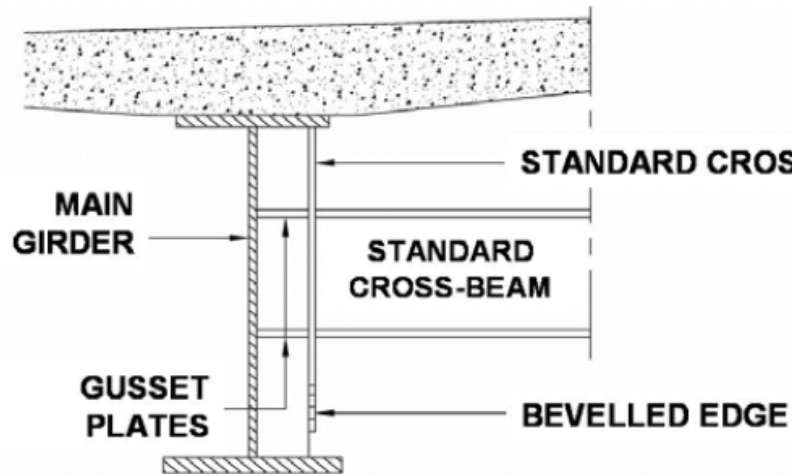


Traverso a metà altezza rinforzato da 2 diagonali

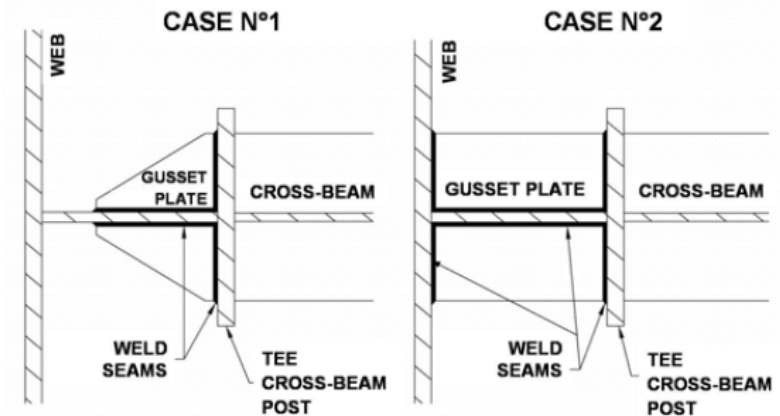
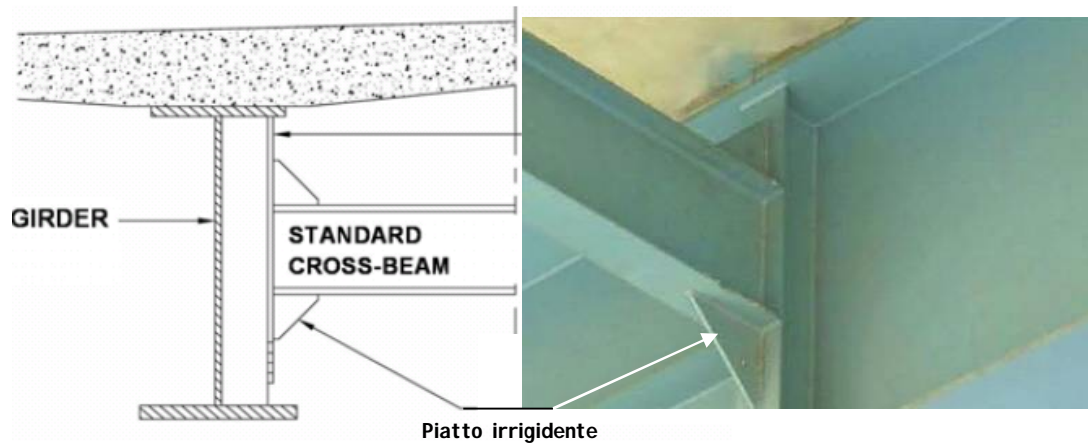


Traversi a metà altezza

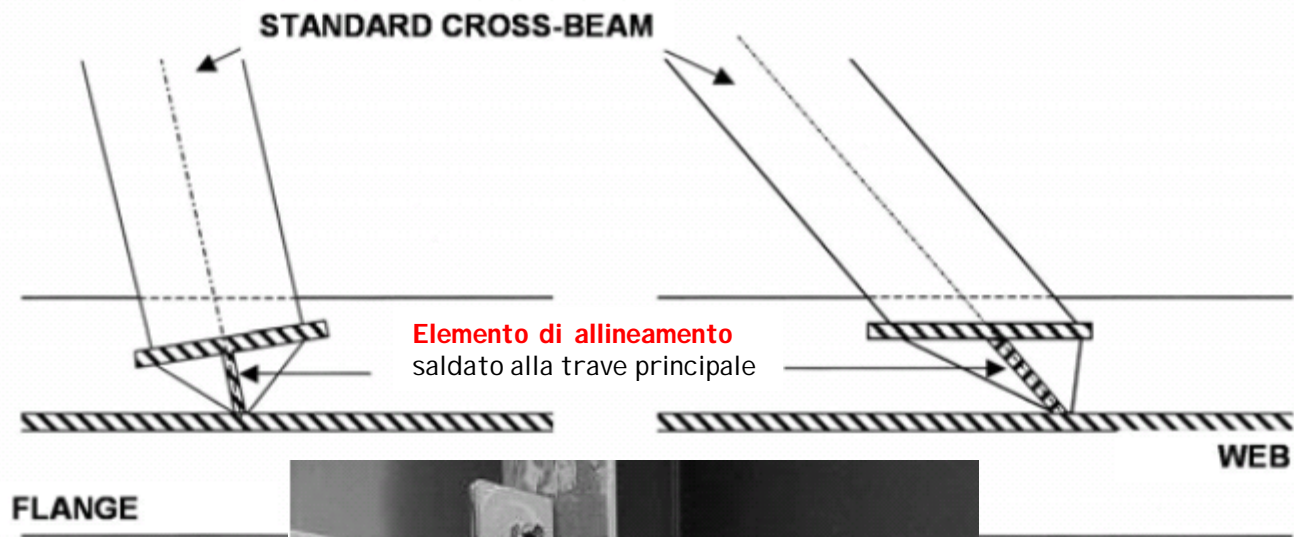
Connessioni TRAVE-TRASVERSO



Connessioni standard Trave-Traverso negli impalcati multitrave

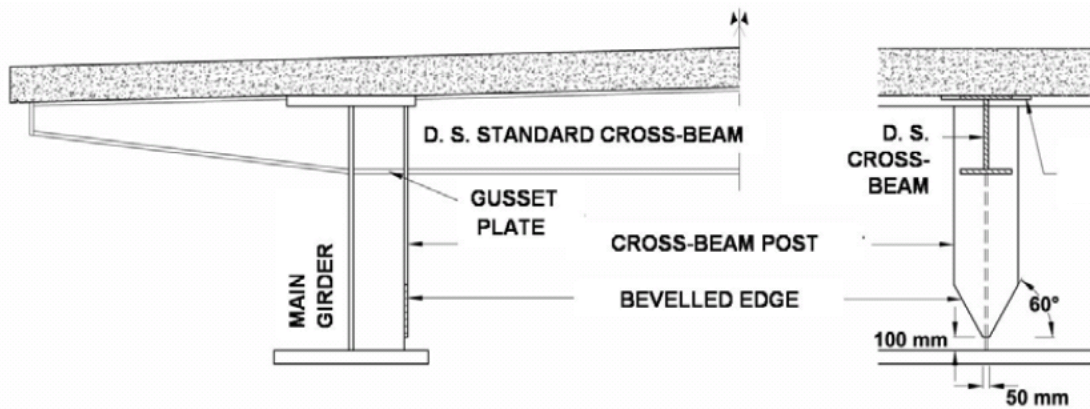


Conessioni Trave-Traverso negli impalcati con ANGOLO DI DEVIAZIONE



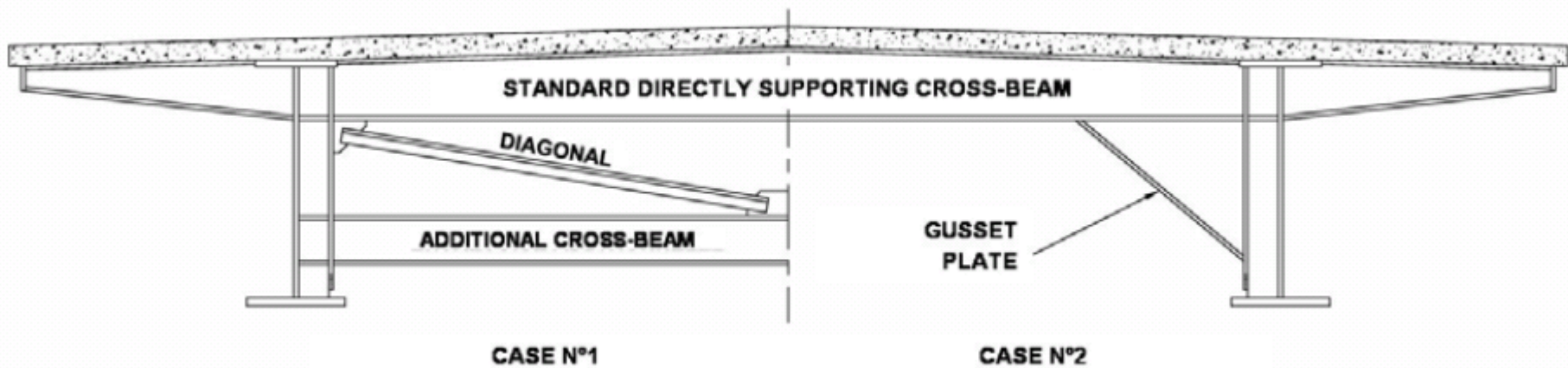
Traversi solidali alla soletta

Connessioni TRAVE-TRASVERSO



Traversi solidali alla soletta

IRRIDIMENTI

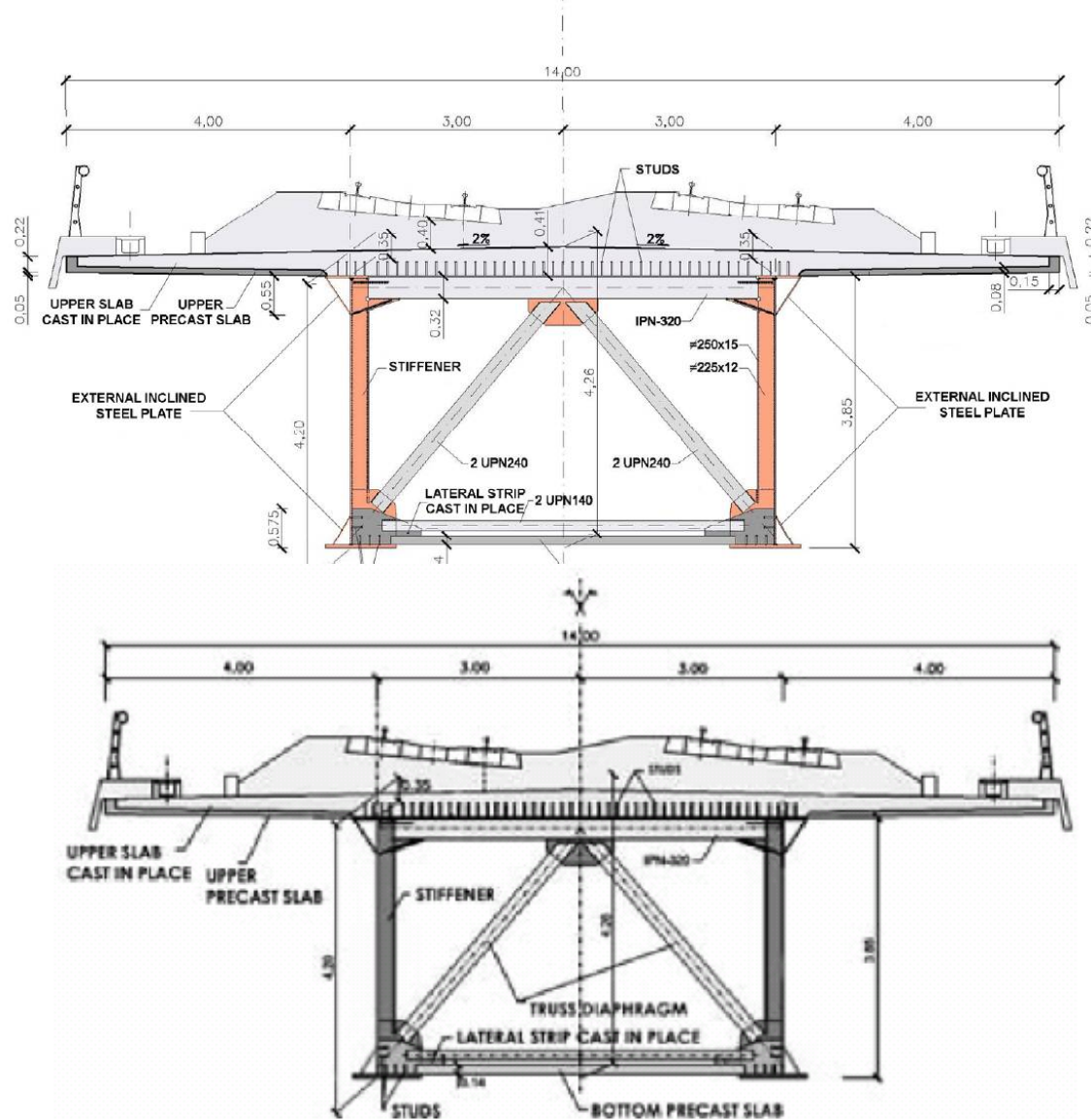


Con TRAVE ADDIZIONALE a metà altezza

Con FAZZOLETTI di IRRIGIDIMENTO

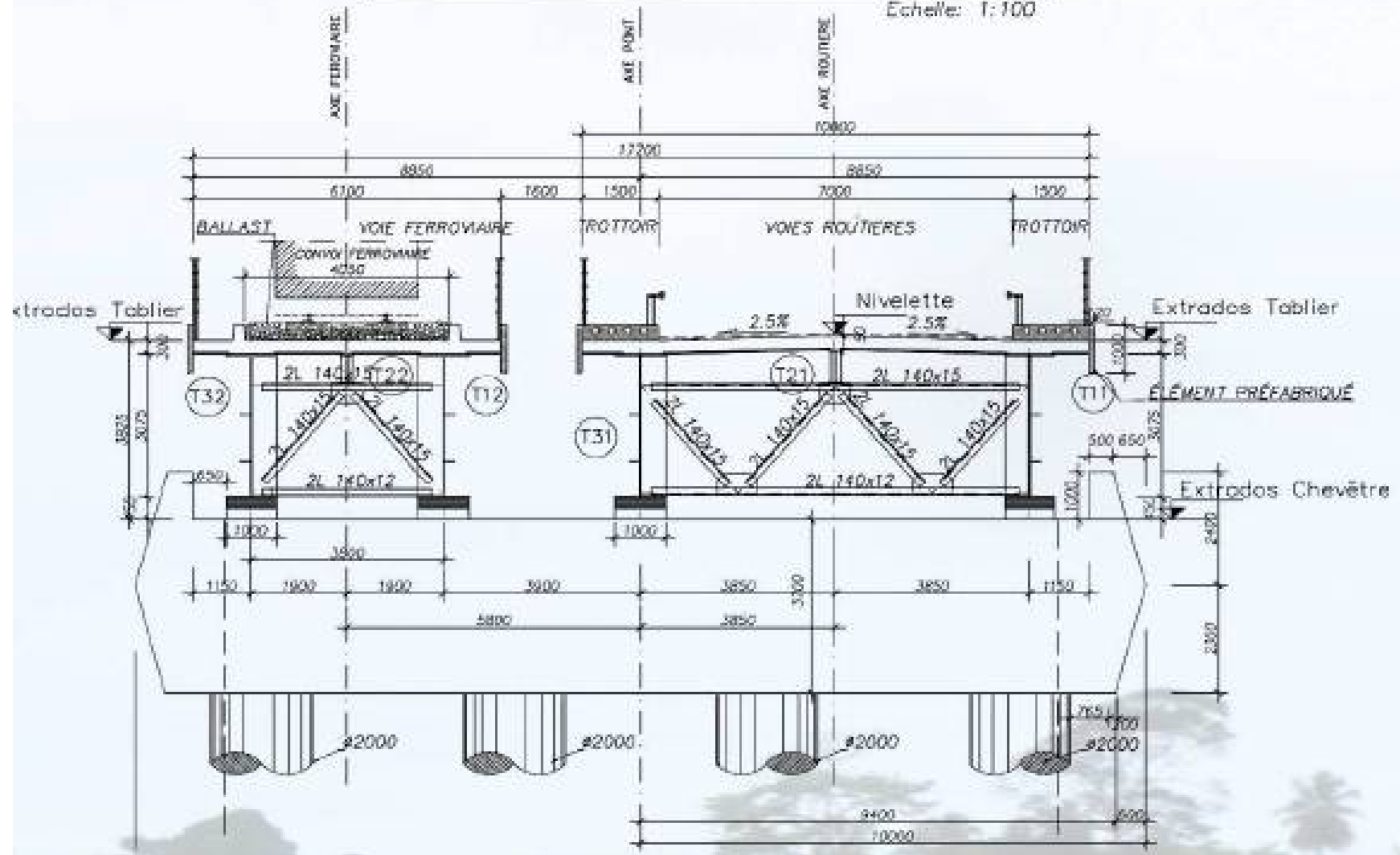


TRAVERSI RETICOLARI Ferroviari Bitrave

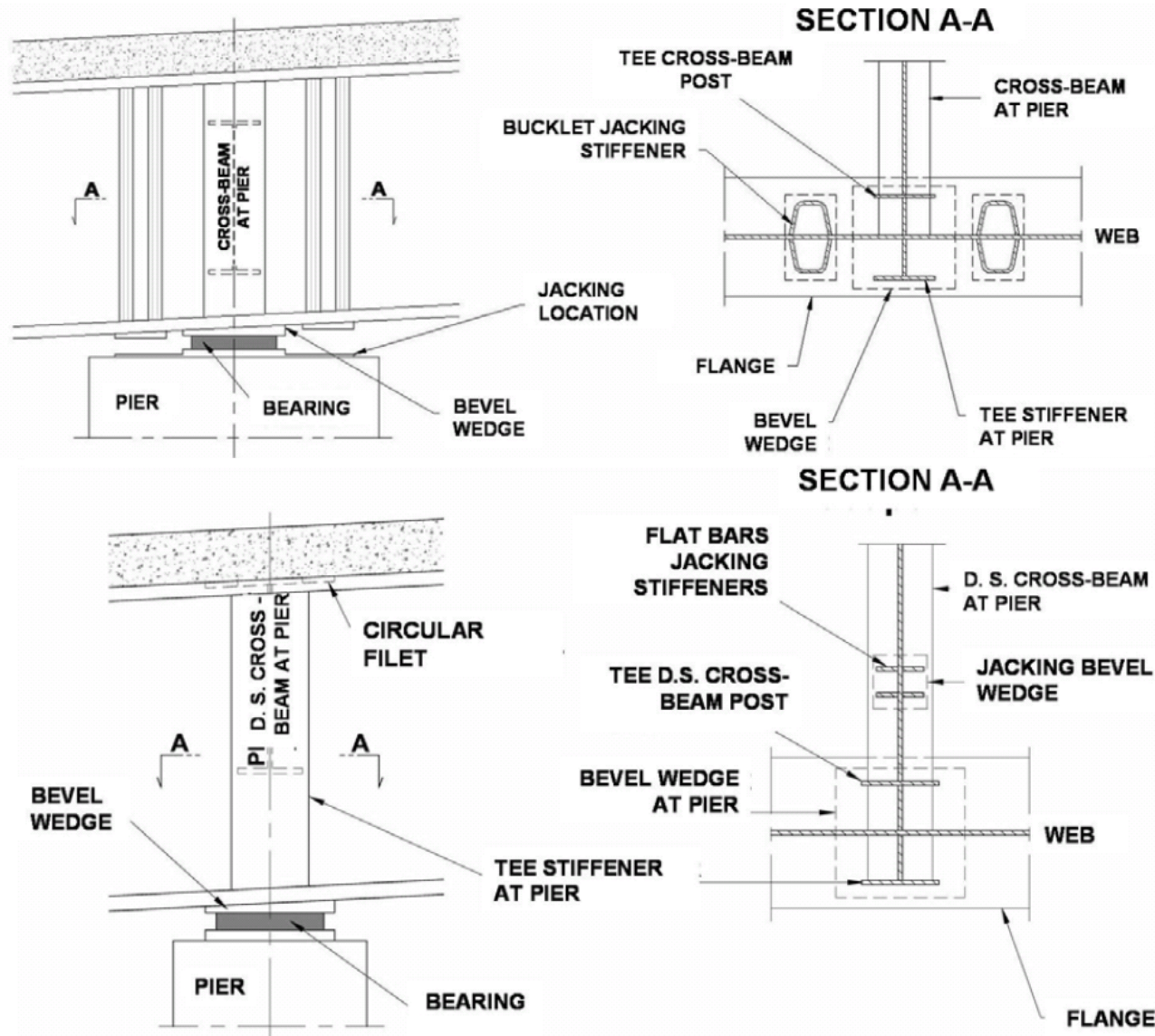


SECTION TRANSVERSALE TYPE

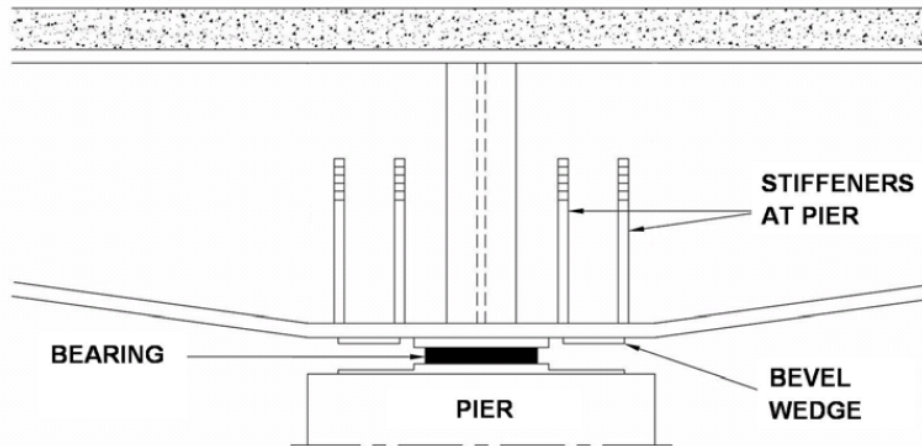
Echelle: 1:100



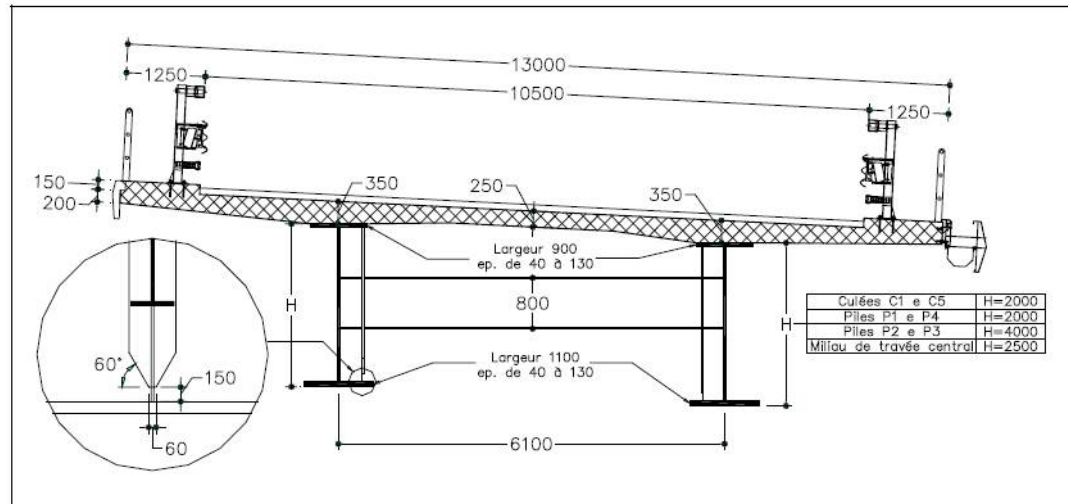
IRRIGIDIMENTI AGLI APPOGGI



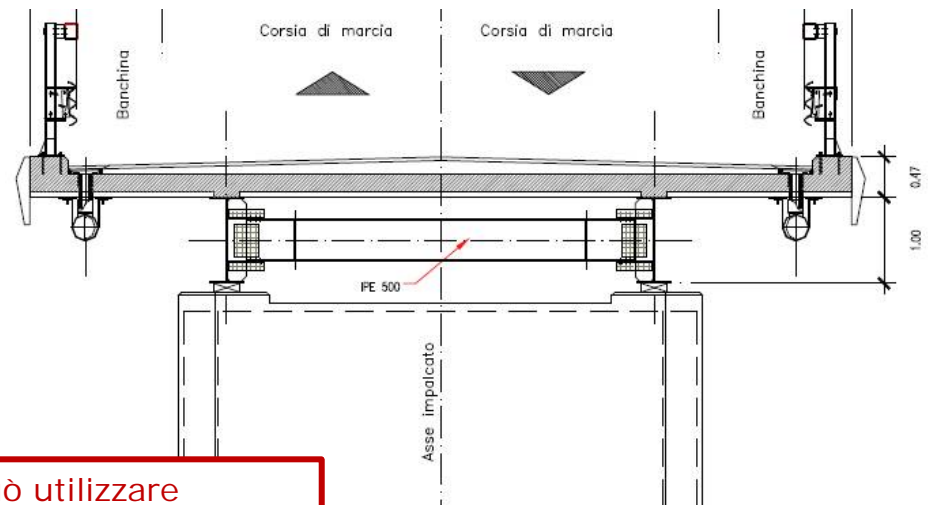
IRRIGIDIMENTI AGLI APPOGGI



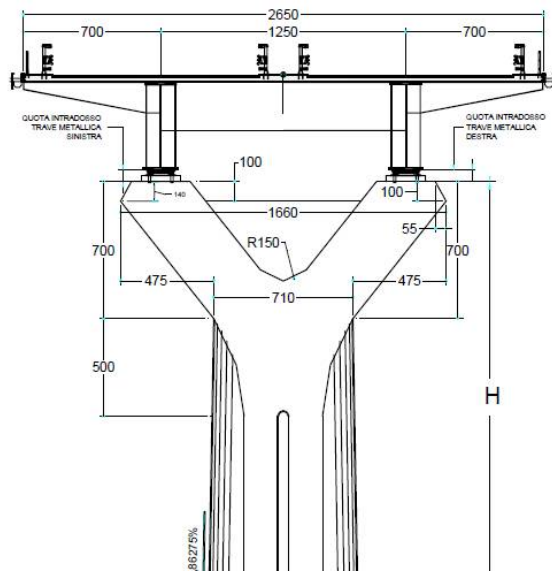
ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE BITRAVE



ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE BITRAVE

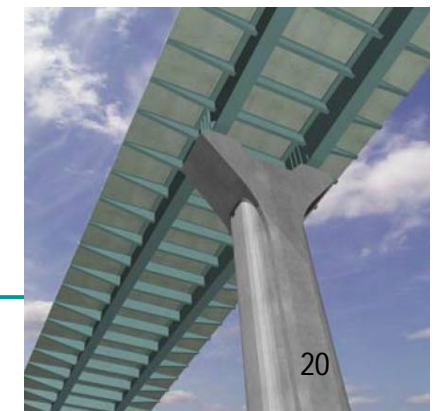
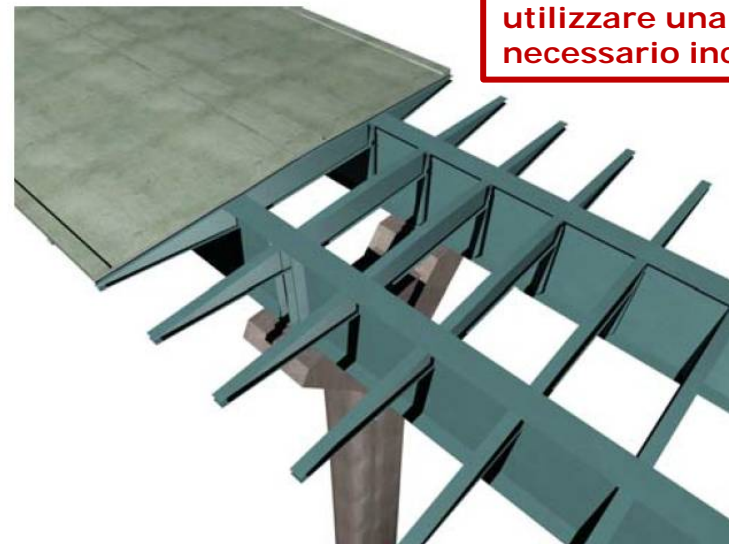


Quando l'interasse fra le travi è ravvicinato si può utilizzare un'unica pile che raccoglie gli appoggi di entrambe le travi

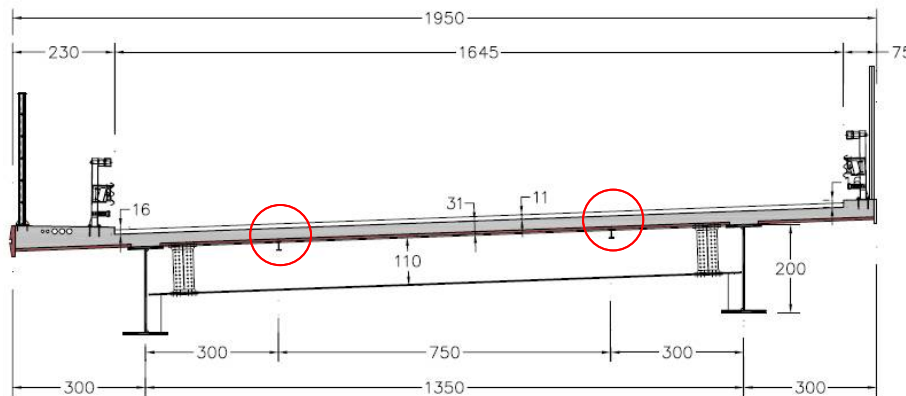


Per ridurre l'interasse fra le travi ed utilizzare una pila singola può essere necessario incrementare gli sbalzi.

In questi casi è indispensabile l'utilizzo di traversi aggettanti.



ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE BI TRAVE



Quando, invece, l'interasse fra le travi diventa eccessivo è indispensabile sdoppiare le pile

Ovvero conferire loro una conformazione particolare



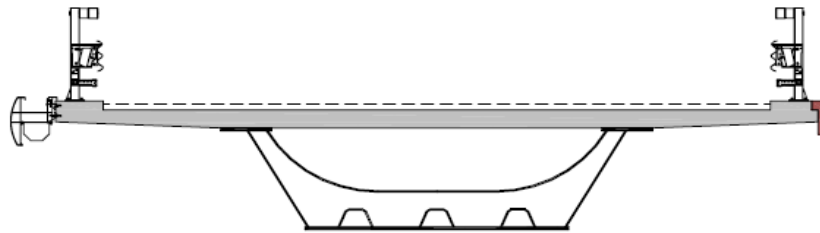
ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE MULTITRAVE



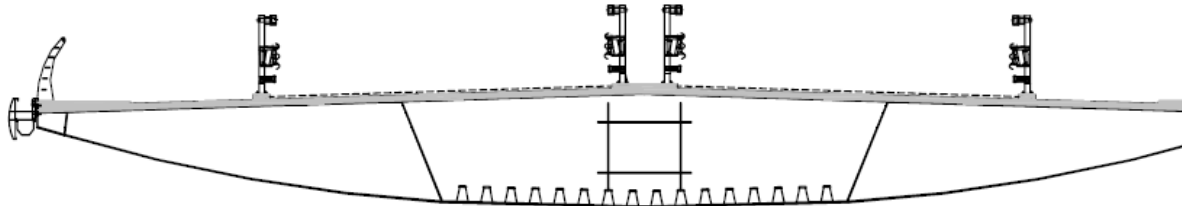
La SEZIONE A CASSONE

È ottenuta con una **trave metallica aperta superiormente**, ed è generalmente **più costosa della bitrave** (in quanto più pesante e di più complessa realizzazione).

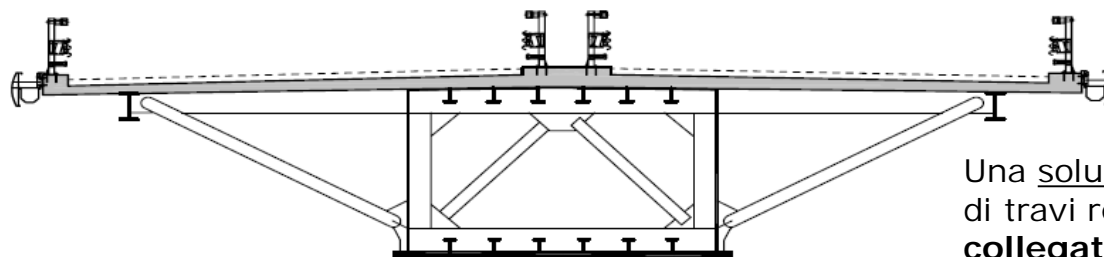
Può diventare **competitiva solo se interamente realizzata in officina** e quindi solo se ha una **larghezza contenuta (< 5 m)**. Tuttavia costituisce un'ottima soluzione strutturale quando è richiesta un'elevata **rigidezza torsionale**, o quando **si vuol ridurre l'altezza dell'impalcato**



Il **cassone trapezio** rispetto a quello rettangolare ha il vantaggio di contenere la larghezza del fondo e ridurre la parte non efficace per effetto **shear lag**.



Nel caso di **impalcati molto larghi** la soluzione a cassone monocellulare può essere ancora utilizzata ricorrendo ai **traversi aggettanti solidali alla soletta**



Una soluzione alternativa è costituita dall'utilizzo di travi reticolari inclinate o di **semplici puntoni collegati al fondo del cassone**.

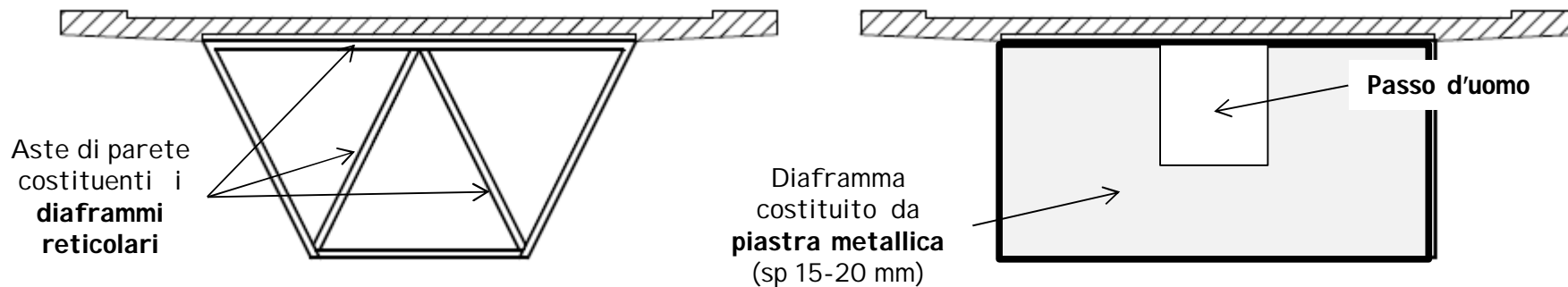
Negli **impalcati curvi** o di **grande luce**, per aumentare la rigidezza torsionale durante il varo, **la parte metallica può essere chiusa superiormente**.



ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE A CASSONE

Gli effetti torsionali sono assorbiti con **meccanismo alla Bredt**. Poiché però è pressoché nulla la capacità di trasmettere momenti in corrispondenza degli incroci delle pareti, **la stabilità di forma della sezione viene affidata ad un fitto sistema di diaframmi**, che in genere vengono disposti con **passo dell'ordine di 1 ÷ 2 volte l'altezza della sezione**.

Per il **dimensionamento dei diaframmi** si analizza il **telaio trasversale** costituito dalla sezione corrente e dai controventi, **avente lunghezza pari alla zona trasversalmente "collaborante"**. A tale telaio vengono attribuite tutte le azioni relative ad una lunghezza di impalcato corrispondente all'interasse dei controventi e lo stesso viene mantenuto in equilibrio dalle azioni taglianti e torcenti agenti sulle facce di estremità.

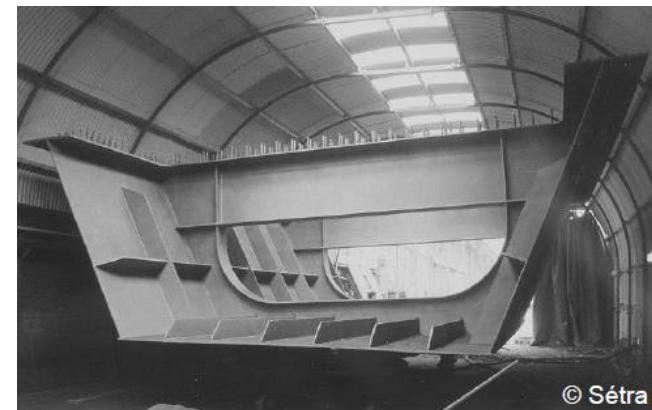
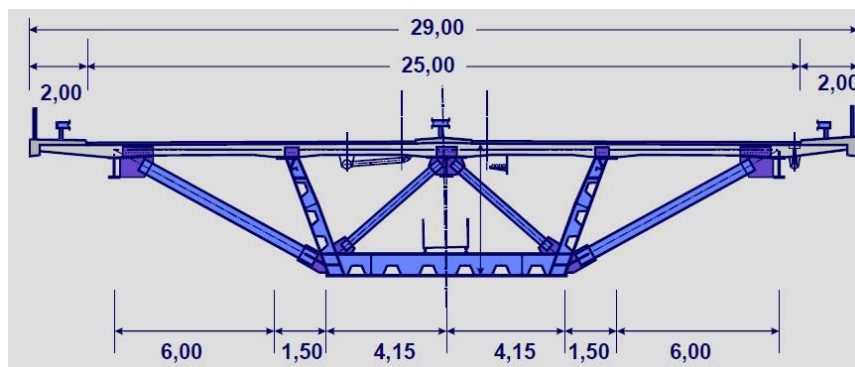
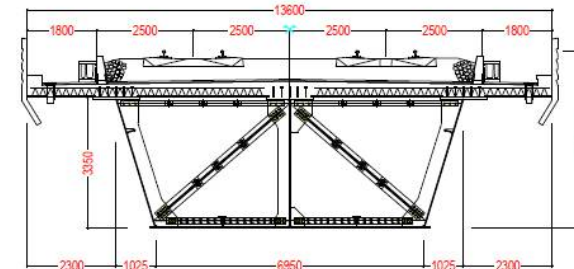
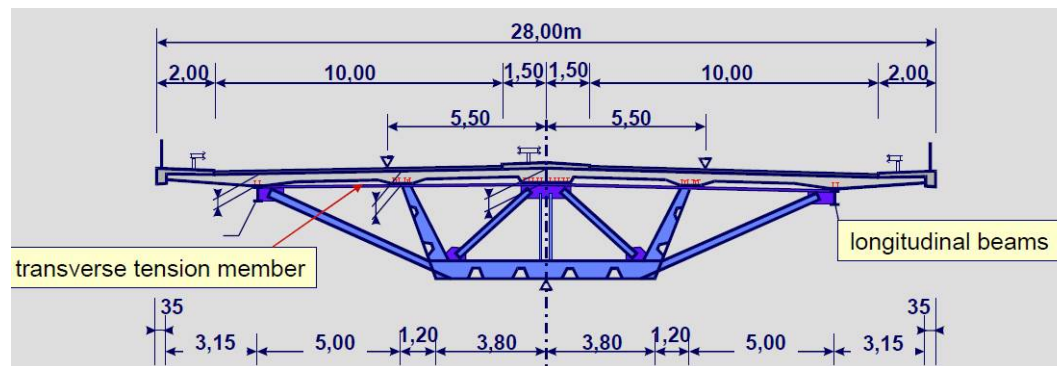
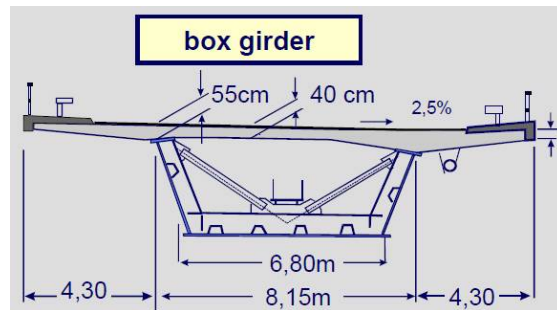


Diaframma realizzato con **struttura reticolare**

Diaframma realizzato con **parete metallica piena**, solidarizzata alla soletta e munita di eventuale "**passo d'uomo**"

TRAVI A CASSONE

Morfologia Sezione Impalcato

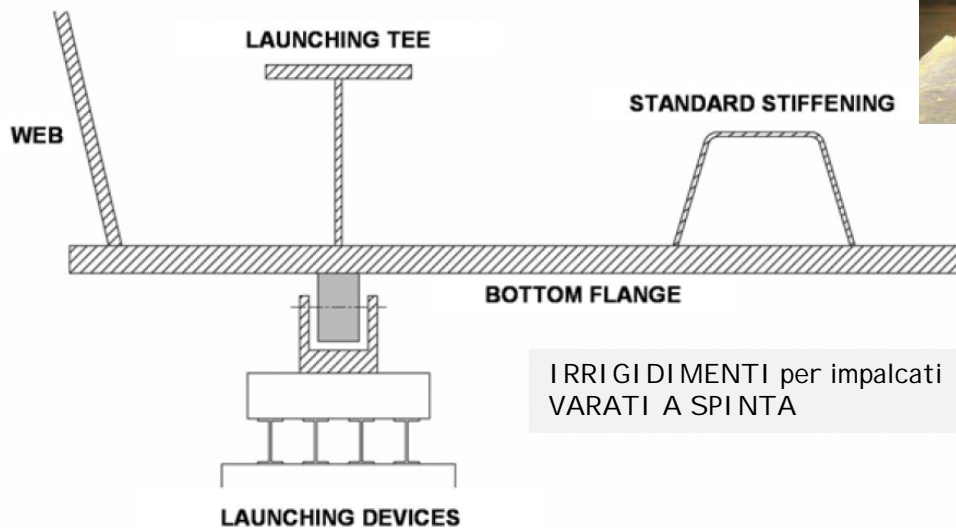


TRAVI A CASSONE

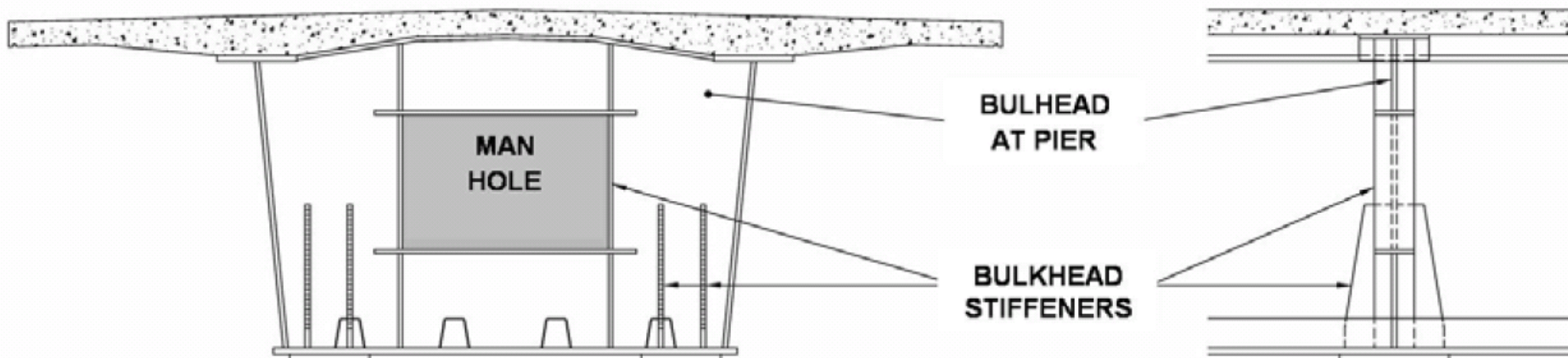
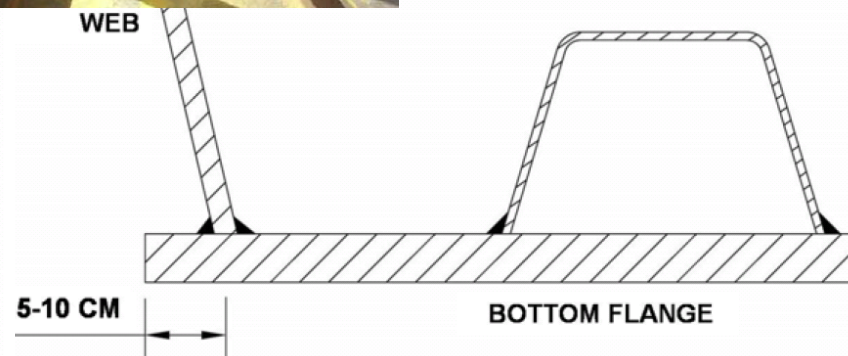
Morfologia Flangia Inferiore



La flangia inferiore necessita di irrigidimenti longitudinali



IRRIGIDIMENTI per impalcati VARATI A SPINTA

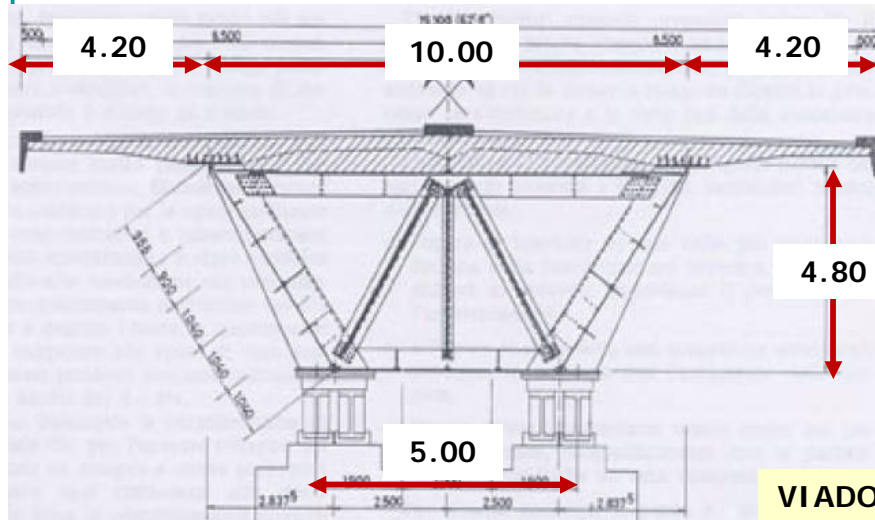


IRRIGIDIMENTI sugli APPOGGI

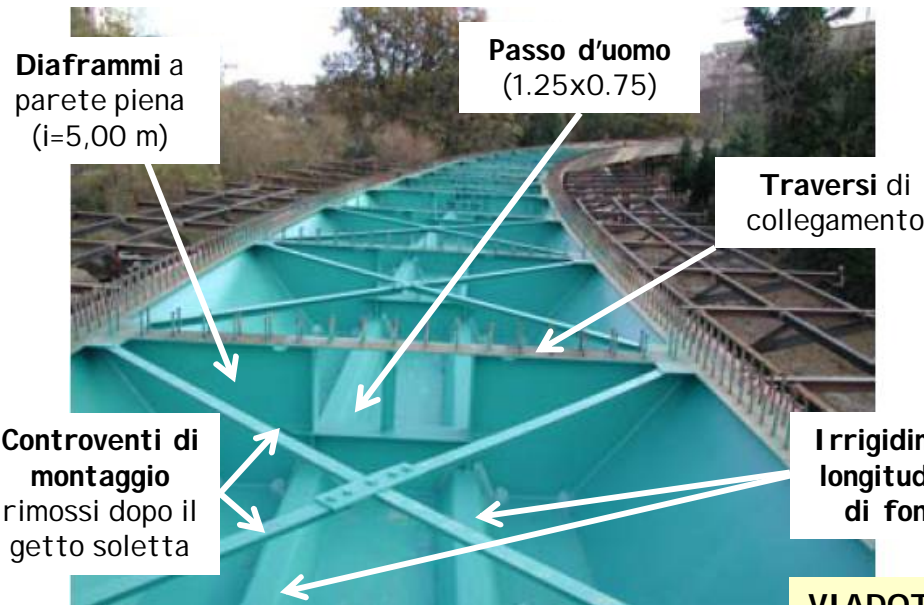




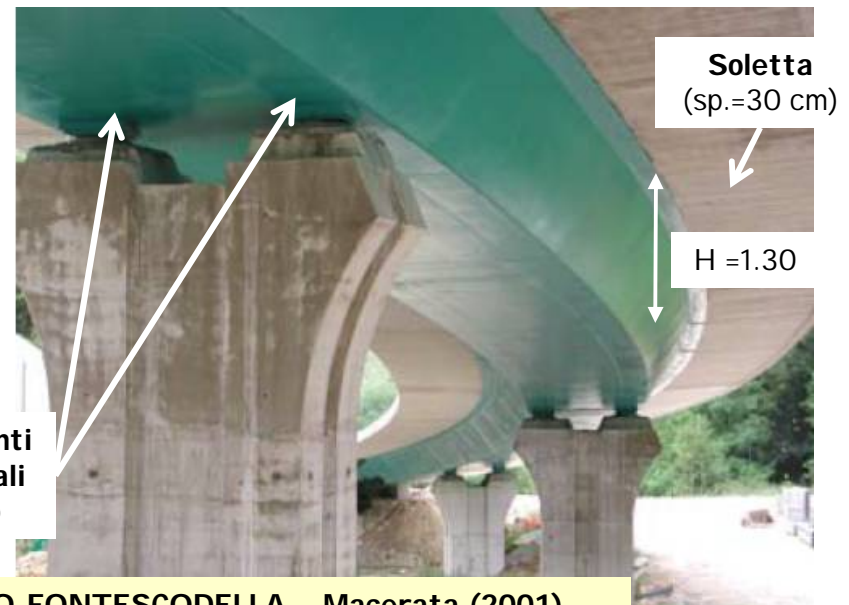
ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE A CASSONE



VIADOTTO SULL'ENTELELLA, CHIAVARI (1969)

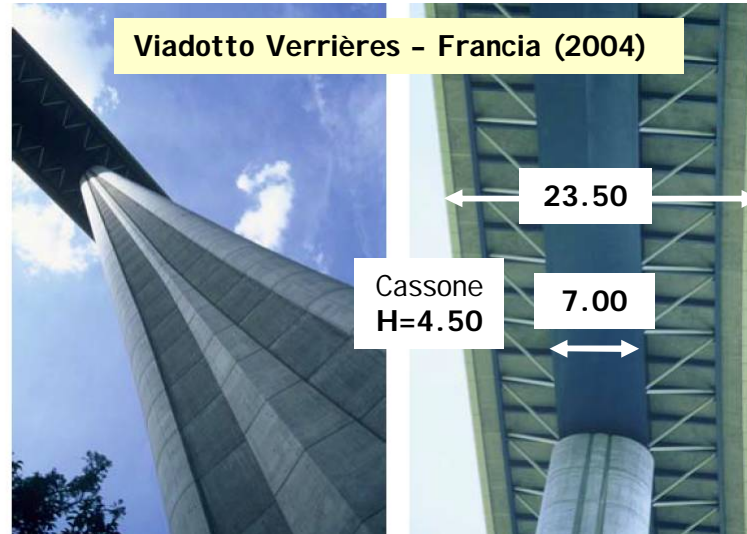


VIADOTTO FONTESCODELLA - Macerata (2001)

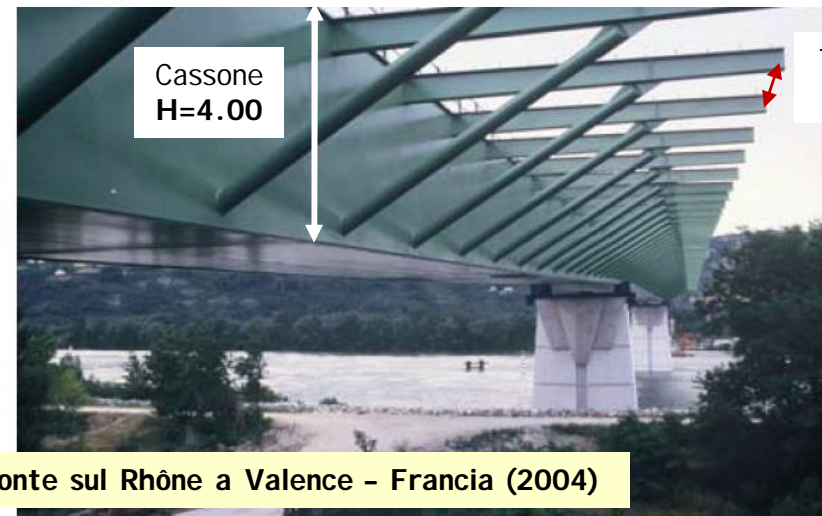
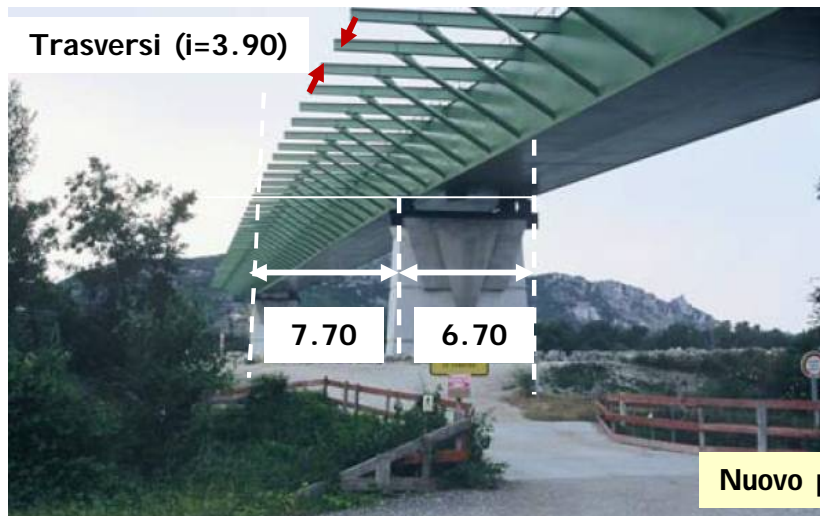


ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE A CASSONE

CON SBALZI SOSTENUTI LATERALMENTE DA STRUTTURE RETICOLARI



È una soluzione particolarmente utile per **impalcati molto larghi**, ovvero quando l'altezza considerevole delle **pile** **sconsiglia lo sdoppiamento** delle stesse



Nuovo ponte sul Rhône a Valence - Francia (2004)

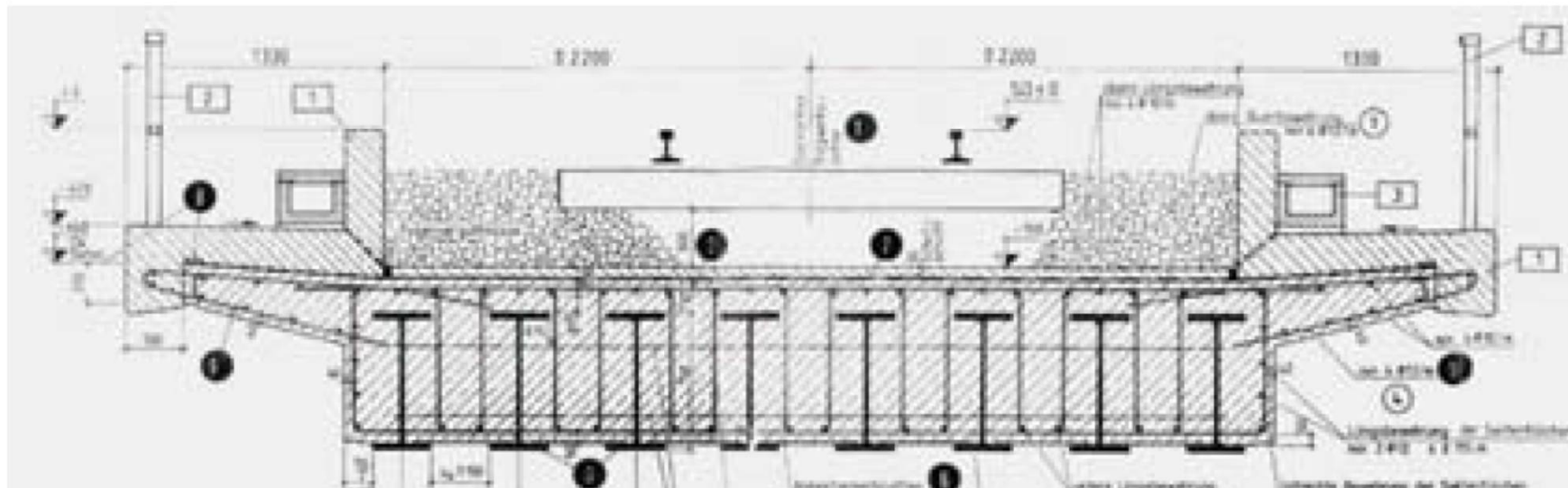


ESEMPI DI UTILIZZO DI SEZIONE FILLER BEAM

TRASVERSALE



LONGITUDINALE



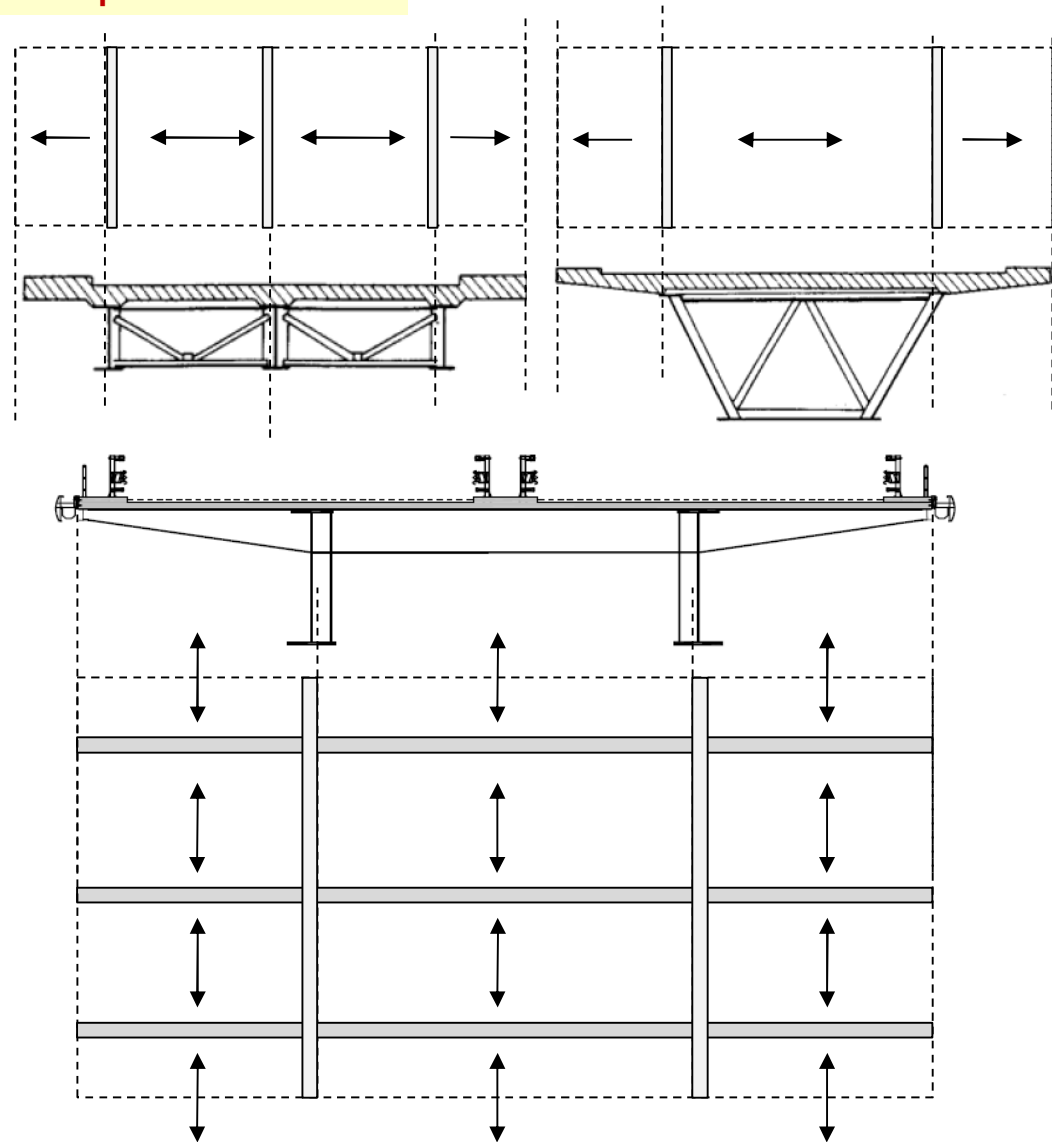
SOLETTA

La soletta in c.a. assolve molteplici funzioni:

- 1 Portare i carichi direttamente applicati sull'impalcato

La **tessitura** è solitamente **trasversale** con appoggi sulle travi a I, ovvero sulle anime dei cassoni. Le parti laterali sono a sbalzo

Quando le luci sono notevoli o gli sbalzi eccessivi si utilizzano **trasversi metallici**, invertendo il verso di tessitura della soletta.



SOLETTA

La soletta in c.a. assolve molteplici funzioni:

- 2 **Completare la parte superiore** dei cassoni metallici, conferendo la necessaria **rigidezza torsionale**

Per irrigidire il cassone aperto superiormente in fase di montaggio (soprattutto nei tratti in curva), si utilizzano dei **controventi provvisori** che possono essere rimossi dopo che la soletta superiore a fatto presa e completa la scatolarità della trave



SOLETTA

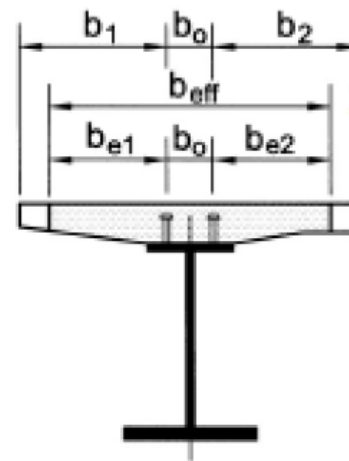
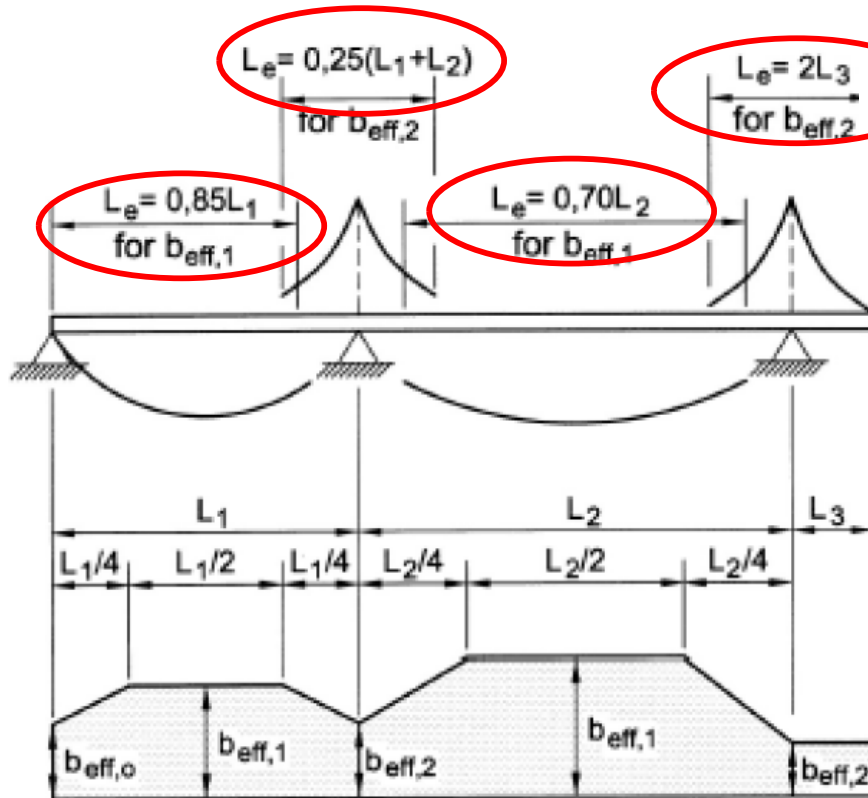
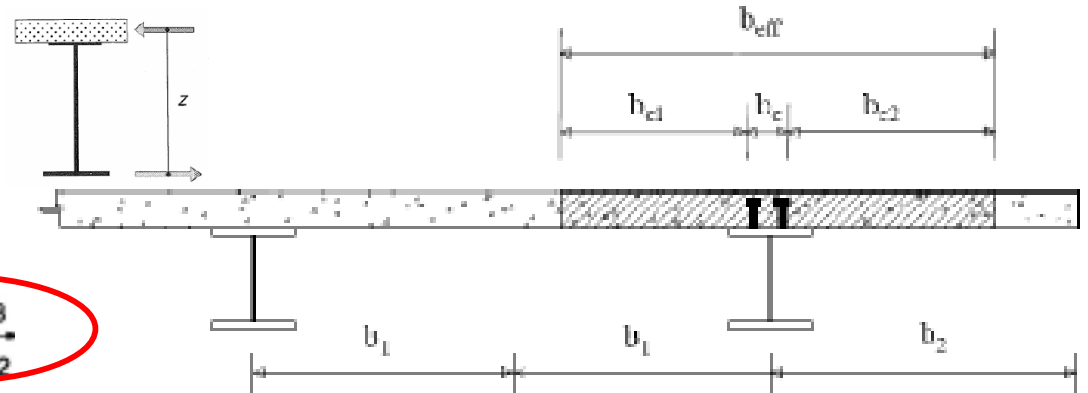
La soletta in c.a. **assolve molteplici funzioni:**

- 3** Irrobustire la parte compressa di travi o cassoni nei campi di **momento positivo**

Nei campi a momento positivo le fibre superiori della trave risultano compresse e, se la compressione è affidata alla **sola parte metallica** questa rischia di **instabilizzarsi**. La presenza di soletta è di grande utilità nel far fronte alle azioni di compressione

b_0 è la distanza tra gli assi dei connettori

$$b_{ei} = \min(L_e/8, b_i)$$



Per gli appoggi di estremità la formula diviene

$$b_{eff} = b_0 + \beta_1 b_{e1} + \beta_2 b_{e2}$$

dove $\beta_1 = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{L_e}{b_{ei}} \right) \leq 1,0$

L_e

- nelle **travi semplicemente appoggiate** è la luce della trave
- nelle **travi continue** è la distanza indicata in figura



SOLETTA

Modalità di getto

Sono possibili nelle travi **diversi approcci costruttivi**:

⇒ **A** costruzione delle solette con travi metalliche **integralmente puntellate**

in campo elastico tutti i carichi sono sostenuti dalla trave composta



la soletta è **sempre collaborante**

i **connettori** portano tutti i carichi

B costruzione delle solette con travi metalliche **parzialmente puntellate**

⇒ **C** costruzione delle solette con travi metalliche **NON puntellate**

Parte delle azioni esterne sollecitano esclusivamente la trave



la soletta **collabora a portare solo parte dei carichi**



Anche i **connettori** sono sollecitati a taglio solo per effetto dei carichi portati anche dalla soletta



CONNETTORI

Sono elementi strutturali di grande importanza in quanto **da essi dipende la collaborazione statica fra soletta e travi.**

Le principali problematiche connesse con il corretto funzionamento dei connettori sono:

A

Problemi tecnologici riguardanti la realizzazione di organi meccanici per la **solidarizzazione tra trave e soletta**, atti a resistere alle azioni di scorrimento e a garantire la piena solidarietà tra le parti.

N.B. La rottura deve presentarsi sotto forma di collasso dell'elemento nel suo insieme, e non come distacco e rottura di una delle due parti componenti.

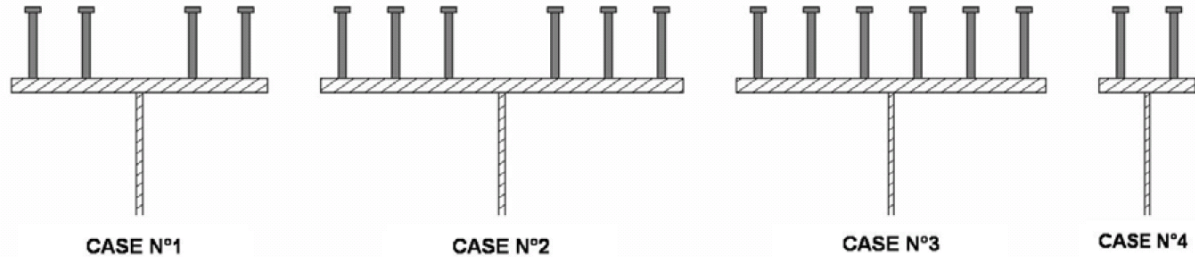
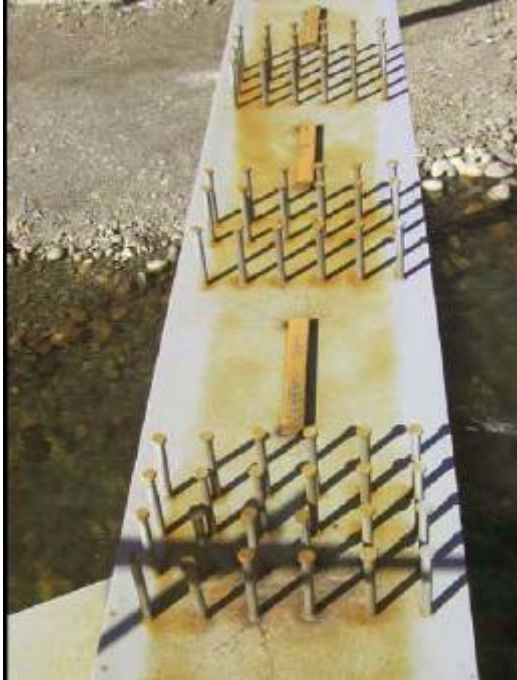
B

Problemi di calcolo alquanto onerosi in vista dei **fenomeni reologici** che interessano in maniera radicalmente diversa gli elementi connessi.

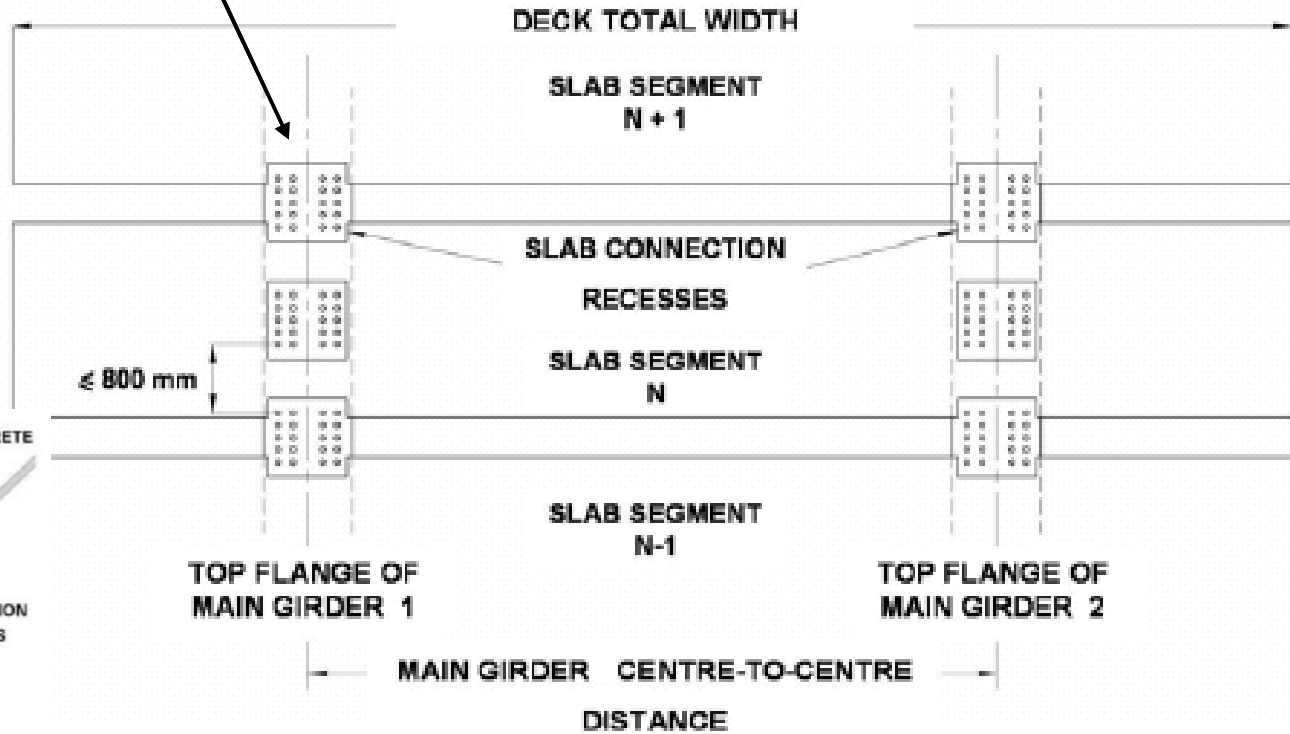
N.B. La verifica dei connettori è ulteriormente complicata dalla presenza di stati di sollecitazione complessi con forti concentrazioni di tensione e notevole sensibilità alla ripetizione dei carichi.



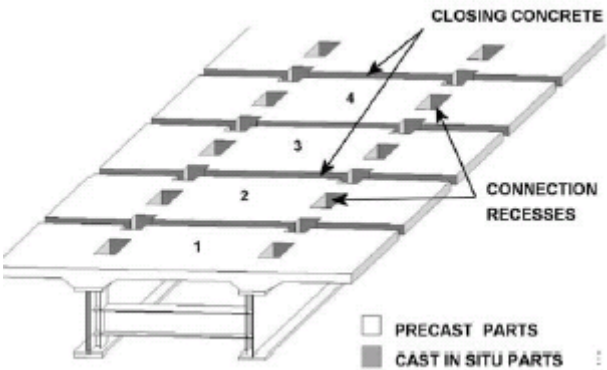
CONNETTORI

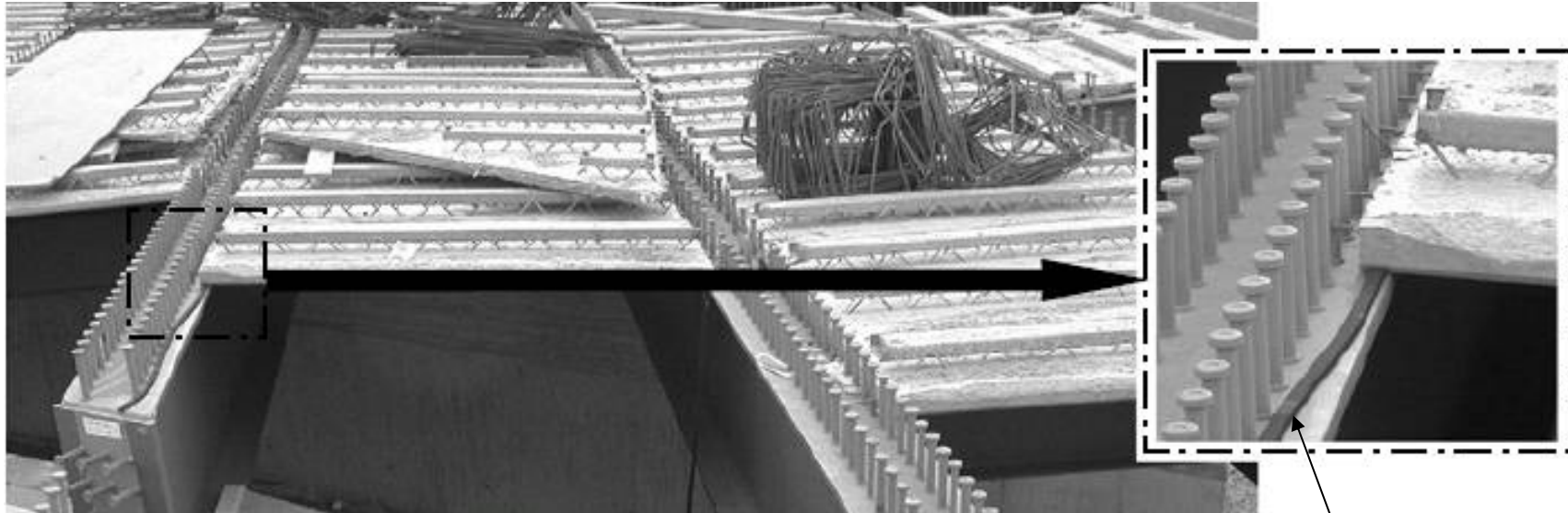


Distribuzioni più usuali di connettori



Raggruppamento di connettori finalizzato all'utilizzo di coppelle prefabbricate



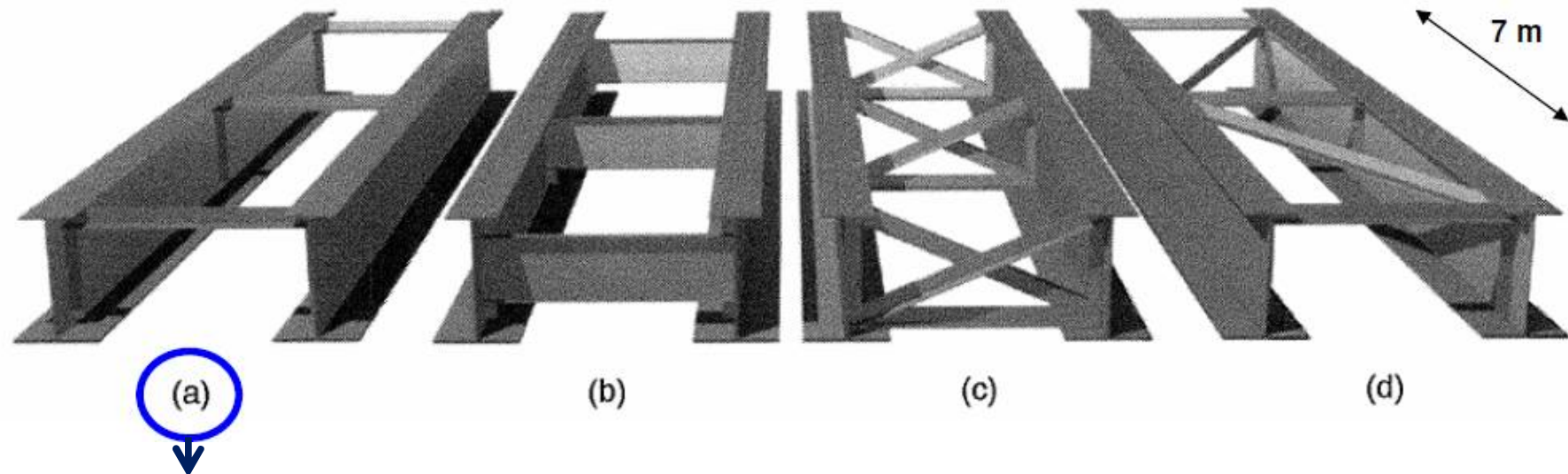


Nastri in Neoprene



STRUTTURE SECONDARIE

Per evitare **fenomeni di instabilità laterale di tipo torsionale** della sezione in acciaio durante la fase di costruzione (quando cioè la soletta non è collaborante), **si introduce un sistema piano di collegamenti tra le flange superiori delle travi**, che verrà eventualmente rimosso dopo il getto della soletta.



Si osservi che **la semplice connessione tra flange compresse è inefficace nel prevenirne l'instabilità flesso-torsionale**

Allo scopo di assorbire gli effetti torsionali, sono normalmente previste **travi di controvento orizzontale impostate all'altezza della piattabanda inferiore della trave**

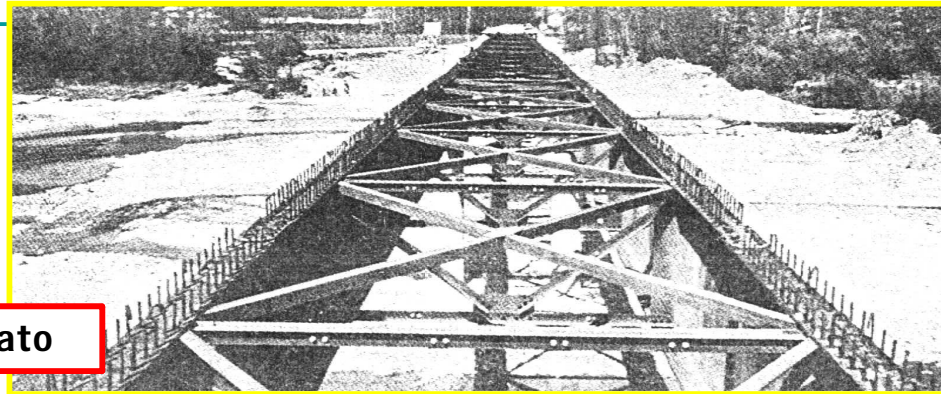
Per travi particolarmente alte, per evitare fenomeni di imbozzamento, le anime vengono irrigidite con costole elettrosaldate



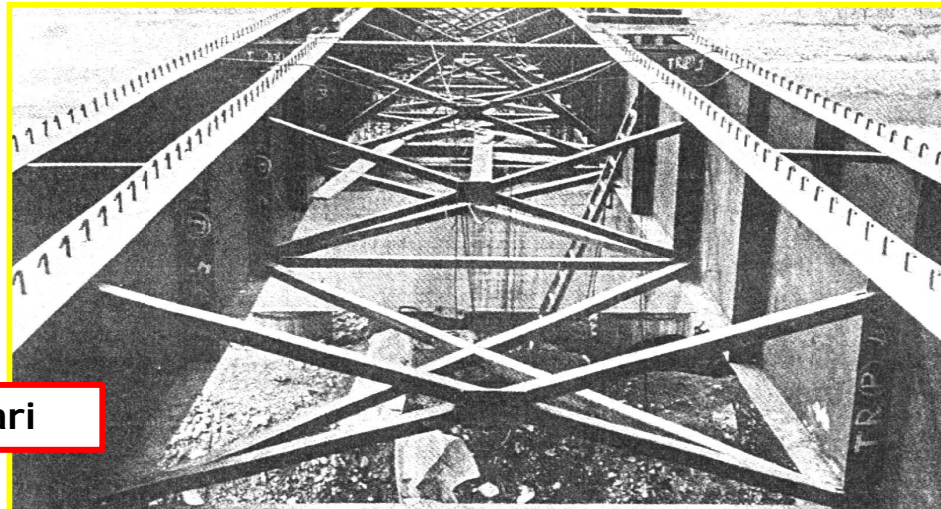
STRUTTURE SECONDARIE

Le strutture secondarie di controvento possono essere costituite da:

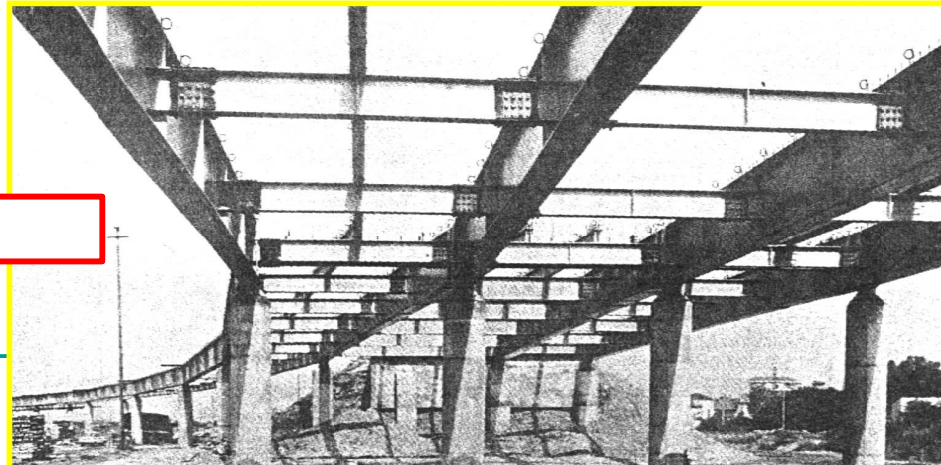
Tralicci in profilato



Tralicci in tubolari

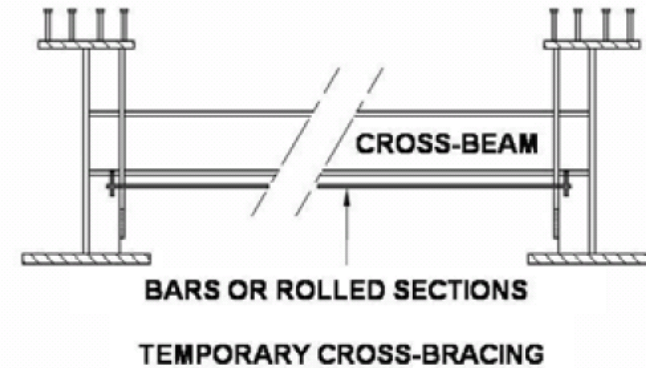
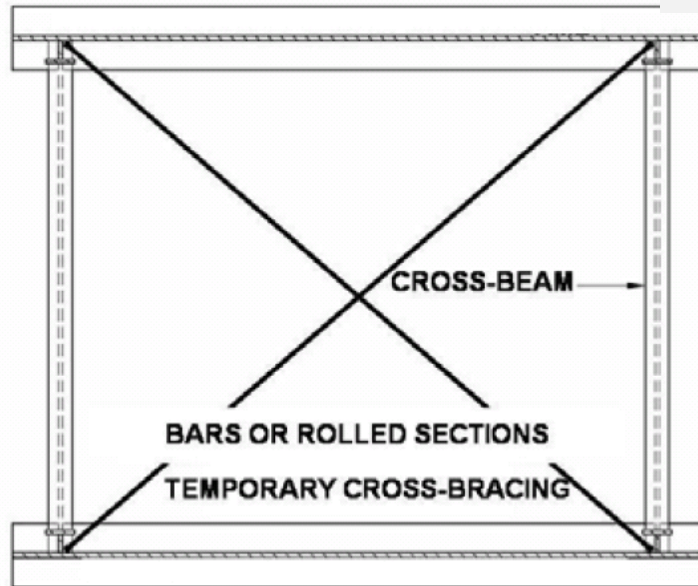


Semplici travi



CONTROVENTI TEMPORANEI

Durante la costruzione, quando ancora la soletta non è stata gettata, occorre provvedere al controventamento delle travi nel piano superiore. Poiché si tratta di controventature temporanee queste possono essere realizzate anche mediante cavi da rimuovere dopo che la soletta ha fatto presa.



I CONTROVENTI DI IMPALCATO

I controventi d'impalcato sono inseriti al fine di garantire la stabilità delle travi principali nei confronti dei fenomeni d'**instabilità flessotorsionale** sia in fase di montaggio che di esercizio.

In particolare i controventi superiori svolgono la loro funzione in fase di getto (poiché la soletta non è ancora collaborante)

Per poter garantire questa condizione di stabilità essi devono essere in grado di sopportare le sollecitazioni derivanti dalla tendenza della piattabanda compressa a sbandare lateralmente.

Per definire questi effetti occorre tener conto oltre che delle **azioni esterne** q''_d effettivamente agenti (VENTO ...) anche degli effetti delle **imperfezioni** ottenute considerando uno scostamento della configurazione iniziale di valor e_0 uguale a

con
$$\alpha_m = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{m} \right)}$$

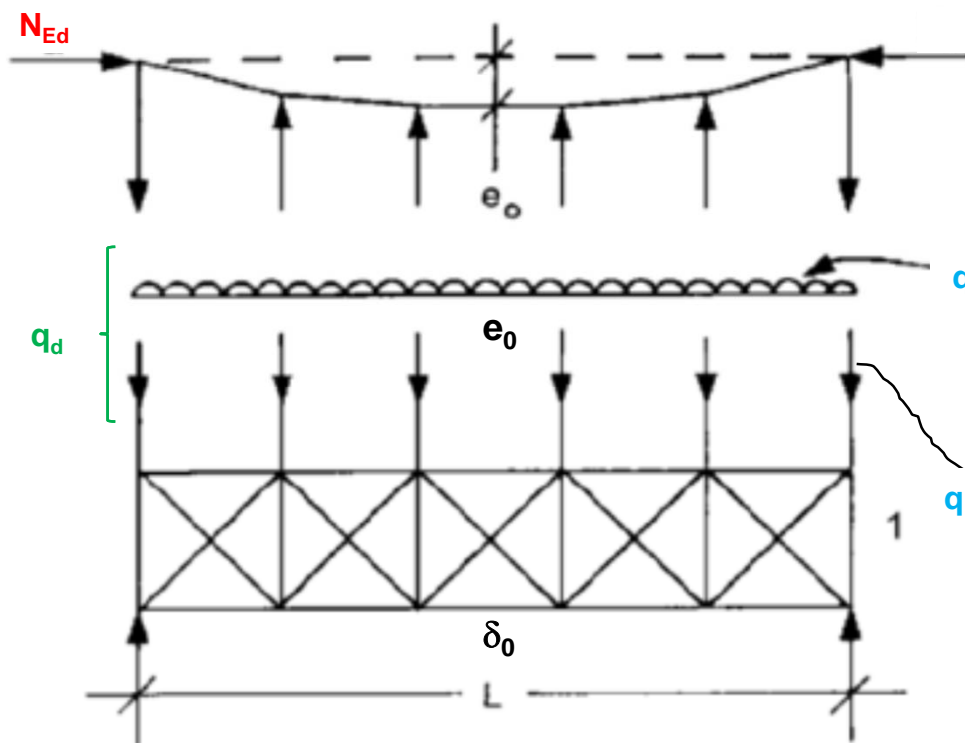
L = luce del sistema di controvento

(parametro dipendente dal numero m di elementi controventati)

$$e_0 = \alpha_m \cdot \frac{L}{500}$$

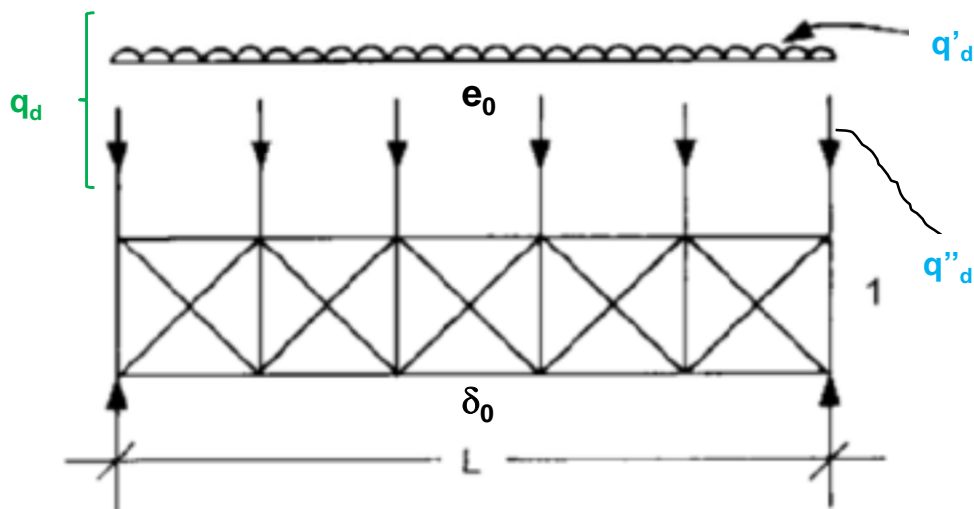


AZIONI DI CALCOLO SUL CONTROVENTO



$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h}$$

rappresentativa degli **effetti prodotti dall'instabilità della piattabanda compressa** dell'elemento inflesso sul controventamento (con M_{Ed} massimo momento flettente nell'elemento inflesso.)



effetti delle **imperfezioni** sul sistema di controvento tenute in conto mediante un carico distribuito equivalente da aggiungere su ciascuna piattabanda all'estradosso dell'impalcato

azioni esterne effettivamente agenti (es. VENTO ...)

$$q_d = \frac{8(e_0 + \delta_q) N_{Ed}}{L^2}$$

con $\left\{ \begin{array}{l} \delta_d = \text{freccia massima del sistema di controvento dovuta alle } \mathbf{azioni\ esterne}\ q''_d \text{ (VENTO...)} \\ e_0 = \alpha_m \cdot \frac{L}{500} = \text{freccia dovuta alle } \mathbf{imperfezioni}\ q'_d \end{array} \right.$

N.B.: non si tiene conto delle imperfezioni locali che saranno inglobate nelle verifiche di stabilità delle singole aste.



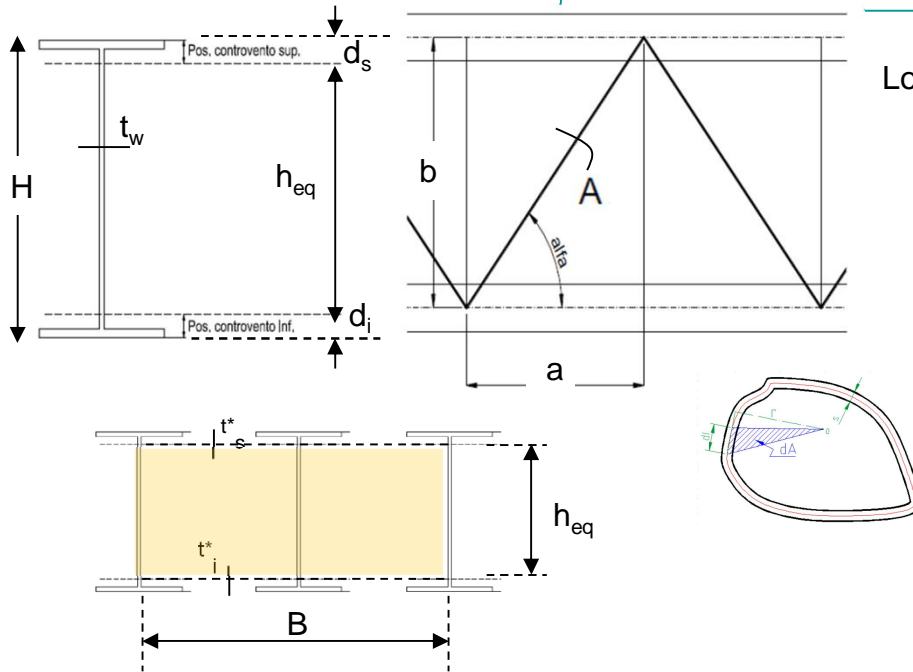
INFLUENZA DEI CONTROVENTI SULLA RIGIDEZZA TORSIONALE DI IMPALCATO

Per conferire rigidità torsionale all'impalcato, i cosiddetti impalcati aperti vengono dotati di **controventature reticolari all'estradosso e all'intradosso**

La rigidità torsionale viene valutata considerando una **sezione a cassone equivalente**, che assume configurazioni diverse in fase di montaggio e in fase di esercizio

FASE di MONTAGGIO

In questa fase la rigidità torsionale degli impalcati viene valutata considerando una sezione a cassone costituita lateralmente dalle travi longitudinali e superiormente ed inferiormente dalla controventatura.



Lo spessore di piastra equivalente ai controventi è definito come:

$$t^* = 2 \cdot \frac{E}{G} \cdot A \cdot a / b^2 \cdot \sin^3 \alpha$$

↓
A area di un controvento

$$h_{eq} = H - d_i - d_s$$

$$\Omega = B \cdot h_{eq}$$

$$J_T = \frac{4 \cdot \Omega^2}{\int dt/s}$$

$$\int \frac{dt}{s} = \frac{B}{t_s^*} + \frac{B}{t_i^*} + \frac{2 \cdot h_{eq}}{t_w}$$

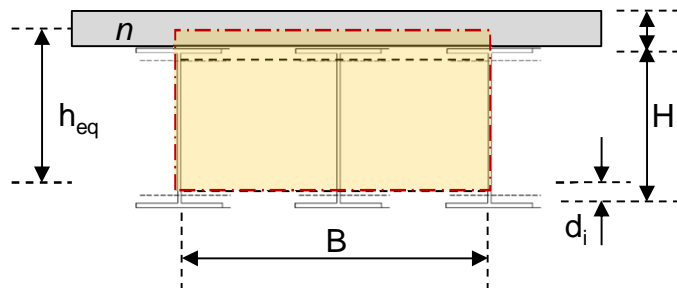
$$J_{T, trave} = \frac{J_T}{N_{travi}}$$

(inerzia torsionale equivalente della singola trave)



FASE di ESERCIZIO

In questa fase il cassone risulta costituito lateralmente dalle travi longitudinali, inferiormente dalla controventatura e superiormente dalla soletta (omogeneizzata con il coeff. n che le compete in funzione della corrispondente fase di esercizio. Di conseguenza si registra un aumento della circuitazione e dell'inerzia torsionale.



$$t_{eq} = (s - c_{fe})/n$$

$$h_{eq} = \frac{t_{eq}}{2} + H - d_i$$

$$\Omega = B \cdot h_{eq}$$

$$J_T = \frac{4 \cdot \Omega^2}{\int dt/s}$$

$$\int \frac{dt}{s} = \frac{B}{t_{eq}} + \frac{B}{t_i^*} + \frac{2 \cdot h_{eq}}{t_w}$$

$$J_{T, trave} = \frac{J_T}{N_{travi}}$$

(inerzia torsionale equivalente della singola trave)



PROBLEMI DI INSTABILITÀ LT

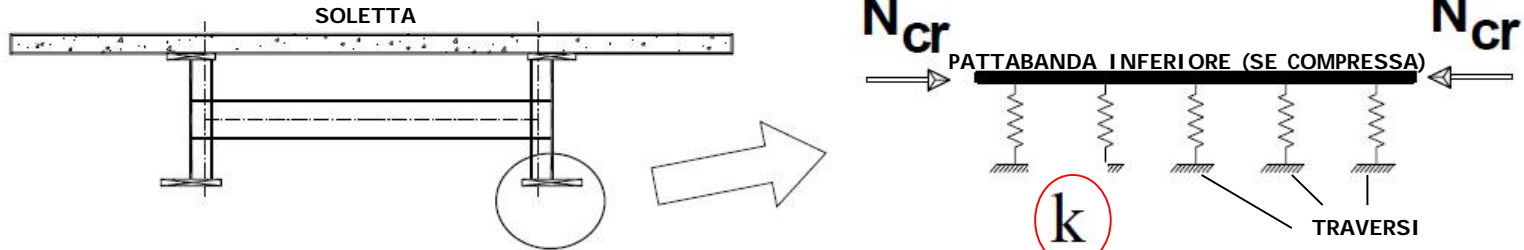


Marcy Bridge (New York)

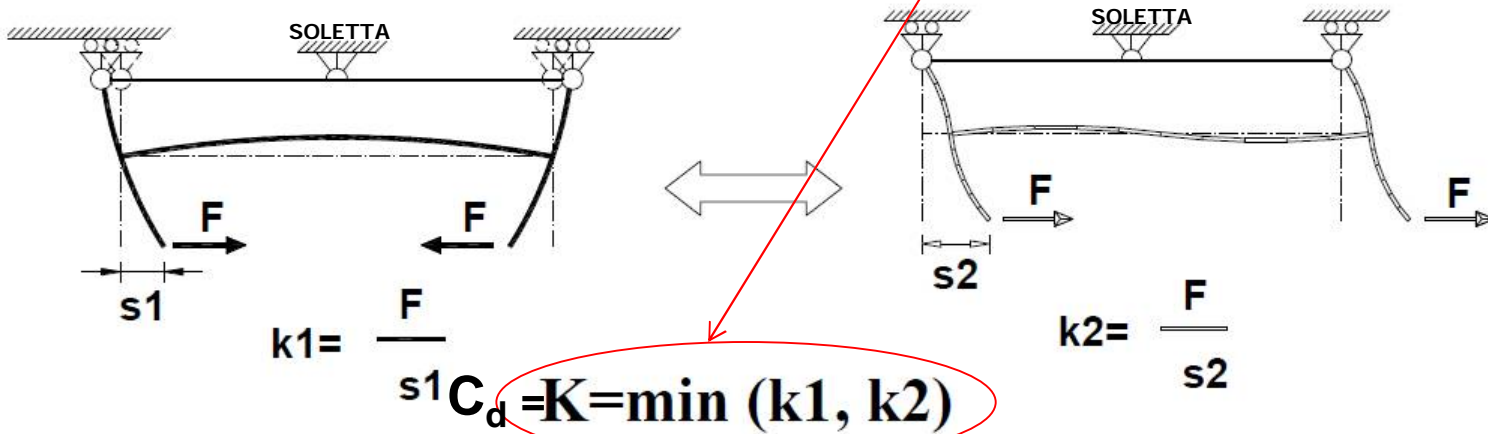


Stabilità delle piattabande in esercizio

Piattabanda INFERIORE

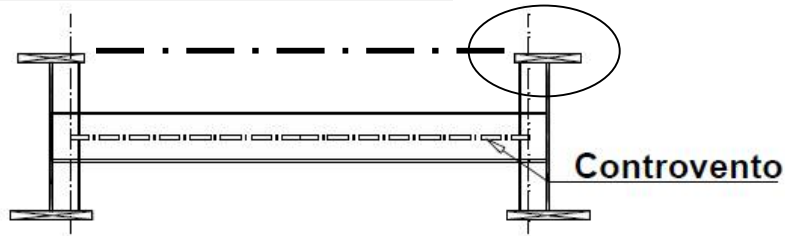


calcolo rigidezza k



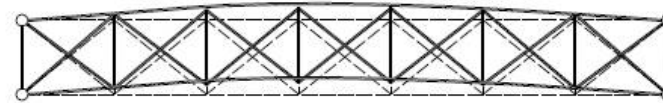
Stabilità delle piattabande durante la costruzione

In presenza di reticolare di piano (anche temporanei)



Piattabanda SUPERIORE

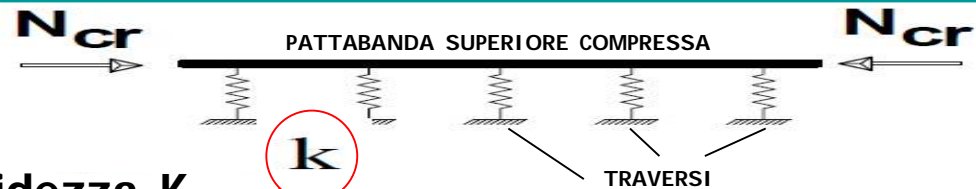
Instabilità GLOBALE



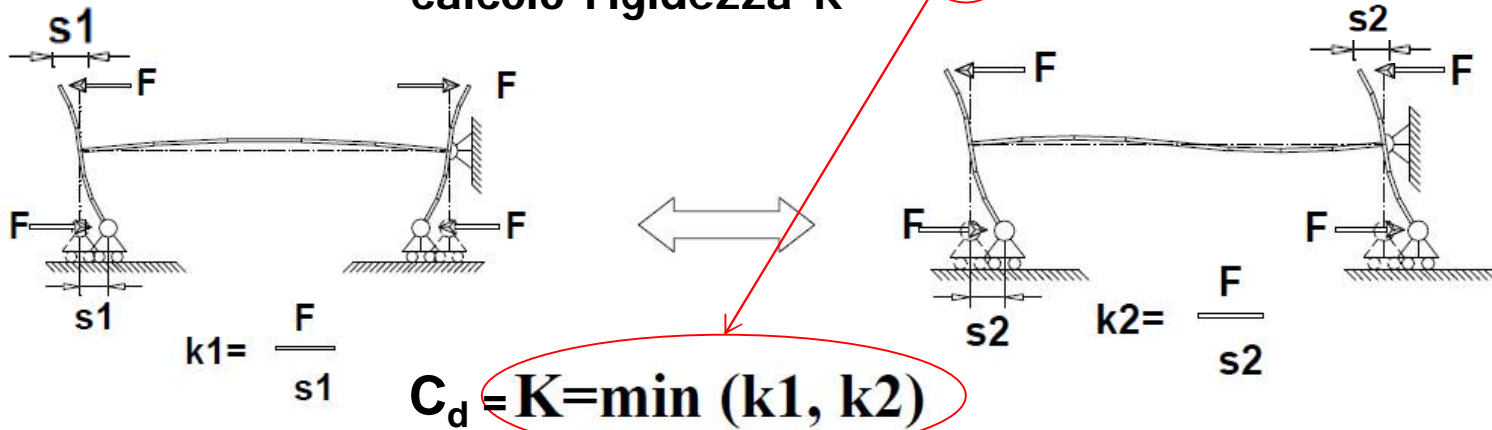
Instabilità LOCALE



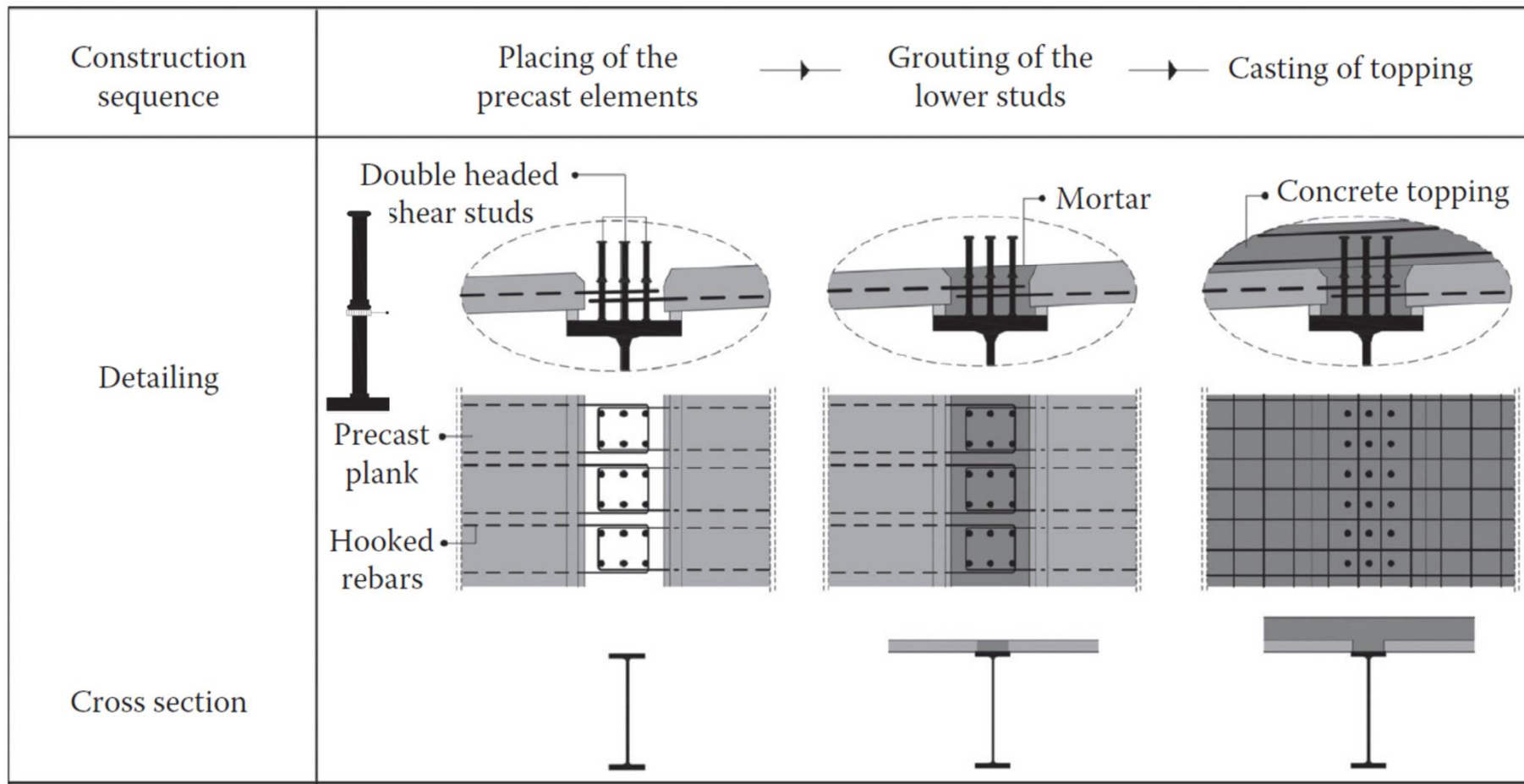
In assenza di reticolare di piano



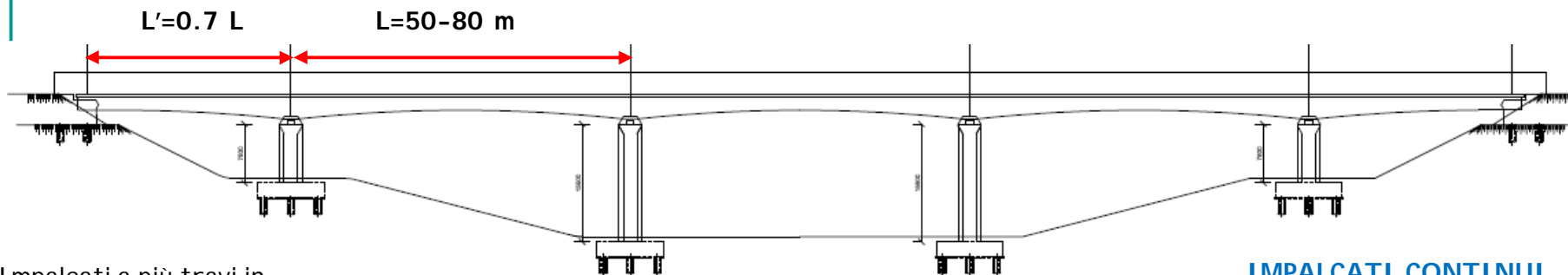
calcolo rigidezza K



In alcune circostanze è possibile migliorare la stabilità della flangia superiore durante la fase di getto utilizzando l'accorgimento proposto in figura

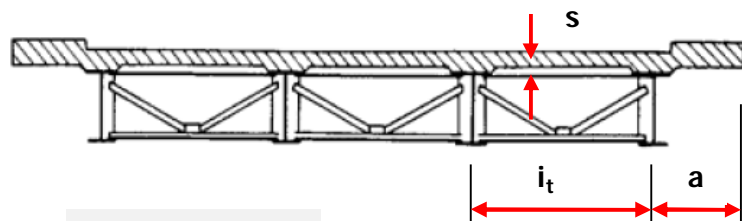


Alcune indicazioni progettuali



Impalcata a più travi in
SEMPLICE APPOGGIO

Sezione MULTITRAVE



$$h/L \approx 1/18$$

$$i_t \approx 2 \div 4 \text{ m}$$

con connessioni trasversali per
impedire l'instabilità durante
il processo costruttivo

$$a \approx 1 \div 1.5 \text{ m} \quad (\text{sbalzo laterale})$$

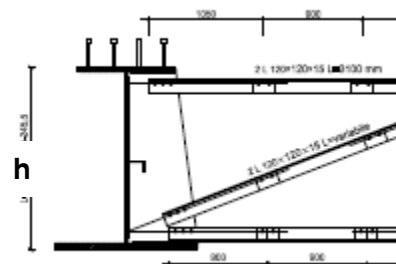
Spessore soletta

$$i_t/s \approx 12 \div 25$$

$$a/s \approx 6 \div 8$$

$$s \geq 20 \text{ cm}$$

IMPALCATI CONTINUI

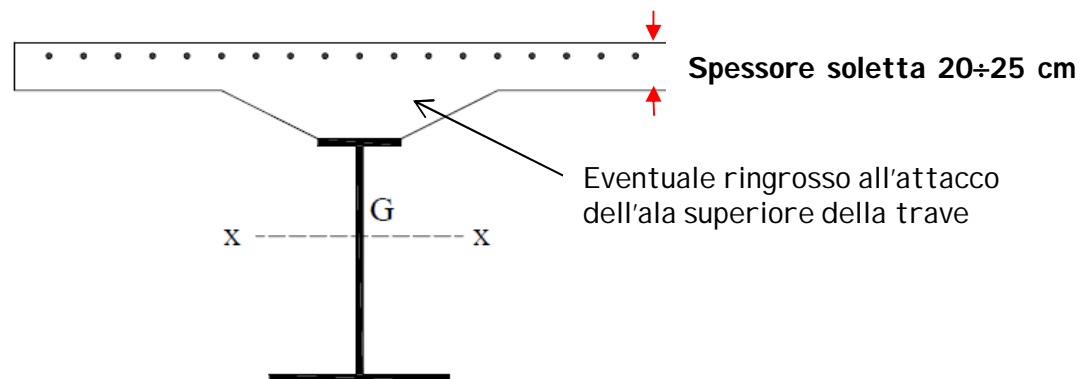


$$h/L \approx 1/25$$

Sezione BITRAVE

$$h/L \approx 1/30$$

Sezione A CASSONE

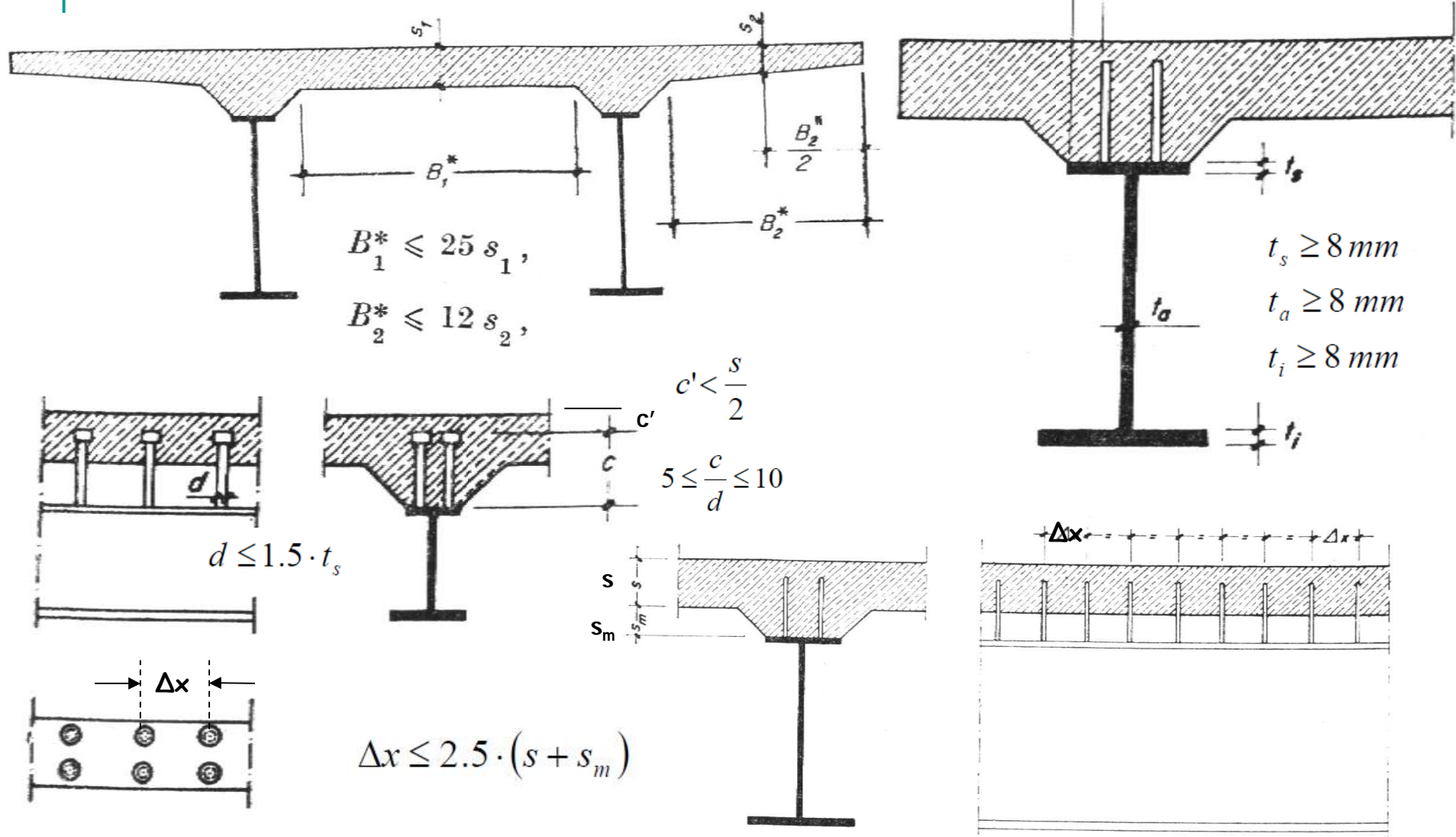


Spessore soletta 20÷25 cm

Eventuale ringrosso all'attacco
dell'ala superiore della trave



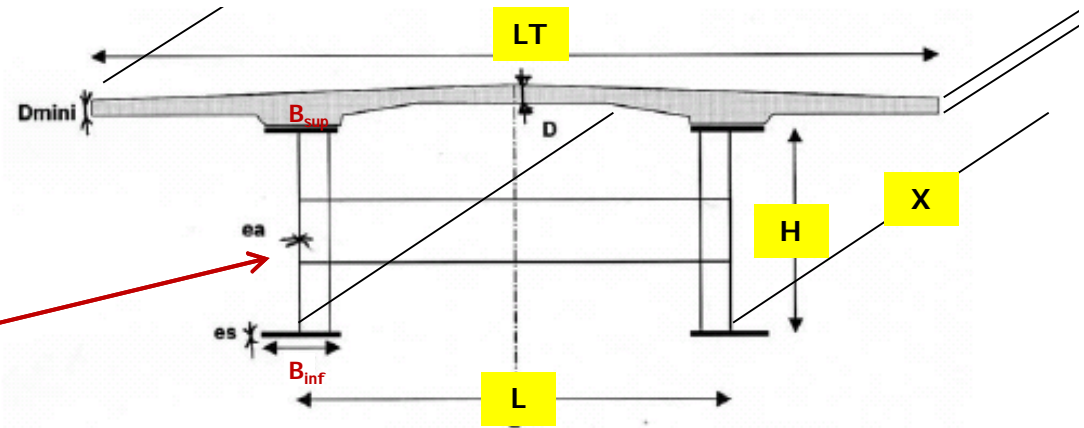
Alcune indicazioni progettuali



Alcune indicazioni utili per il predimensionamento degli elementi costituenti la **SEZIONE**

Sezione BITRAVE

Con traversi a metà altezza



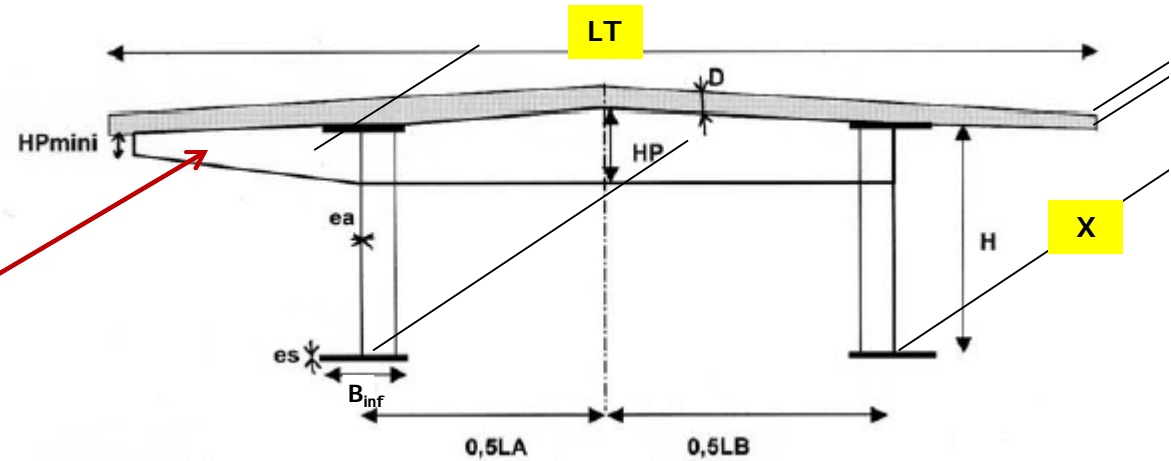
<p>Main girder depth H Altezza della trave principale</p>	$\text{Max} \left(\frac{X}{28} \left(\frac{LT}{12} \right)^{0.45}, 0.40 + \frac{X}{35} \right)$ <p>for a constant depth deck. X/24 at pier and X/36 at mid-span for a variable depth deck with more than 2 spans.</p>
<p>Main girder c/c distance Interasse travi principali</p>	<p>L = approx. 0.55 LT</p>
<p>Bottom flange width (Binf) B flangia inferiore</p>	$\left(0.25 + \frac{LT}{40} + \frac{X}{125} \right) \left(0.92 + \frac{LT}{150} \right)$
<p>Top flange width (Bsup) B flangia superiore</p>	<p>Binf - 0.100 for a 2-lane deck Binf - 0.200 for a 4-lane deck</p>
<p>Standard cross-beams</p>	<p>IPE500 to IPE700 standard section or equivalent</p>
<p>Steelwork tonnage Incidenza acciaio da carpenteria</p>	$63 + 0.9 X^{1.2} \left(1.34 - \frac{LT}{40} \right) + 0.25 X$ <p>in kg/m² of deck</p>
<p>Slab thickness Spessore soletta</p>	<p>$0.13 + \frac{(LT - L)}{26}$ at main girders $0.12 + \frac{L}{50}$ at deck centre</p>
<p>Slab reinforcement ratio Incidenza armatura soletta</p>	<p>Approx. 250 kg/m³ Incidenza armatura lenta soletta</p>



Alcune indicazioni utili per il predimensionamento degli elementi costituenti la **SEZIONE**

Sezione BITRAVE

Con traversi solidali alla soletta

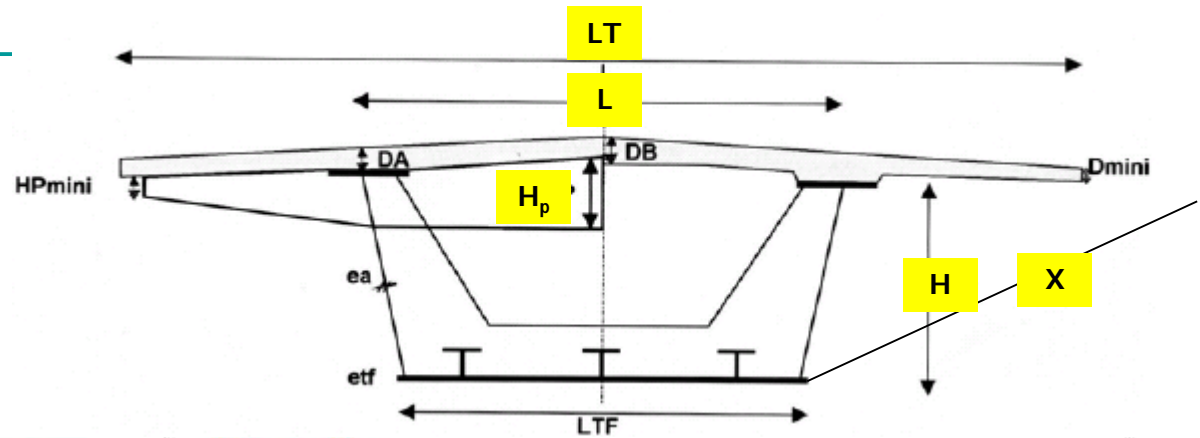


<p>Main girder depth H Altezza della trave principale</p>	$\text{Max} \left(\frac{X}{28} \left(\frac{LT}{12} \right)^{0.333}, 0.40 + \frac{X}{35} \right)$ <p>for a constant depth deck. X/24 at pier and X/36 at mid-span for a variable depth deck.</p>	
<p>Main girder c/c distance Interasse travi principali</p>	<p>LA = approx. 0.55 LT LB = LT - 4 m.</p>	
<p>Bottom flange width (Binf) B flangia inferiore</p>	$0.25 + \frac{LT}{40} + \frac{X}{125}$	
<p>Top flange width (Bsup) B flangia superiore</p>	<p>Binf - 0.100 for a 2-lane deck Binf - 0.200 for a 4-lane deck</p>	
<p>Directly supporting cross-beam depth</p>	<p>HP = approx. 1/11th of LA or LB. HPmini = approx. 300 mm.</p>	Altezza trasverso
<p>Steelwork tonnage</p>	$65 + 0.9 X^{1.2} \left(1.43 - \frac{LT}{30} \right) + 2 LT + 0.22 X$ <p>in kg/m²</p>	Incidenza acciaio
<p>Slab thickness</p>	24 to 26 cm	Spessore soletta
<p>Slab reinforcement ratio</p>	Approx. 275 kg/m ³	Incidenza armatura lenta soletta



Alcune indicazioni utili per il predimensionamento degli elementi costituenti la **SEZIONE**

Sezione SCATOLARE

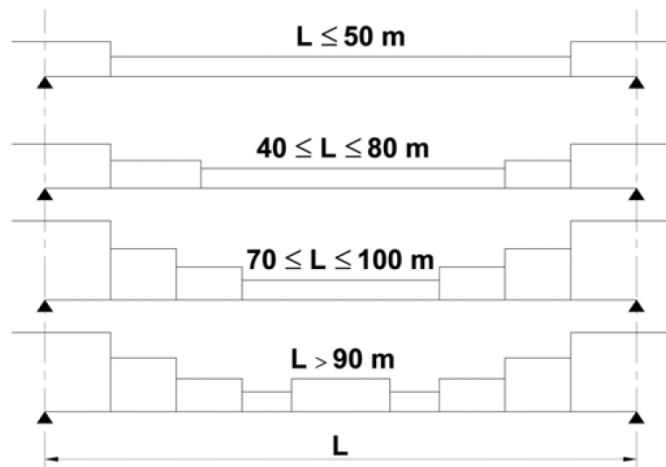


Web top c/c distance	$L = 0.50 \text{ to } 0.55 \text{ LT.}$	Largh. Sup. cassone
Web depth	$H = 1/30^{\text{th}} \text{ to } 1/40^{\text{th}}$ of maximum span distance. X	Altezza cassone
Web inclination	0 to 50%.	Inclinazione pareti
Directly supporting cross-beam depth	$HP = \text{approx. } 1/11^{\text{th}}$ of L . $HP_{\text{mini}} = \text{approx. } 300 \text{ mm.}$	Altezza trasverso
Top flange width + depth for open box girders	Same as for cross-beam composite bridges.	
Web thickness	$ea = 16 - 35 \text{ mm}$ depending on cross section, width and span distance.	Spess. Anima
Bottom flange thickness	$etf = 25 - 80 \text{ mm}$ depending on cross section, width and span distance.	Sp. Flangia inf.
Slab thickness	Box girder without directly supporting cross-beams $0.13 + \frac{(LT - L)}{26}$ at webs, $0.12 + \frac{L}{50}$ at deck centre Box girder with directly supporting cross-beams 24 - 26 cm	Spessore Soletta
Slab reinforcement ratio	Approx. 250 kg/m^3 with simple frames, 275 kg/m^3 with frames + directly supporting cross-beams or bulkheads	Incidenza armatura lenta soletta



Alcune indicazioni utili per il predimensionamento delle **FLANGE**

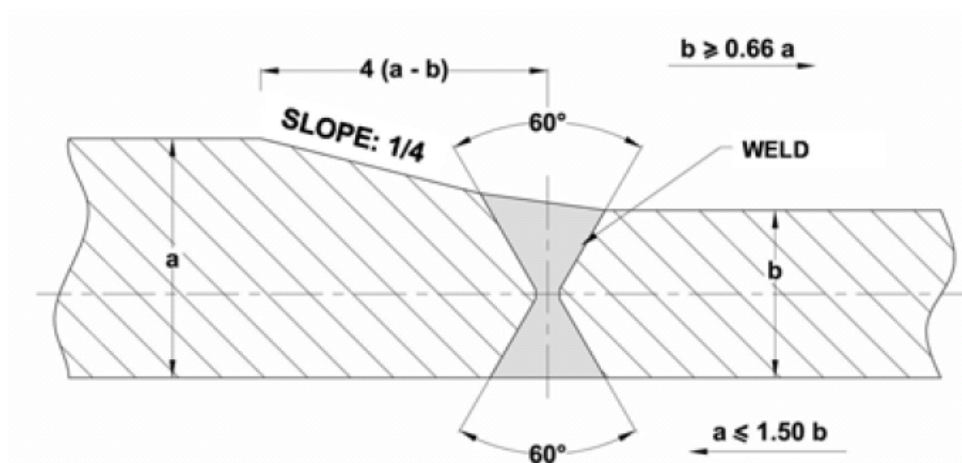
FLANGE a SEZ. VARIABILE



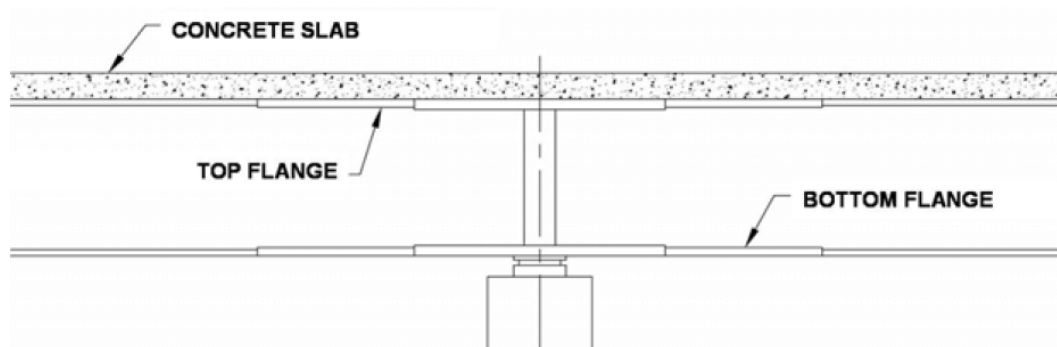
Esempio di numero di variazioni di spessore nelle flange di una trave continua in funzione della luce

$$S_{\min} = 20 \div 25 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 100 \div 150 \text{ mm}$$



Dettaglio corretto di realizzazione di **variazione di spessore**



N.B. la planarità è mantenuta superiore o inferiore a seconda della flangia interessata dalla variazione di spessore



Alcune indicazioni utili per il predimensionamento delle **FLANGE**

FLANGE ADDIZIONALI

Quando gli spessori necessari eccedono i massimi commerciali occorre ricorrere a FLANGE ADDIZIONALI

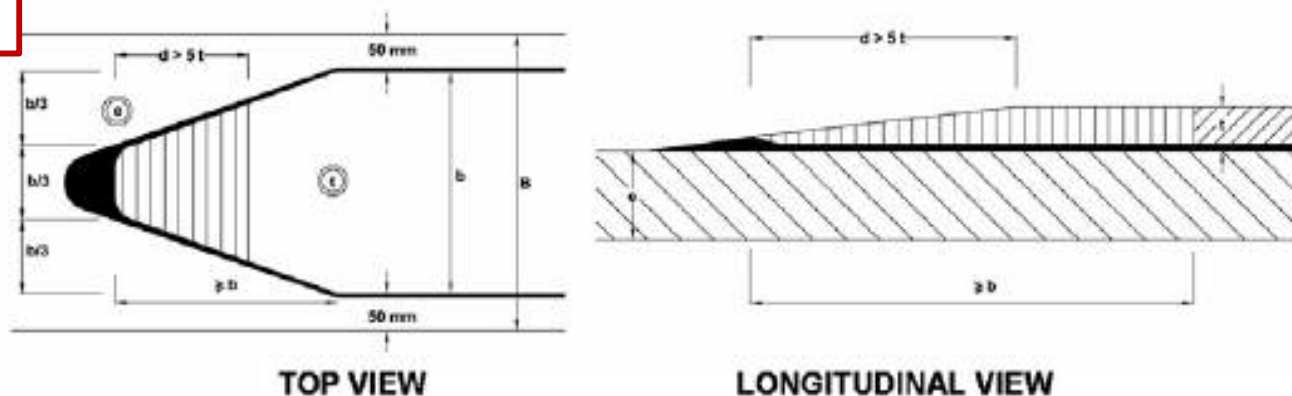


Figure 3.4. Former measures concerning additional flanges

Particolari di realizzazione flange addizionali secondo EC3

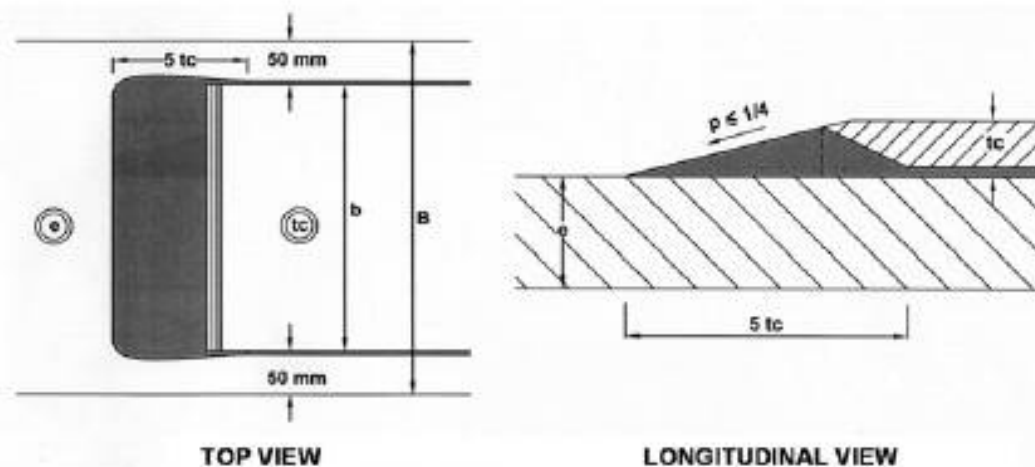
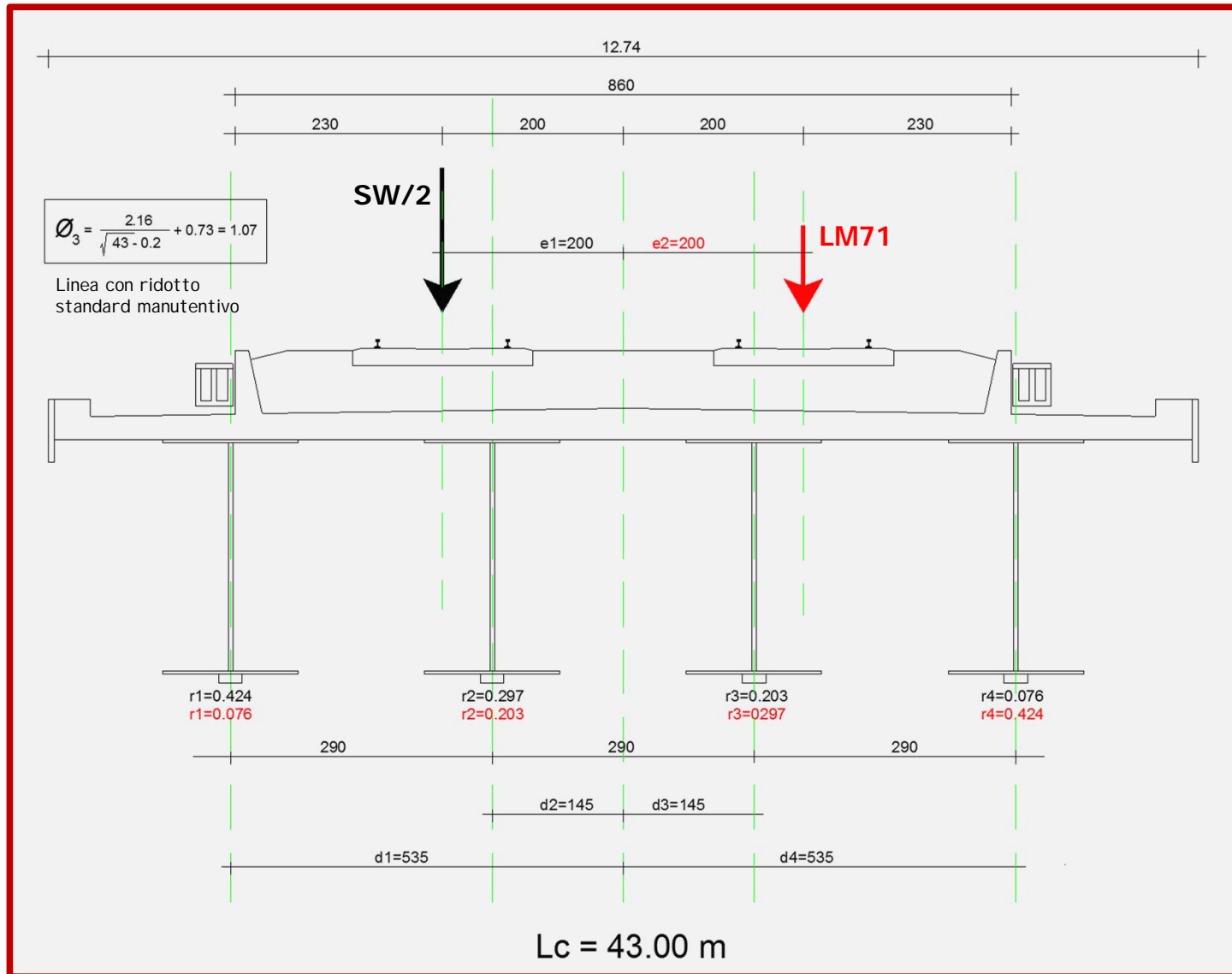


Figure 3.5. Measures concerning additional flanges recommended by Eurocode 3

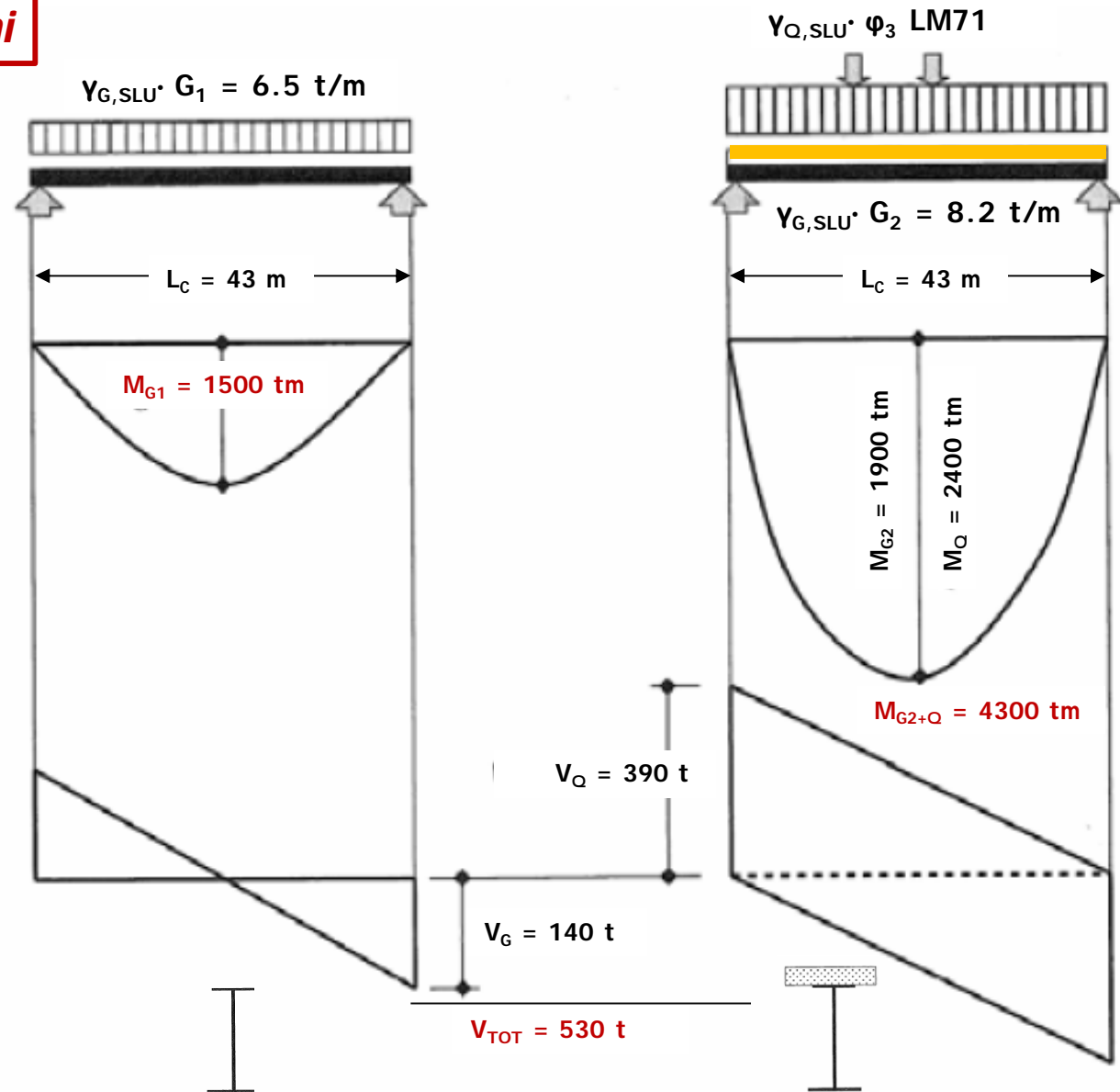


ESEMPIO di predimensionamento impalcato ferroviario misto



Stima delle sollecitazioni

Le sollecitazioni di calcolo sulla singola trave semplicemente appoggiata sono stimate in prima approssimazione sovrapponendo ai carichi permanenti **G** gli effetti delle azioni variabili **Q**. Questi ultimi sono ottenuti in base alle ipotesi più gravose per quanto riguarda rispettivamente il momento ed il taglio



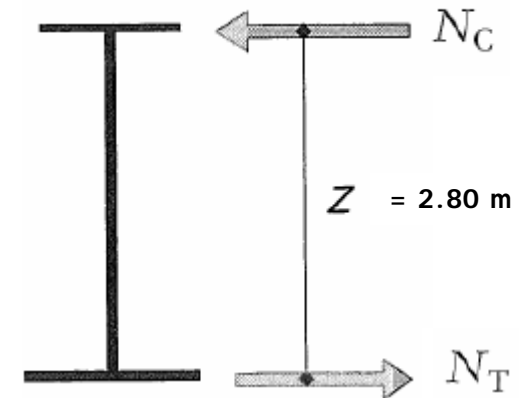
Predimensionamento delle travi

⇒ Rapporto luce/altezza ≈ 15 \longrightarrow si assume $h \approx 2.8$ m

⇒ È necessario valutare in modo opportuno le diverse fasi costruttive: nella fase immediatamente successiva al getto, non vi è ancora trasferimento di forze tra acciaio e cls, e la trave si comporta come la sezione metallica caricata del peso della soletta, pertanto **$M_{G1} = 1500$ tm**

⇒ Assumendo che una coppia di forze applicate alle due flange fornisca la dovuta resistenza a flessione, si ha una forza di compressione/trazione pari a:

$$N_T = N_C = \frac{M}{z} = 1500/2.80 = 535 \text{ t}$$



⇒ Tale azione, divisa per la resistenza del materiale fornirà quindi una stima dell'area necessaria per le flange del profilo metallico: sforzo limite definito dai requisiti di stabilità della flangia compressa

Predimensionamento delle travi - requisiti di stabilità

⇒ Assumendo le seguenti proprietà del materiale:

- $f_y = 345$ MPa (Grade 355 steel)
- massimo sforzo di compressione = $0.5 f_y = 170$ MPa

Si ottiene, per la flangia superiore, una dimensione minima pari a:

$$A_{at} = \frac{N_C}{f_{ac}} = 5350000/170 = 31470 \text{ mm}^2$$

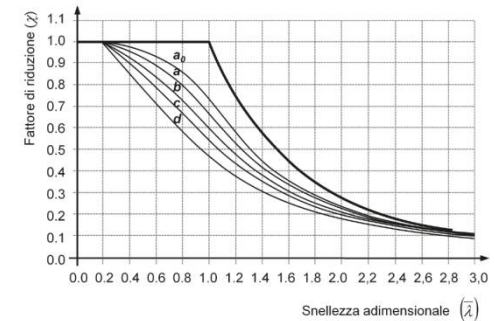
⇒ Inoltre, per evitare instabilità locale, la larghezza dell'ala deve essere almeno pari a 24 volte lo spessore t_f , che pertanto risulta essere

$$A_{at} = 24 t_f \cdot t_f \quad \longrightarrow \quad t_f = \left(\frac{A_{at}}{24} \right)^{0.5} = 36 \text{ mm}$$

Pertanto, la flangia superiore si assume pari a:

$$B_{f,sup} = 900 \text{ mm} \quad t_{f,sup} = 36 \text{ mm}$$

$$900 \cdot 36 = 32400 \text{ mm}^2 > 31470 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$



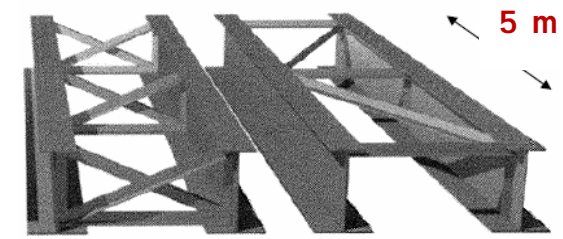
Predimensionamento delle travi - verifica di instabilità

⇒ Una volta ottenuta una stima della geometria della sezione è opportuna una verifica della tensione limite ipotizzata per il dimensionamento della flangia compressa

⇒ Tale limite dipende dal parametro di snellezza $\lambda = \frac{kL_R}{r}$

⇒ L_R : distanza tra i vincoli (5 m)

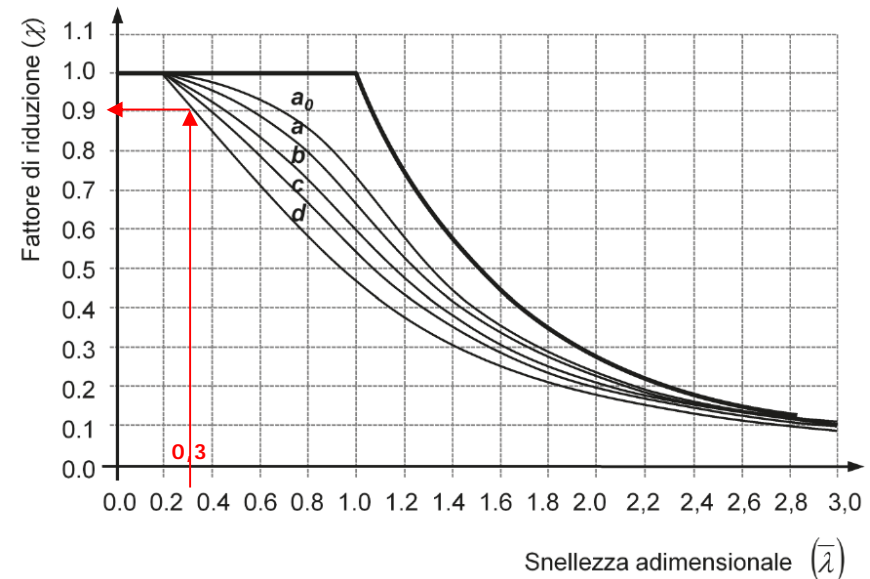
⇒ r : raggio di inerzia flangia $r = B_{f,sup}/\sqrt{12} = 260 \text{ mm}$



⇒ Assumendo $K=1$ si ha una snellezza geometrica $\lambda = 5000/260 = 20$ cui corrisponde uno sforzo limite $f_{ac} > 0.5 f_y$ ipotizzato in fase di predimensionamento. Infatti:

$$\lambda_y = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{210000}{345}} = 77 \text{ (Snellezza Limite)}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_y} = \frac{20}{77} \approx 0,3 \rightarrow \chi \approx 0,9 > 0,5$$



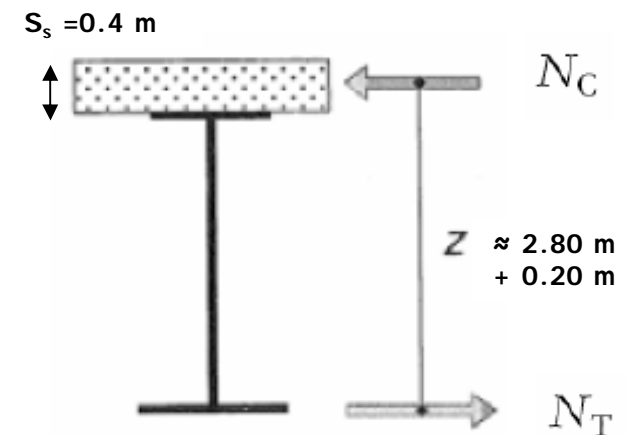
Predimensionamento delle travi - flangia tesa

⇒ Le dimensioni della flangia tesa si stimano considerando il comportamento finale della sezione composta acciaio-clt

$$M_{G2+Q} = 4300 \text{ tm}$$

⇒ Assumendo che una coppia di forze applicate alla soletta ed alla flangia inferiore fornisca la dovuta resistenza a flessione, si ha una forza di trazione pari a:

$$N_T = N_C = \frac{M}{z} = 4300 / (2.80 + 0.20) = 1435 \text{ t}$$



⇒ Tale azione va quindi sommata all'azione generatasi in fase di costruzione, ottenendo una forza totale pari a: **535+1435 = 1970 t**

⇒ Assumendo una tensione limite di trazione di $0.95 f_y = 0.95 \times 345 = 327 \text{ MPa}$ si ottiene una area minima per la flangia tesa pari a:

$$A_{f,inf} = 19700000 / 327 = 60245 \text{ mm}^2 \quad \longrightarrow \quad B_{f,inf} = 1100 \text{ mm} \quad t_{f,inf} = 60 \text{ mm}$$



Verifica dell'anima a Taglio

⇒ L'anima della trave metallica resiste interamente alle azioni di taglio durante tutte le fasi di vita della struttura: pertanto sovrapponendo gli effetti delle due fasi di carico, il taglio di calcolo risulta

$$V_{TOT} = 530 \text{ t}$$

si ipotizza:

- A) di utilizzare un'anima snella con irrigidimenti, assumendo un fattore di forma dei pannelli di **1.5** (a/h_w)

$$a = 1.5 \times 2800 \sim 4200 \text{ mm}$$

- B) che la resistenza a taglio sia **100 MPa** (pari al 50% del valore massimo), ottenendo uno spessore: $(0.5 \cdot 345/\sqrt{3})$

$$t_w = V_{TOT}/(100 h_w) = 5300000/(100 \times 2800) = 19 \text{ mm}$$

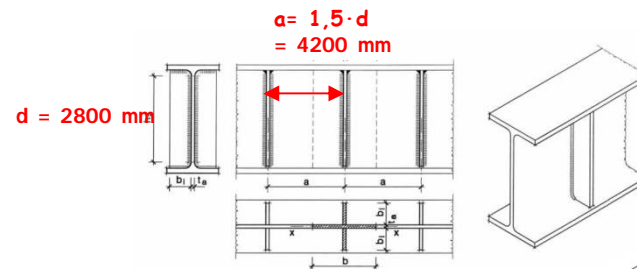
(Si assume $t_w = 20 \text{ mm}$)



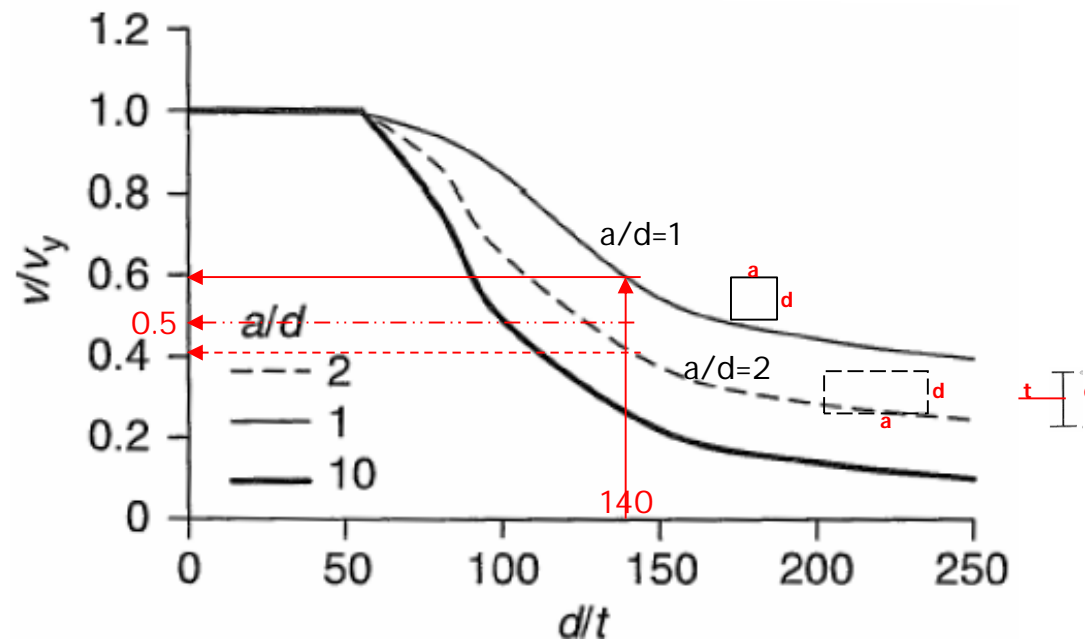
Essendo:

$$d/t = 2800 / 20 = 140$$

$$a / d = 1.5$$

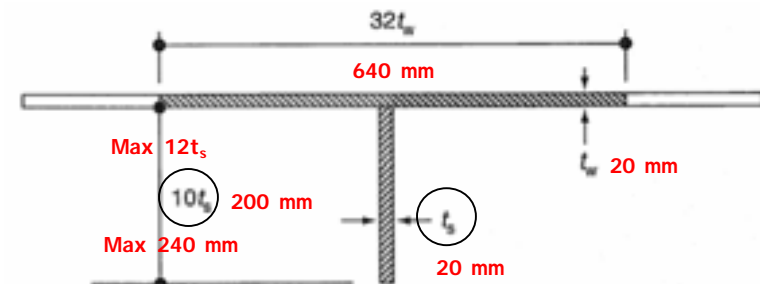
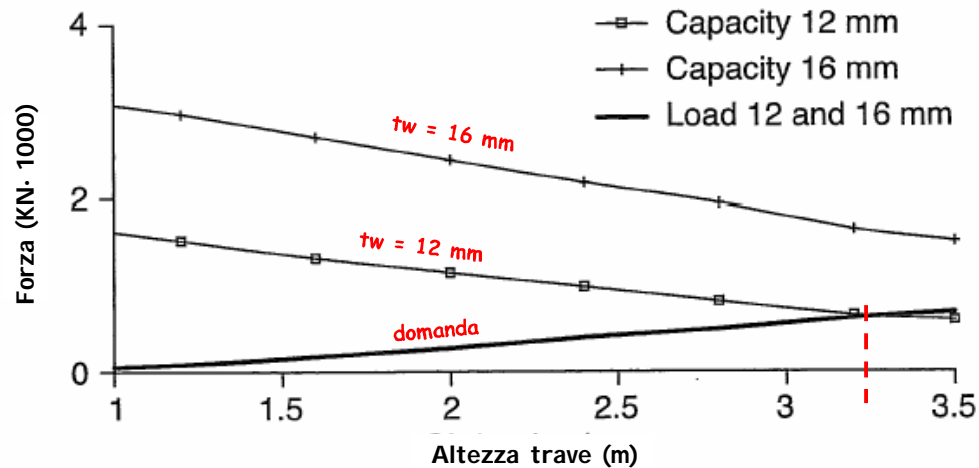


Si ottiene (dal grafico sottostante) una capacità di $0.5 V_y$ (100 MPa) pari a quello ipotizzato inizialmente e pertanto lo spessore dell'anima di 20 mm soddisfa i requisiti necessari



Dimensionamento degli irrigidimenti d'anima

- ⇒ Piastre di irrigidimento trasversali vengono saldate all'anima per prevenire fenomeni di instabilità dei pannelli (il vincolo è bilatero)
- ⇒ In generale, l'utilizzo di elementi di spessore t_s analogo a quello dell'anima garantisce la necessaria resistenza per travi di altezza inferiore a 3 m
- ⇒ l'estensione del pannello di irrigidimento deve comunque essere $< 12 t_s$



Dimensionamento dei connettori

I ipotesi 1: Dimensionamento dei connettori allo **SLU** secondo la capacità della soletta

(asse neutro nell'anima)

$$N_u = (0.85 f_{ck} / 1.5) b d = (0.85 \times 32 / 1.5) \times 400 \times 2900 = 21000 \text{ KN}$$

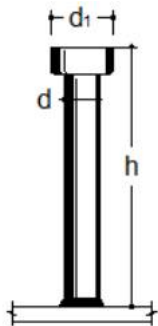
Il flusso di taglio è pari a: (I ipotesi di utilizzo di pioli Nelson duttili)

$$Q_l = \frac{N_u}{(L/2)} \implies Q_l = 2 N_u / L = 2 \times 21000 / 43 = 980 \text{ KN/m}$$

assumendo di utilizzare pioli con diametro **22 mm** e resistenza **109.5 kN**, sono necessari:

$$N_0 = Q_l / (0.71 P_u) = 980 / (0.71 \times 109.5) = 13 \text{ pioli/m}$$

(per esempio, 4 pioli ad interasse 300 mm)



Resistenza di progetto singolo connettore-EC4 6.6.3.1

$$P_{Rd1} = 0.8 \frac{f_u}{\gamma} \frac{\pi d^2}{4} = 109,5 \text{ [kN]}$$

$$P_{Rd2} = 0,29 \alpha d^2 \frac{\sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma} = 114,5 \text{ [kN]}$$

$$P_{Rd} = \min [P_{Rd1}, P_{Rd2}] * K = 109,5 \text{ [kN]}$$

K = 1 (N.B.: nel caso specifico si è adottato un coeff. **K=0.71**)



I ipotesi 2: Vicino agli appoggi: le condizioni **SLE** governano il dimensionamento

I connettori devono poter trasferire l'intera forza di taglio ($0,75 \cdot 530 = 398 \text{ t}$)

Assumendo, allo SLE, il taglio pari al 75% di quello valutato allo SLU

$$V_{SLE} = 0,75 \cdot 5300 = 3980 \text{ KN}$$

$$Q_l = \frac{V_{SLE}}{J} \approx 0,35 \cdot V_{SLE}(\text{KN}) = 0,35 \times 0,75 \times 5300 = 1390 \text{ KN/m}$$

Per la trave così
come dimensionata

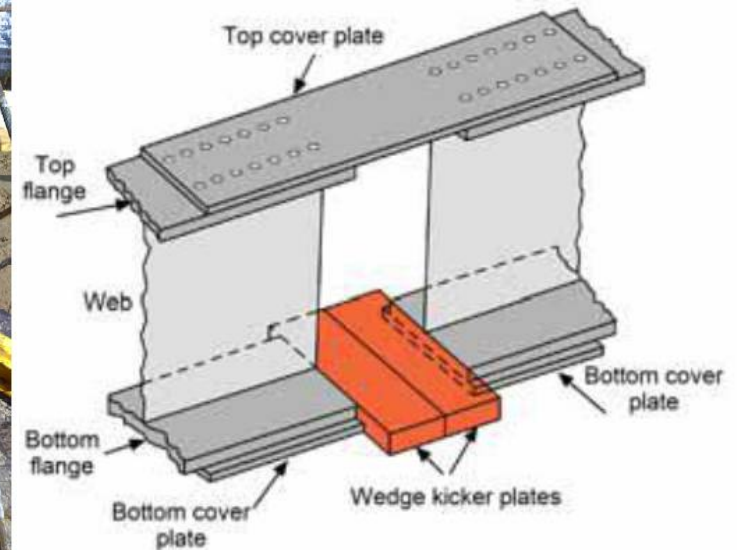
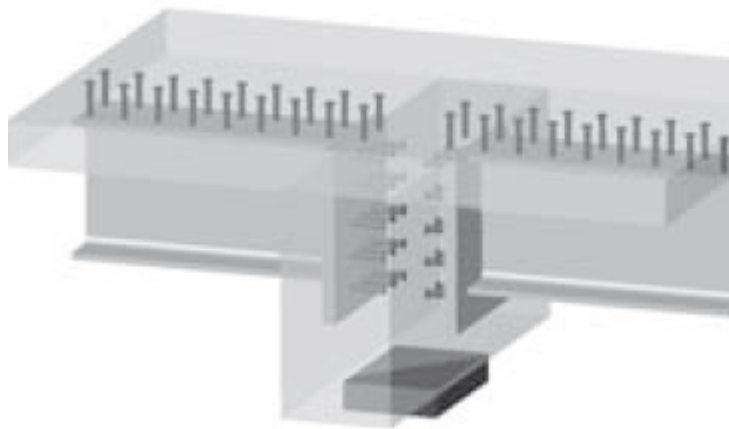
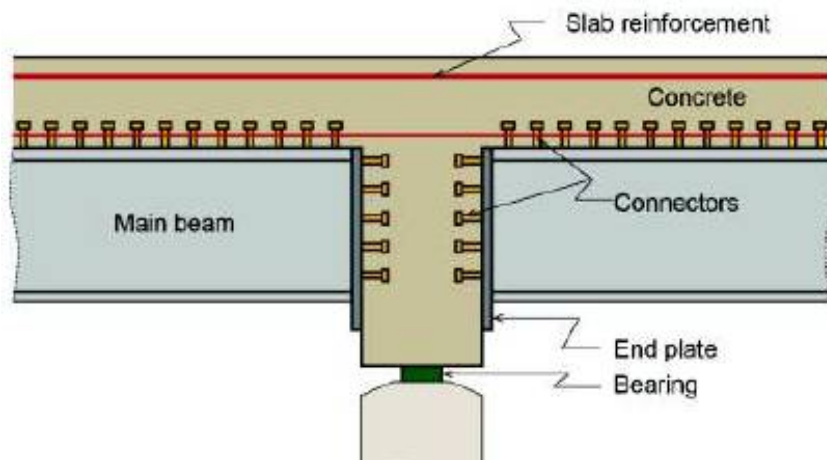
assumendo di utilizzare pioli con diametro **22 mm** e resistenza **109.5 kN**, sono necessari:

$$N_0 = Q_l / (0.71 P_u) = 1390 / (0.71 \times 109.5) = 18 \text{ pioli/m}$$

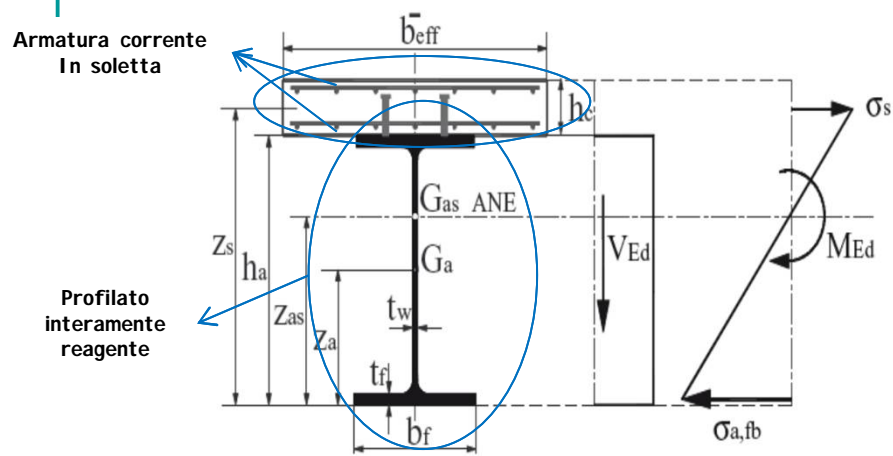
(per esempio, 4 pioli ad interasse 200 mm)
Almeno fino a quando lo scorrimento non
raggiunge il valore di 980 KN/m



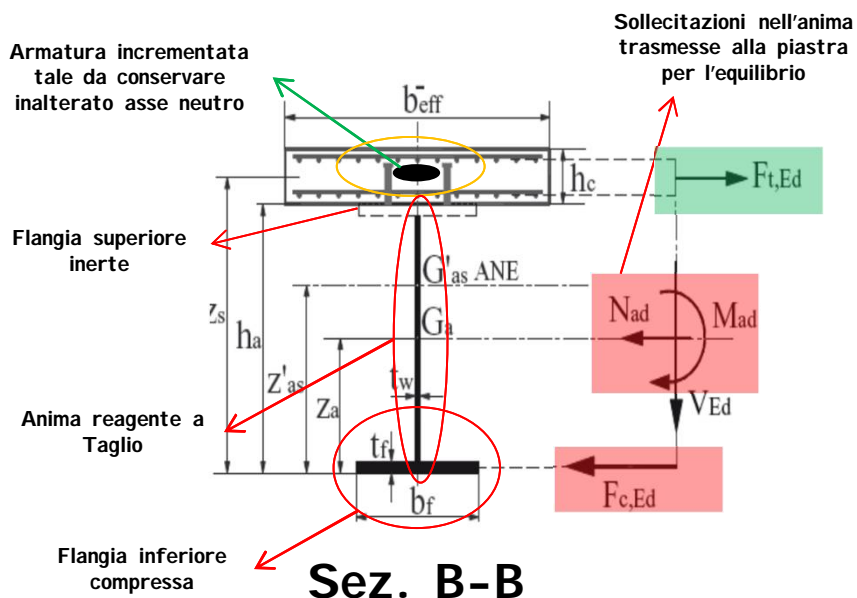
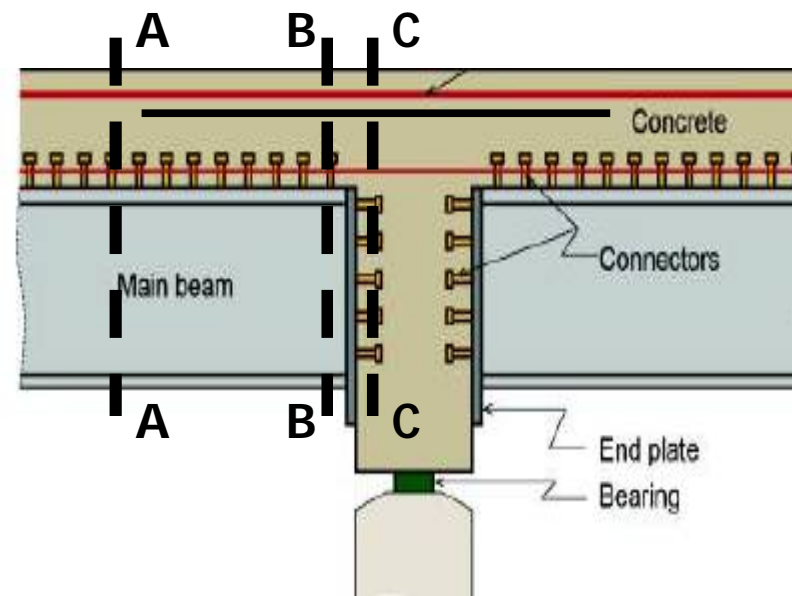
II TRAVERSO DI CONTINUITÀ



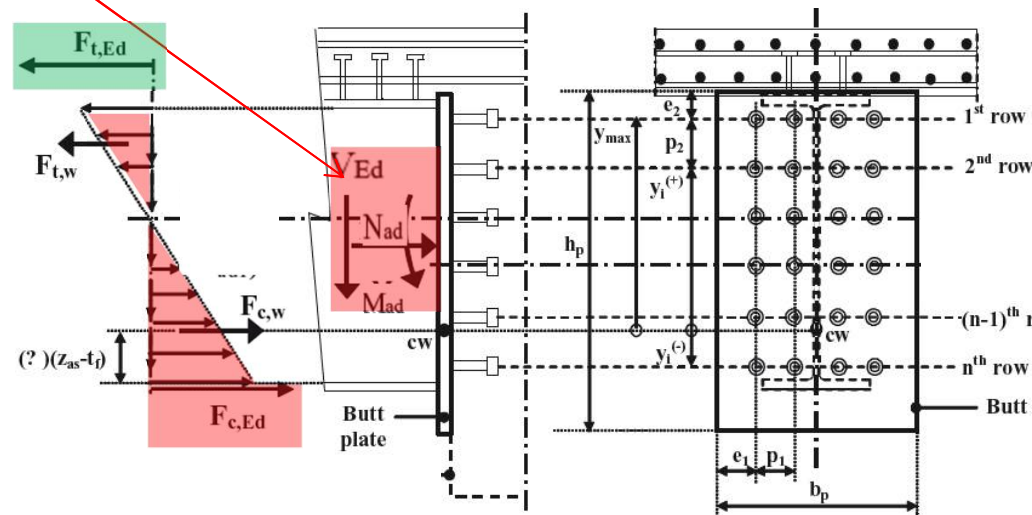
Analisi ELASTICA del **Nodo di Continuità** (le travi metalliche sono in genere in CLASSE 3)



Sez. A-A



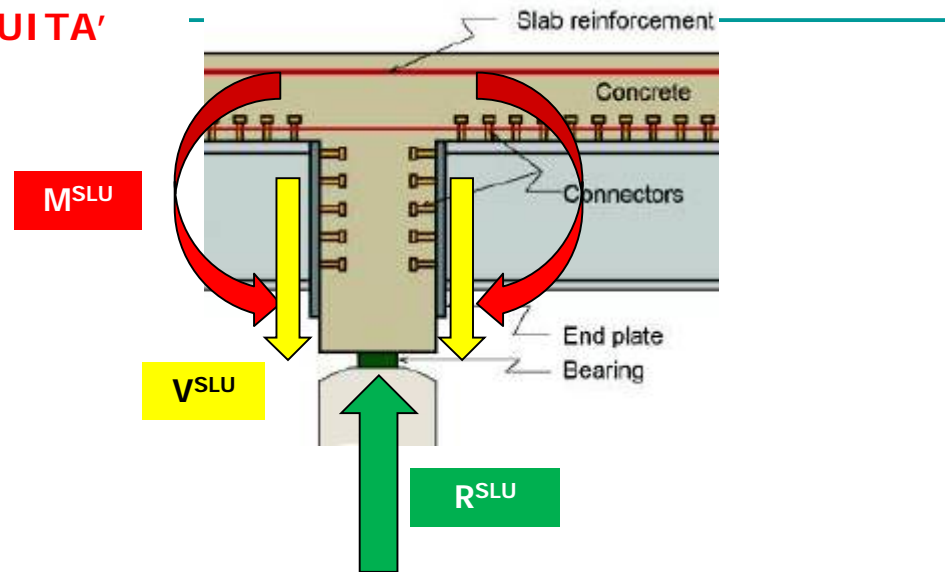
Sez. B-B



Sez. C-C



SLU - SOLLEC. TRAVERSO di CONTINUITA'



I principali punti da risolvere per il nodo di continuità sono i seguenti:

1 Calcolo dell'**armatura addizionale del nodo in soletta** ($A_{s,ad}$)

Si cerca di non perturbare lo stato di sforzo (**conservazione dell'asse neutro**)

2 Progetto della **Piastra di testata** (**dimensioni, spessore, connettori**)

Piastra : Sotto compressione flangia inferiore
Pioli : per azione di presso-flessione e taglio sull'anima

3 Dimensionamento **Traverso di continuità** (**spessore, altezza totale**)

Comportamento trasversale della trave di continuità in esercizio ovvero in fase di manutenzione appoggi

4 Dimensionamento **Connettori addizionali** in prossimità del traverso

Lo sforzo di trazione ceduto dalla flangia superiore all'armatura aggiuntiva comporta un incremento di taglio orizzontale, che deve essere sostenuto dai connettori presenti sulla flangia superiore della trave che vanno pertanto ridimensionati in prossimità del traverso di continuità

5 Progetto Armatura **Traverso di continuità**

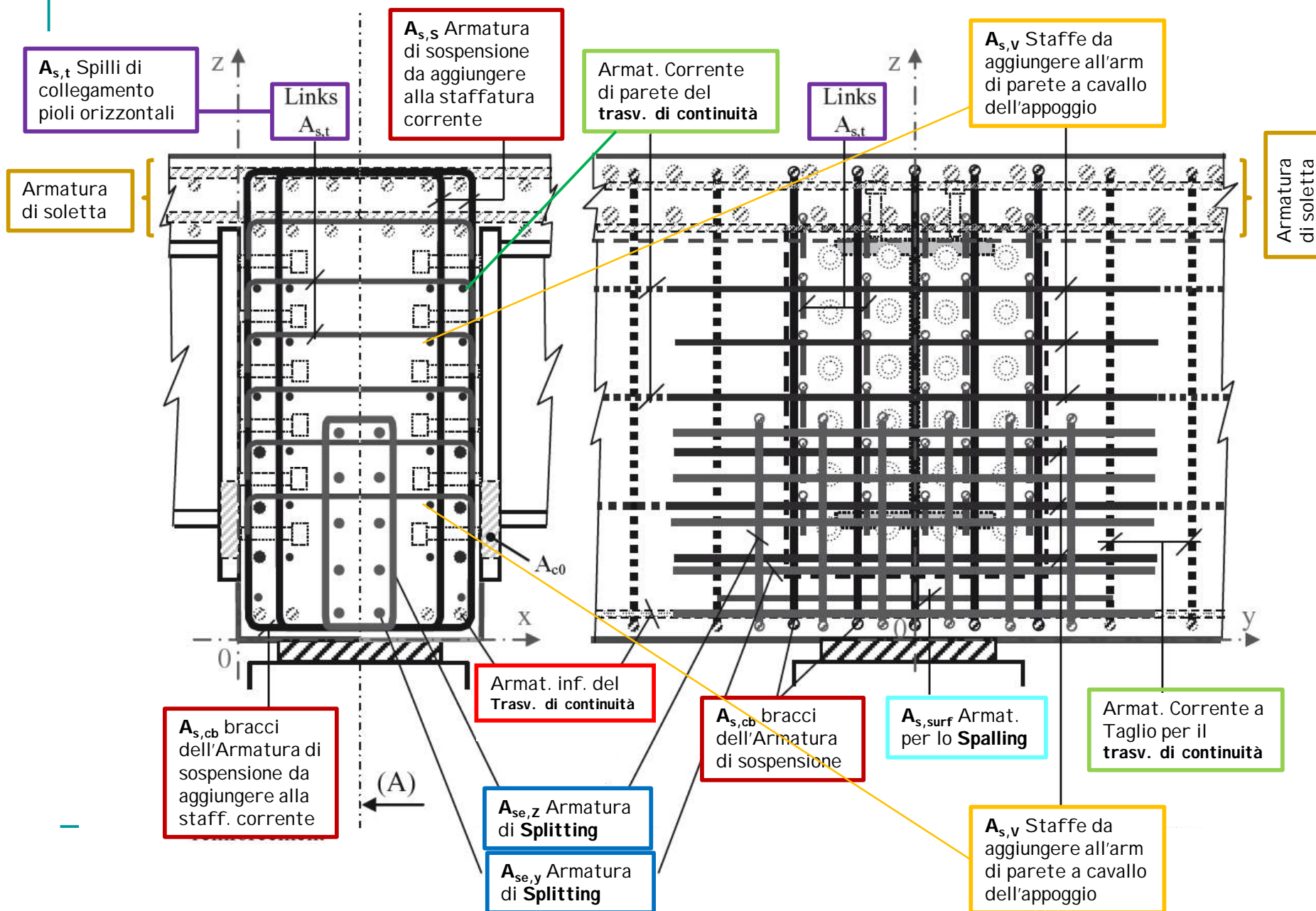
(**arm. di sospensione, links, splitting, angoli**) →

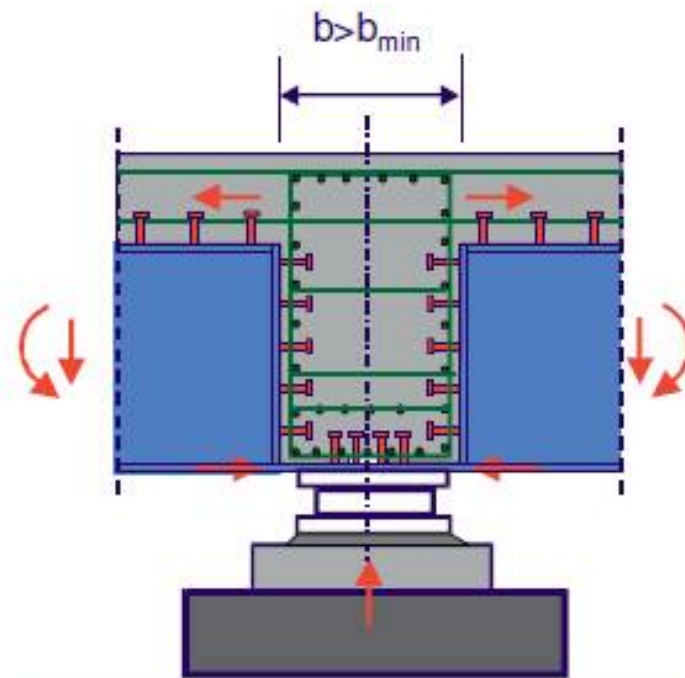
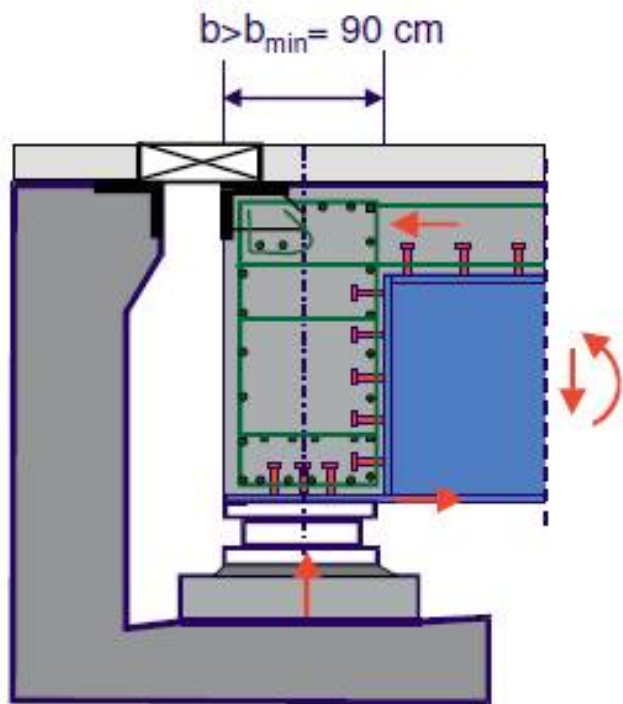


5

Progetto Armatura Traverso di continuità

(arm. di sospensione, links, splitting, angoli)







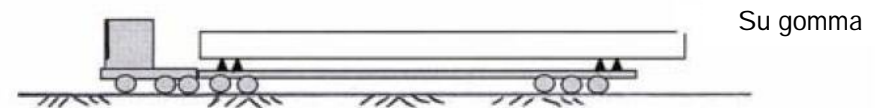
CANTIERIZZAZIONE

TRASPORTO e MONTAGGIO

La prima fase realizzativa connessa alla cantierizzazione consiste nel **trasporto dall'officina al cantiere** degli elementi componenti che andranno successivamente assemblati con modalità strettamente correlate alla modalità di varo

Le limitazioni dimensionali e di peso degli elementi da produrre in officina sono dettate da:

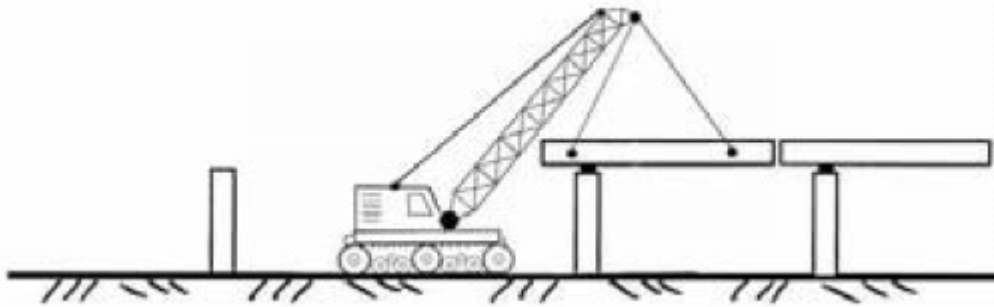
- ✓ **Procedure di assemblaggio adottate in cantiere**
- ✓ **Dimensioni dell'area di assemblaggio disponibile in cantiere**
- ✓ **Capacità di movimentazione delle macchine di cantiere**



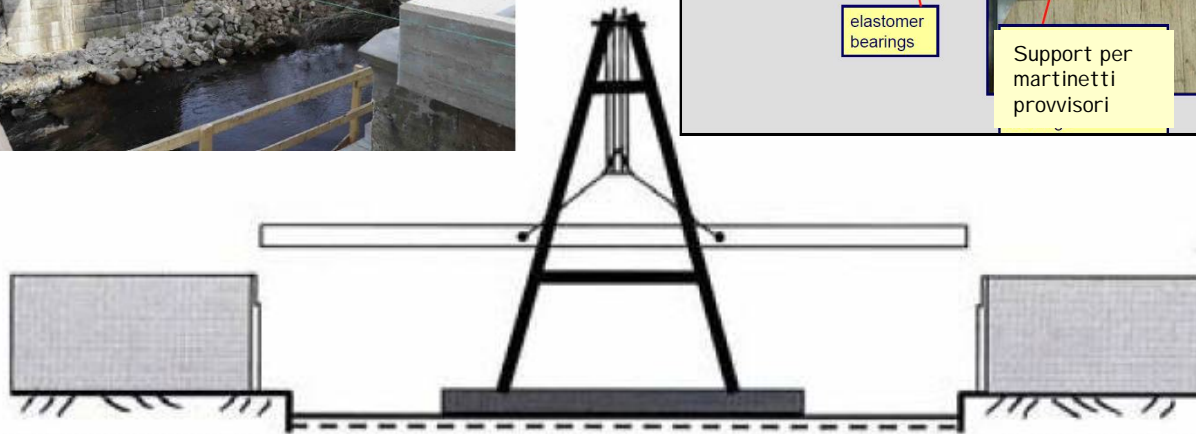
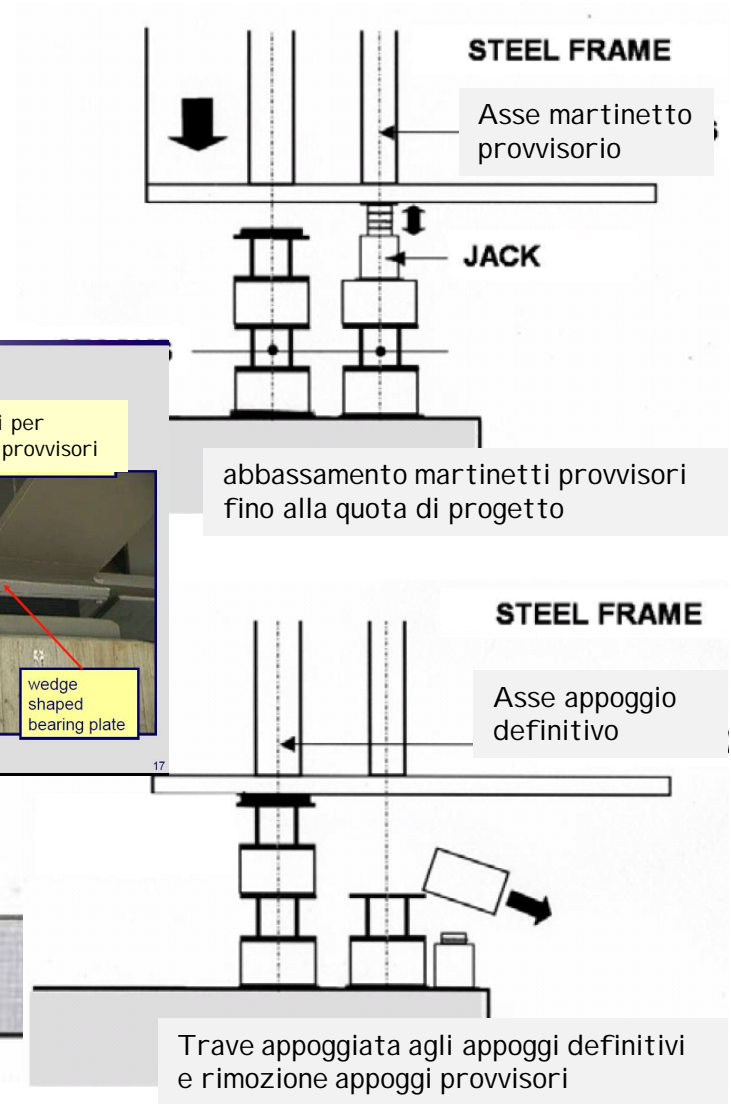
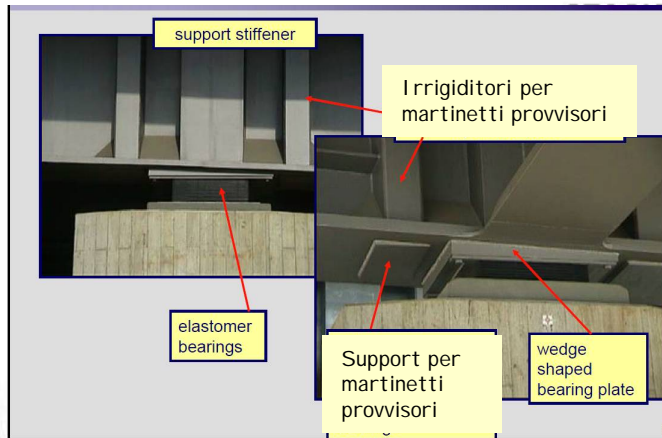
- ✓ **Caratteristiche dei percorsi officina-cantiere**



VARO con GRU

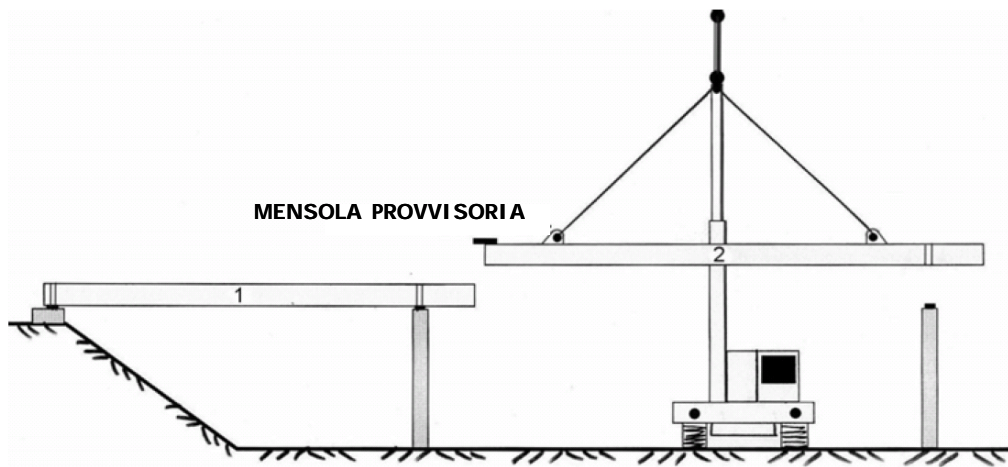


Varo con gru da terra

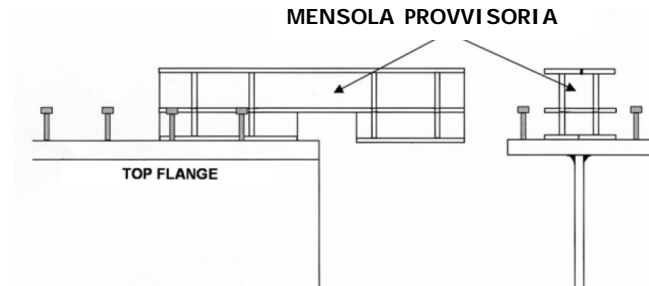


Varo con gru da chiatta galleggiante

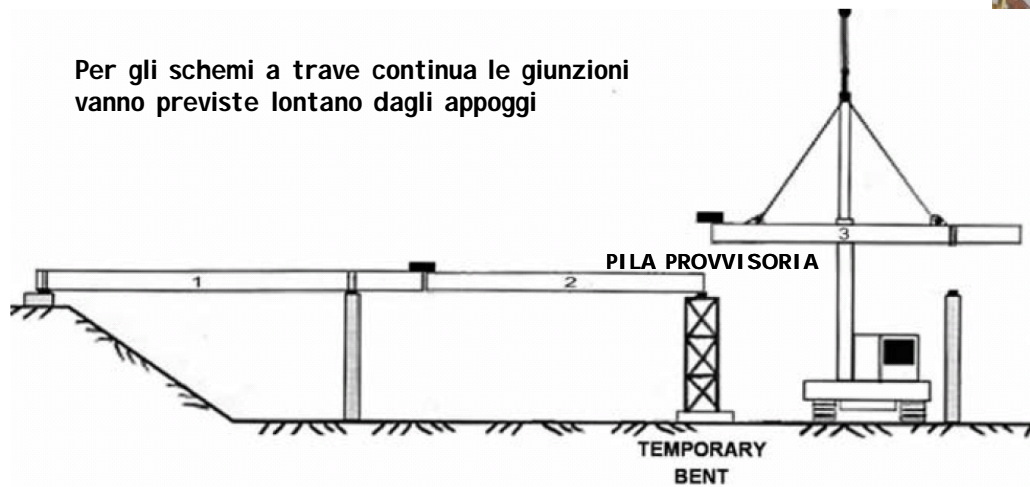




Varo con gru da terra per impalcati continui



Per gli schemi a trave continua le giunzioni vanno previste lontano dagli appoggi

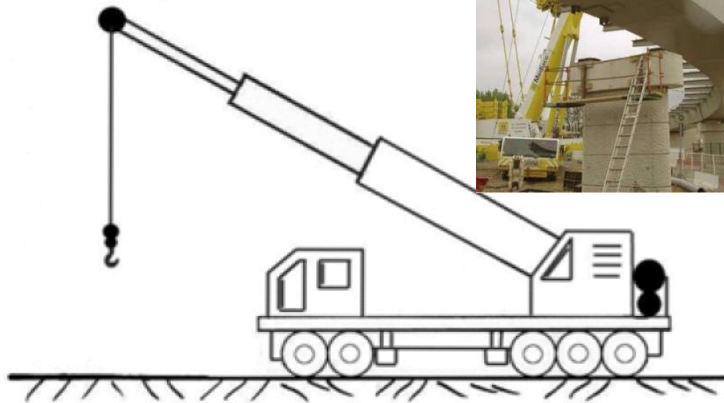


Varo con gru da terra con l'ausilio di Pila provvisoria

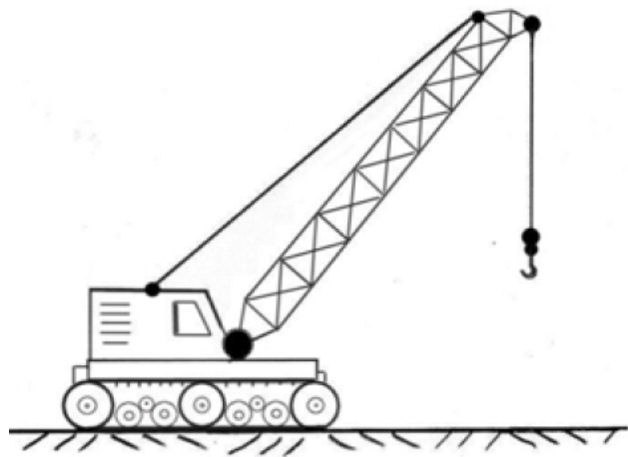




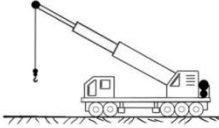

Tipologie di gru da terra



Gru su gomma con braccio telescopico



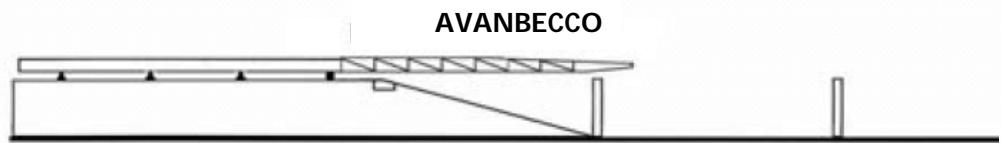
Gru su cingoli con braccio tralicciato

Type	Maximum capacity	Massima altezza di sollevamento	Sollevamento fino a 15 m con uno sbraccio max di 20 m	Horizontal dimensions L x I	Peso gru, escluso il contrappeso
	100 t	50 m	10 t	12.5 m x 7.5 m	50 t
	150 t	50 m	20 t	15 m x 8 m	60 t
	200 t	60 m	30 t	15 m x 9 m	60 t
	300 t	60 m	40 t	16 m x 9 m	70 t
	500 t	50 m	70 t	21 m x 10 m	100 t
	500 t	50 m	80 t	20 m x 14 m	110 t
	500 t	100 m	90 t	11 m x 9 m	175 t
	800 t	60 m	100 t	18 m x 15 m	100 t
	1250 t	60 m	350 t	15 m x 12,5 m	400 t

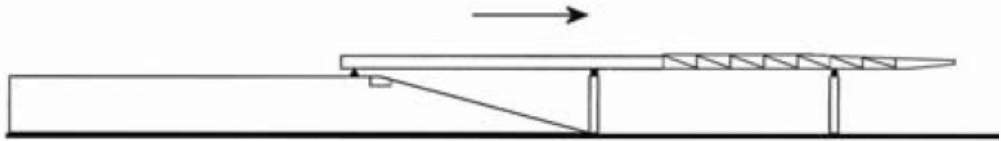


VARO a SPINTA

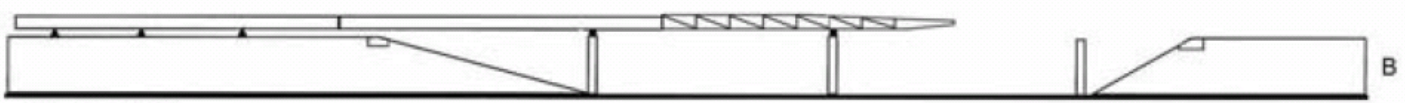
ASSEMBLAGGIO



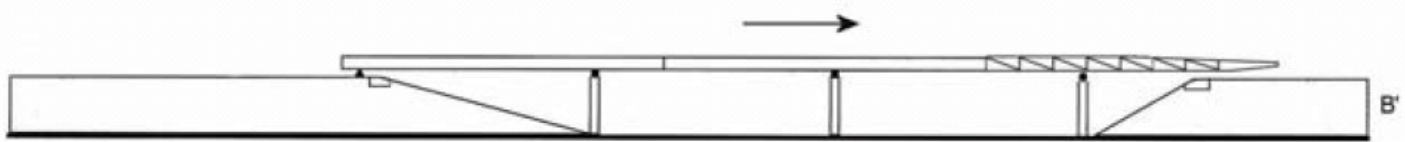
ASSEMBLAGGIO



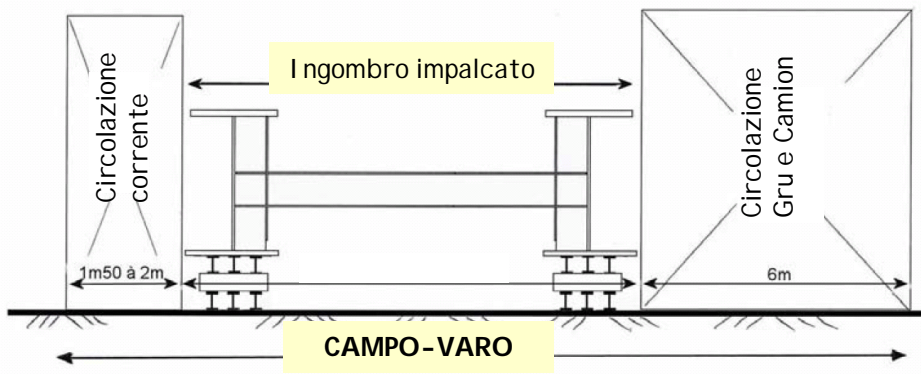
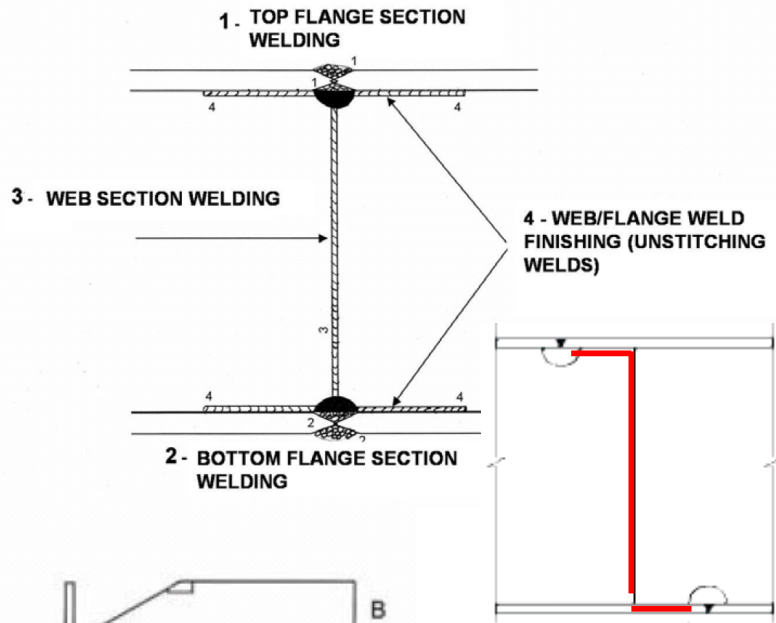
VARO a SPINTA



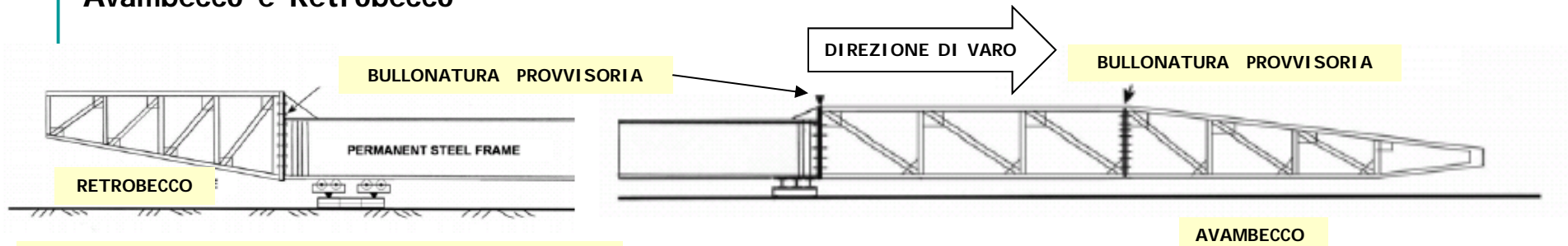
ASSEMBLAGGIO



VARO a SPINTA



Avambecco e Retrobecco



Può essere necessario **installare un contrappeso** sul retro per impedire il ribaltamento e per controllare le reazioni dei cuscinetti.

Questa zavorra deve essere centrata esattamente sull'asse del ponte e provvista di dispositivi antiscivolo sia direzioni longitudinale e trasversale. A volte è formata da un getto di cls sul retrobecco.

L'avambecco compie efficacemente tre funzioni essenziali:

- **riduce il peso della parte a sbalzo** della struttura
- **riduce le grande deformazione** che si avrebbero all'estremità dello sbalzo che complica l'attracco,
- **mantiene l'equilibrio statico** della struttura (controllando il ribaltamento).



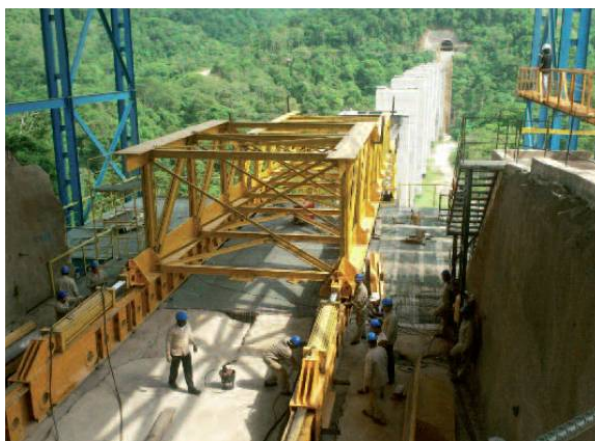
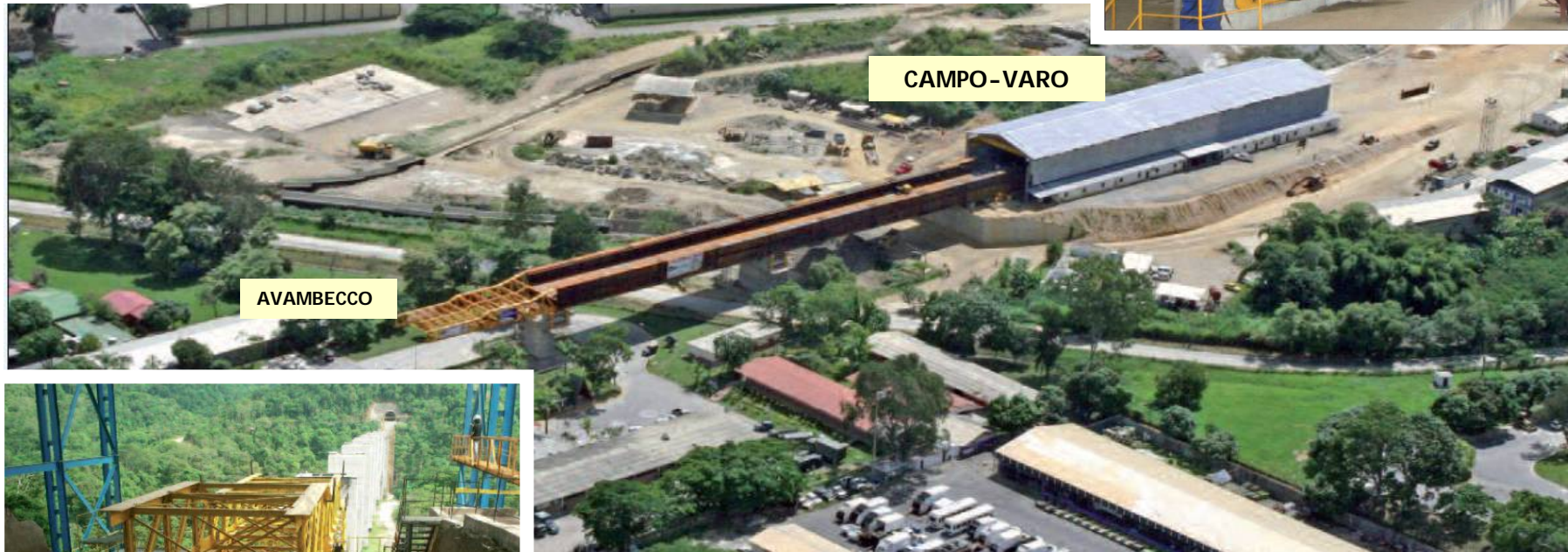
Rulliere di destinazione



Martinetto incernierato

Perno di rotazione



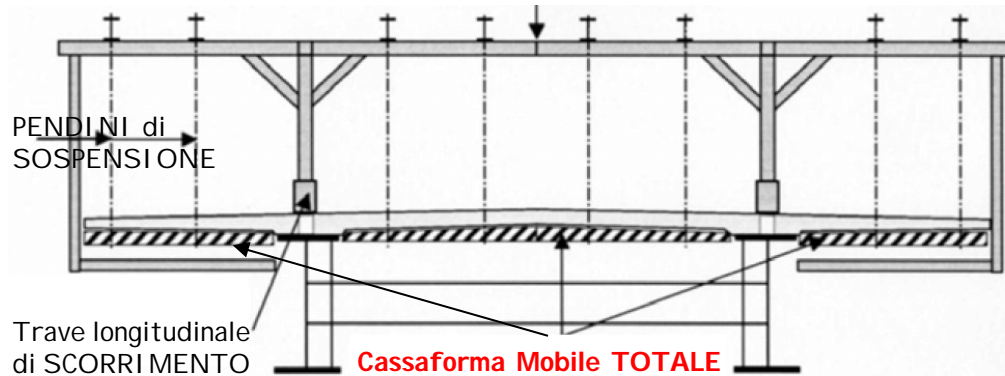


MODALITA' COSTRUTTIVE DELLA SOLETTA

Solette con **GETTO IN OPERA**

Vengono in genere utilizzate **casseforme mobili** che consentono la costruzione della soletta in segmenti da **8-20 m di lunghezza**.

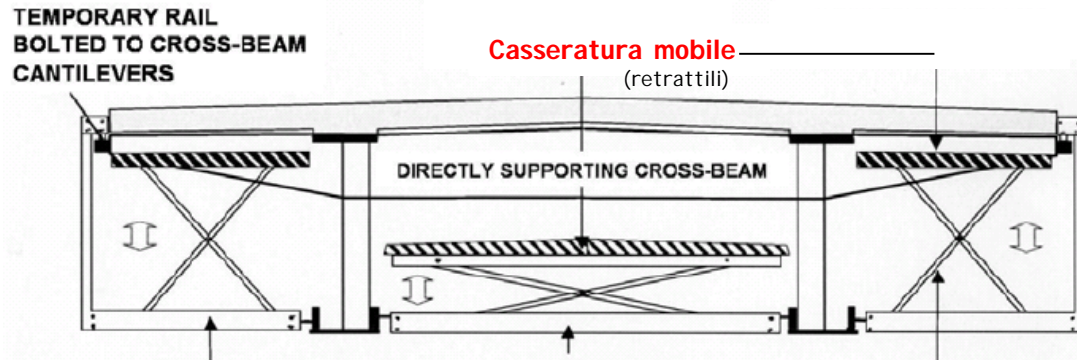
Cassaforma Mobile **TOTALE** per impalcati a trave



Cassaforma Mobile **PARZIALE** per impalcati a Cassone



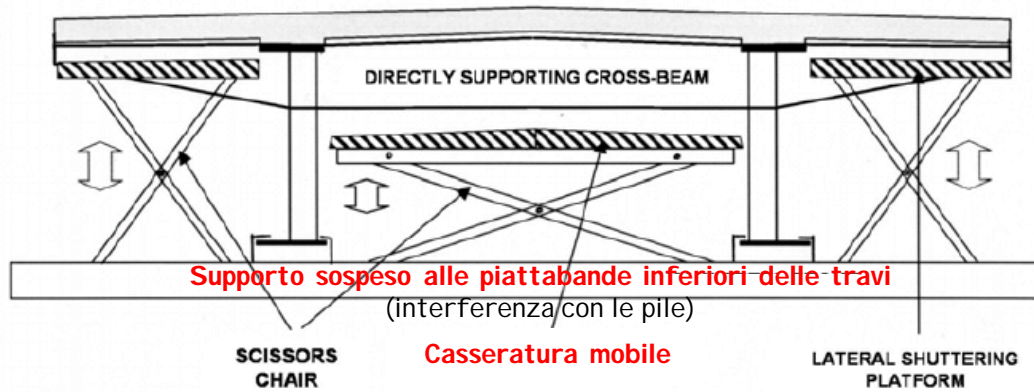
Casseforme mobili con **PIATTAFORMA INCORPORATA NELL'IMPALCATO**



Supporti scorrevoli sulle piattabande inferiori delle travi
(nessuna interferenza con le pile)



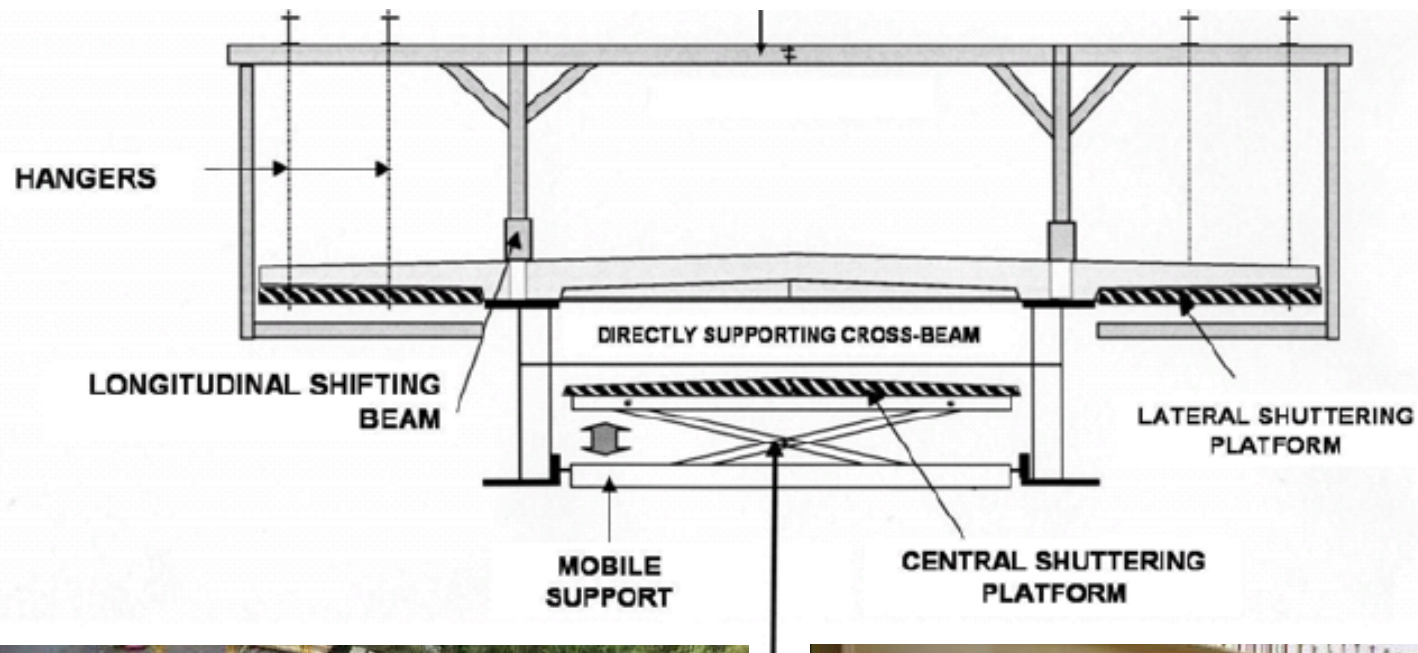
Cassaforme mobili con piattaforma incorporata nell'impalcato



Supporto sospeso alle piattabande inferiori delle travi
(interferenza con le pile)



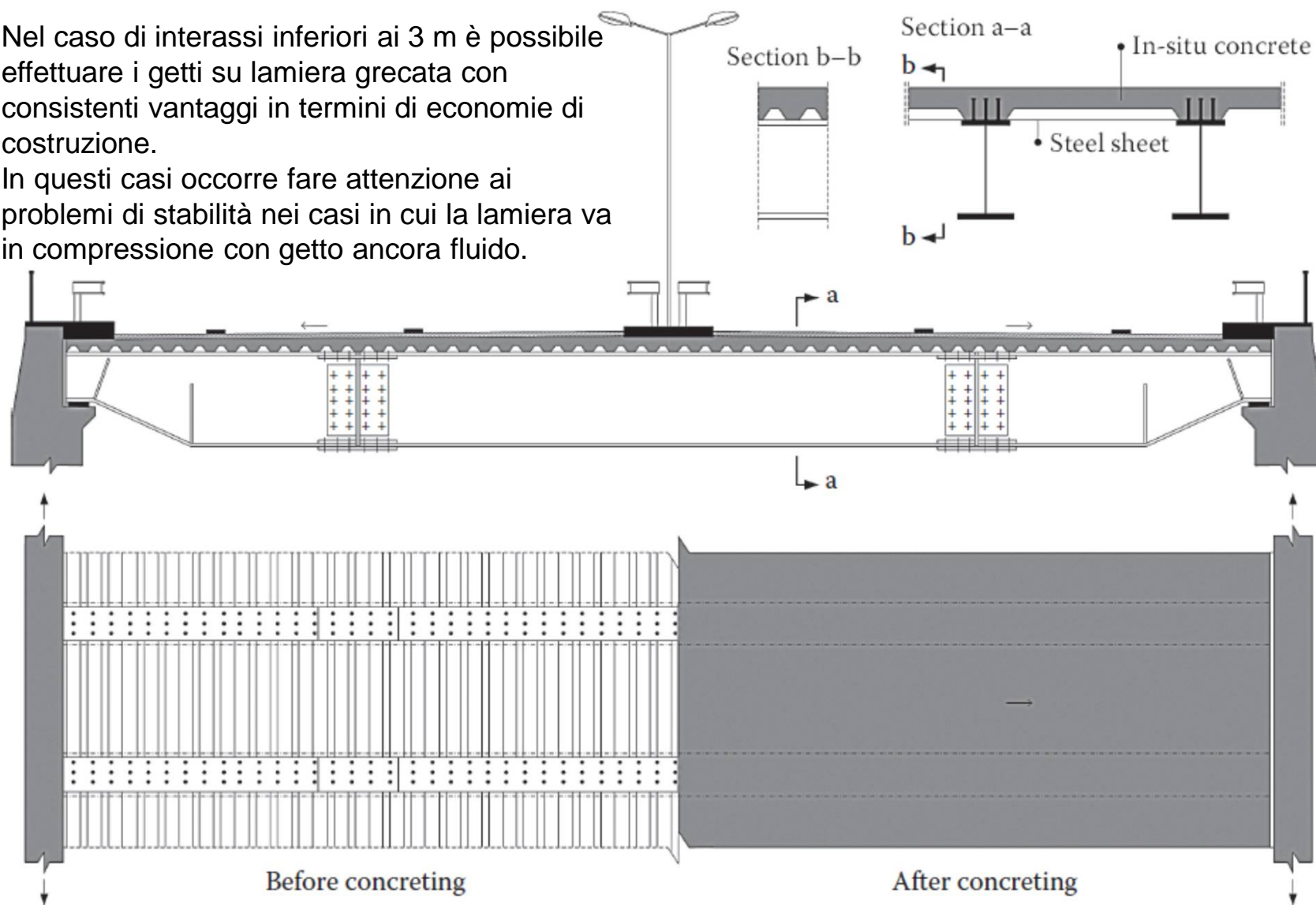
Casseforme mobili con **SISTEMA MISTO**



Uso della LAMIERA GRECATA

Nel caso di interassi inferiori ai 3 m è possibile effettuare i getti su lamiera grecata con consistenti vantaggi in termini di economie di costruzione.

In questi casi occorre fare attenzione ai problemi di stabilità nei casi in cui la lamiera va in compressione con getto ancora fluido.



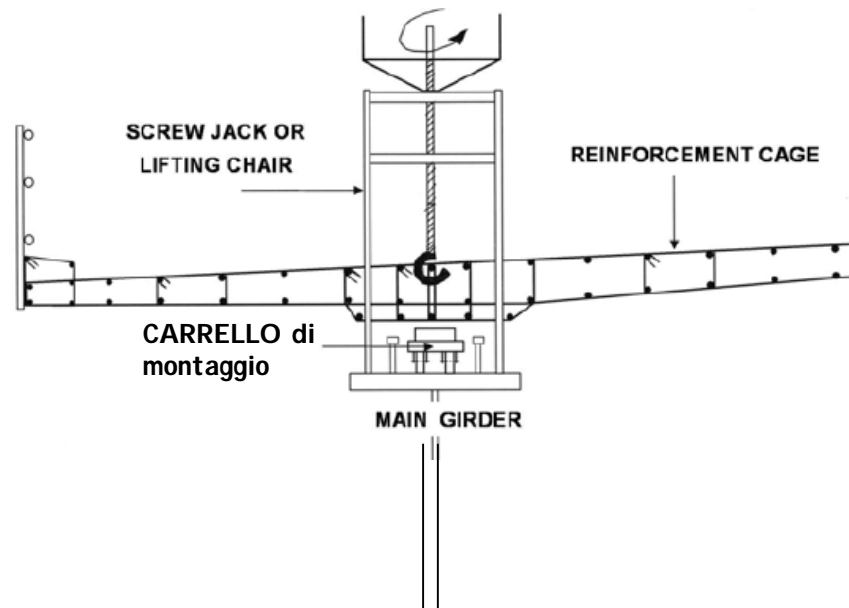
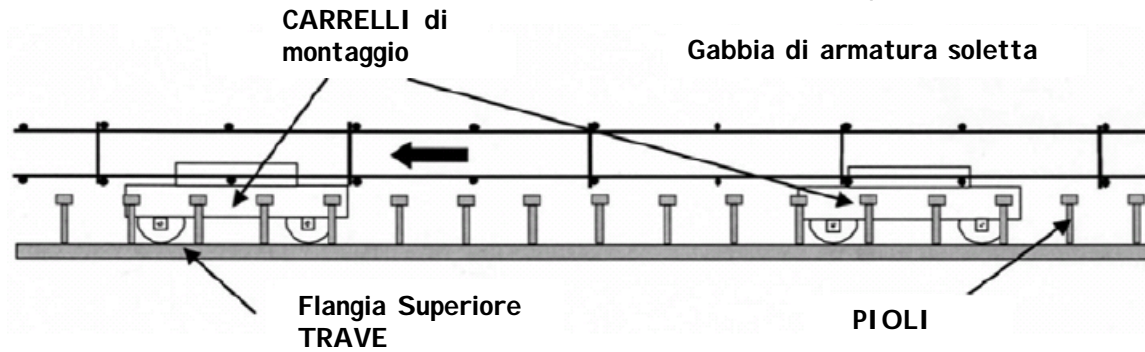
Montaggio delle **GABBIE DI ARMATURA**

La modalità più semplice è quella di utilizzare la gru per montare gabbie prefabbricate di adeguate dimensioni e rigidezza



Montaggio delle **GABBIE DI ARMATURA**

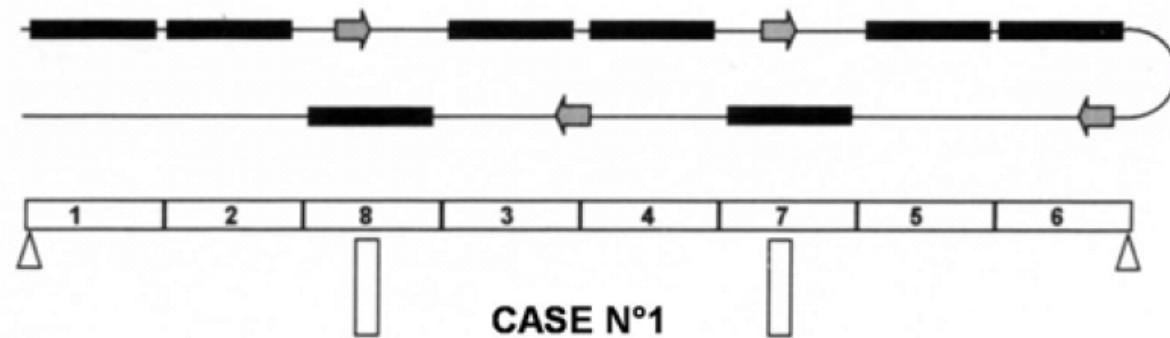
Quando le gabbie di armatura prefabbricati non possono essere inseriti utilizzando una gru, possono essere installati utilizzando carrelli che rotolano sulle flange superiori tra le due file di connettori trascinando le gabbie montate sulle spalle



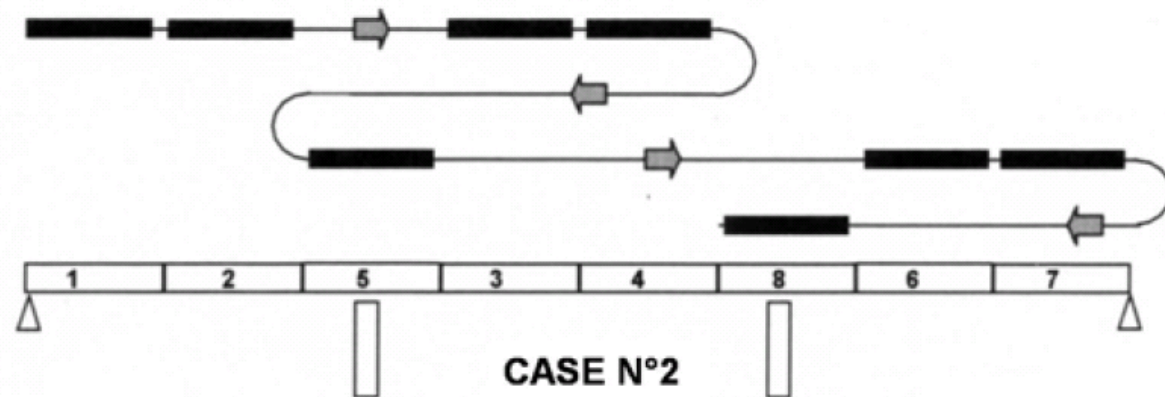
II GETTO della SOLETTA

Le parti di soletta in corrispondenza delle pile di continuità devono essere gettate per ultime al fine di ridurre il più possibile le sollecitazioni di trazione a cui sono sottoposti.

Ciò è perseguibile adottando una tecnica di sequenza discontinua che coinvolge dapprima il getto di tutte le zone di soletta all'interno delle campate e poi il getto delle zone sugli appoggi .



Possibili Sequenze di getto



MODALITA' COSTRUTTIVE DELLA SOLETTA

Solette **PREFABBRICATE**

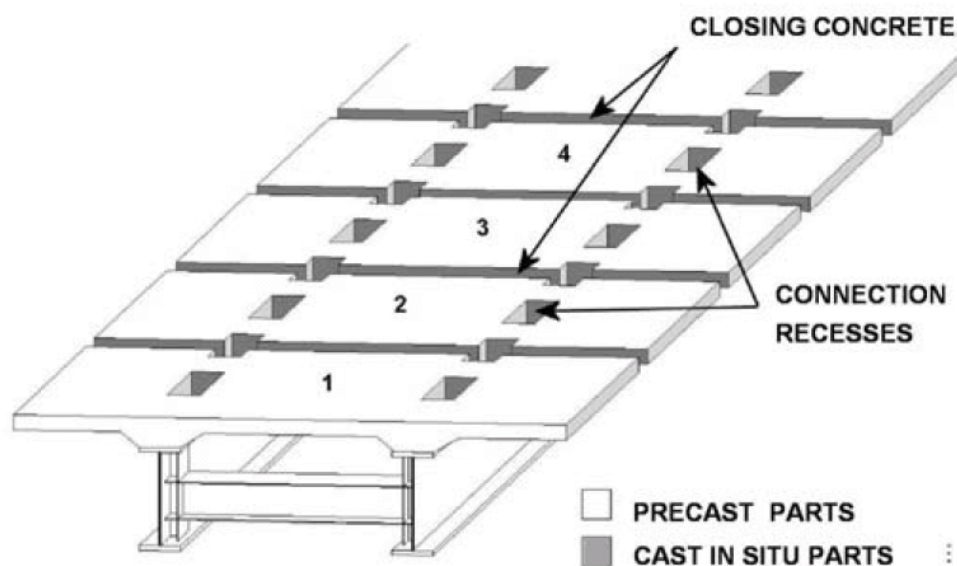
L'utilizzo della prefabbricazione è fondamentale per i ponti misti nei seguenti casi:

- quando il tempo di costruzione è molto breve,
- quando le condizioni del sito sono difficili (zone soggette a forti gelate, siti molto lontano dagli impianti di betonaggio)

D'altra parte, la prefabbricazione della soletta richiede estrema attenzione in termini di progettazione e costruzione.

Dal punto di vista strutturale, la prefabbricazione ha anche il vantaggio di **limitare gli effetti del ritiro** del calcestruzzo, che contribuiscono in modo significativo alla fessurazione. Ritiro a breve termine - soprattutto termico e endogeno - infatti, al montaggio delle lastre è praticamente esaurito.

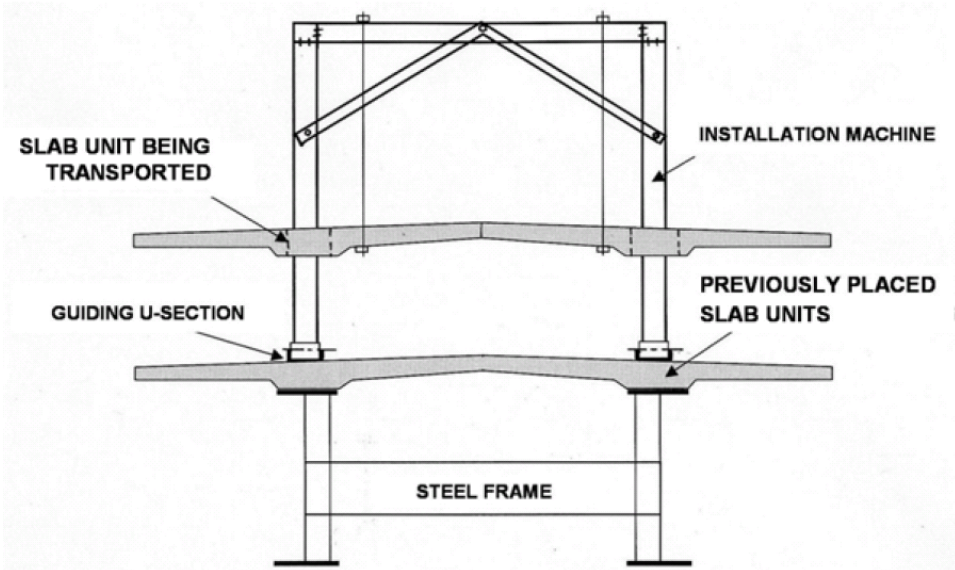
Inoltre, al montaggio delle lastre prefabbricate, circa il 50% degli effetti a lungo termine (**fluage**) può considerarsi esaurito.



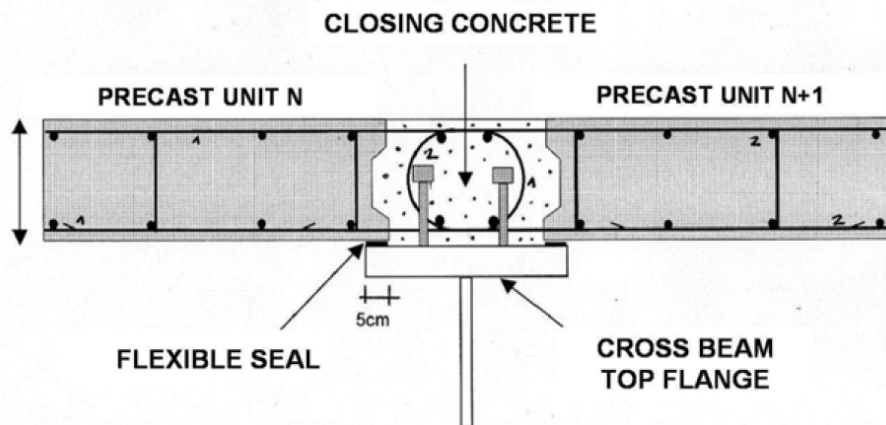
Impalcato bi-trave con traversi non solidali alla soletta



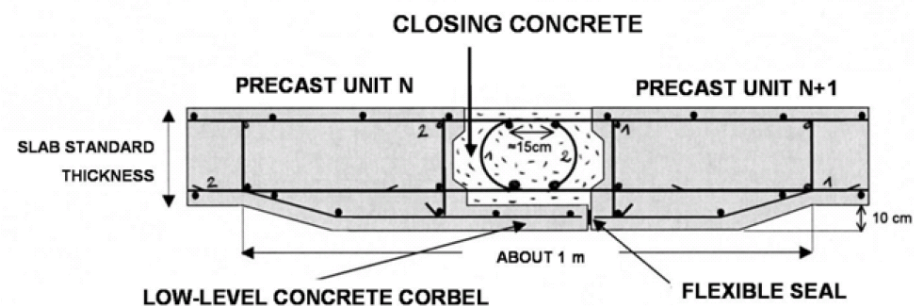
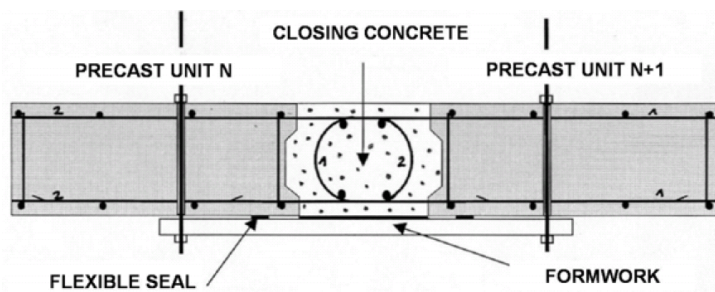
Macchine per il montaggio della soletta



GETTI di SUTURA



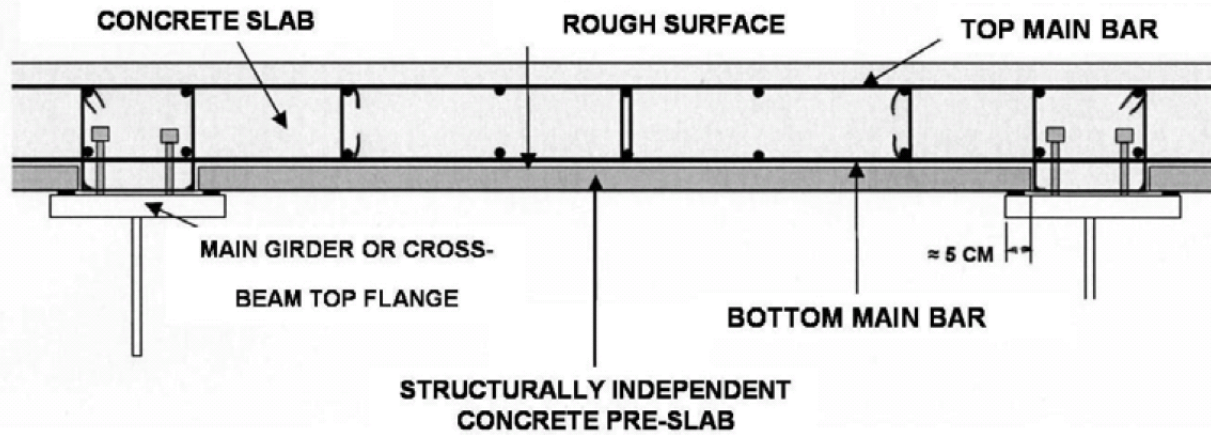
Il caso più semplice è quello in cui le due unità prefabbricate da chiudere sono installati sulla flangia superiore della trave che può essere usata come cassero del getto di sutura



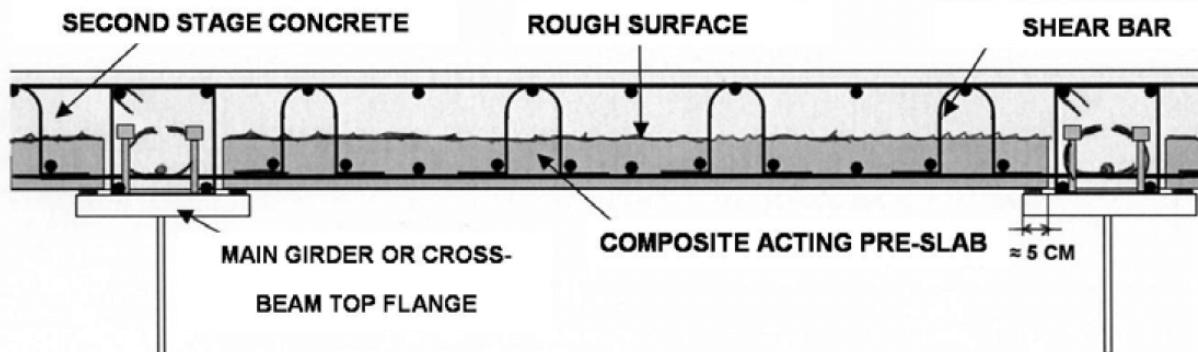
Il caso in cui il getto di chiusura interessa lo spazio tra le flange, è ovviamente più complesso.



Utilizzo delle COPPELLE



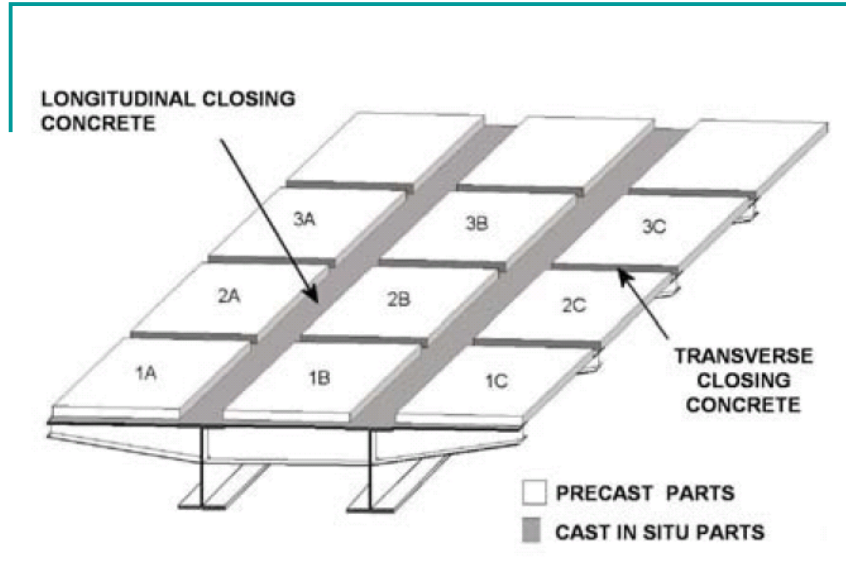
Coppella con funzione di Cassero permanente



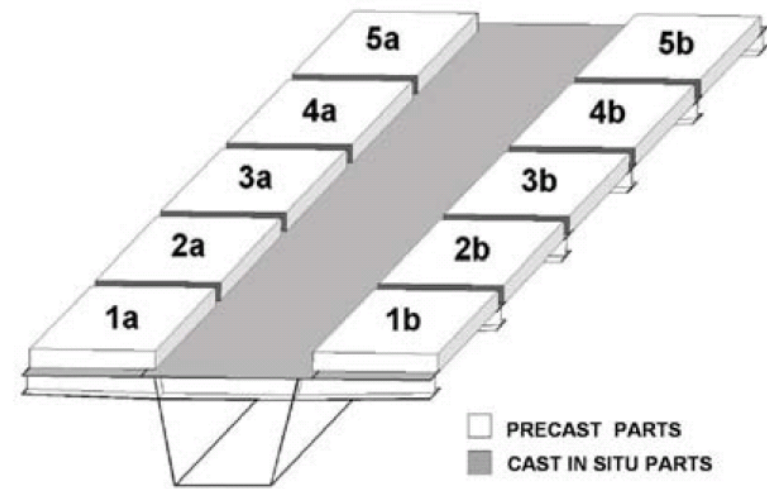
Coppella con funzione di Cassero Collaborante







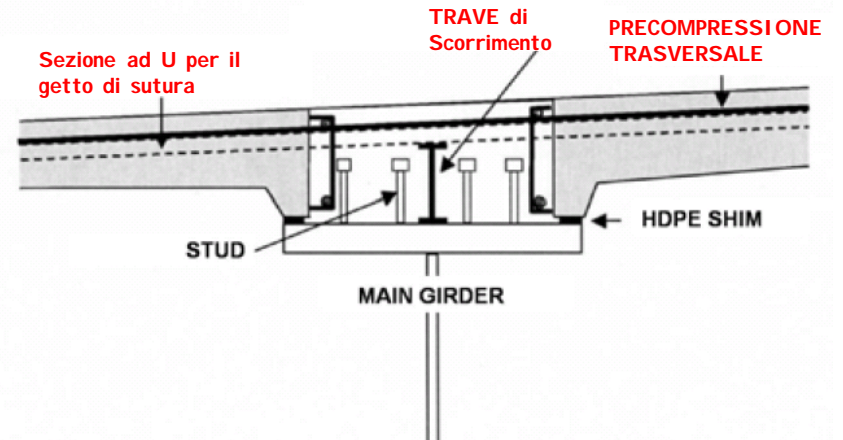
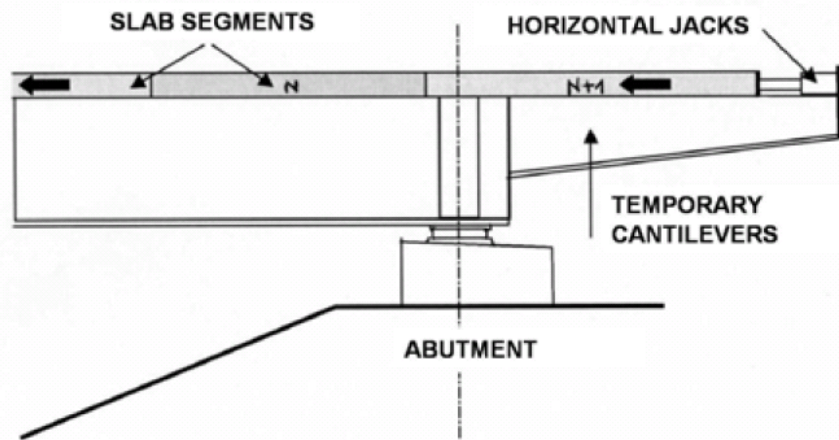
Impalcati bi-trave con traversi solidali alla soletta



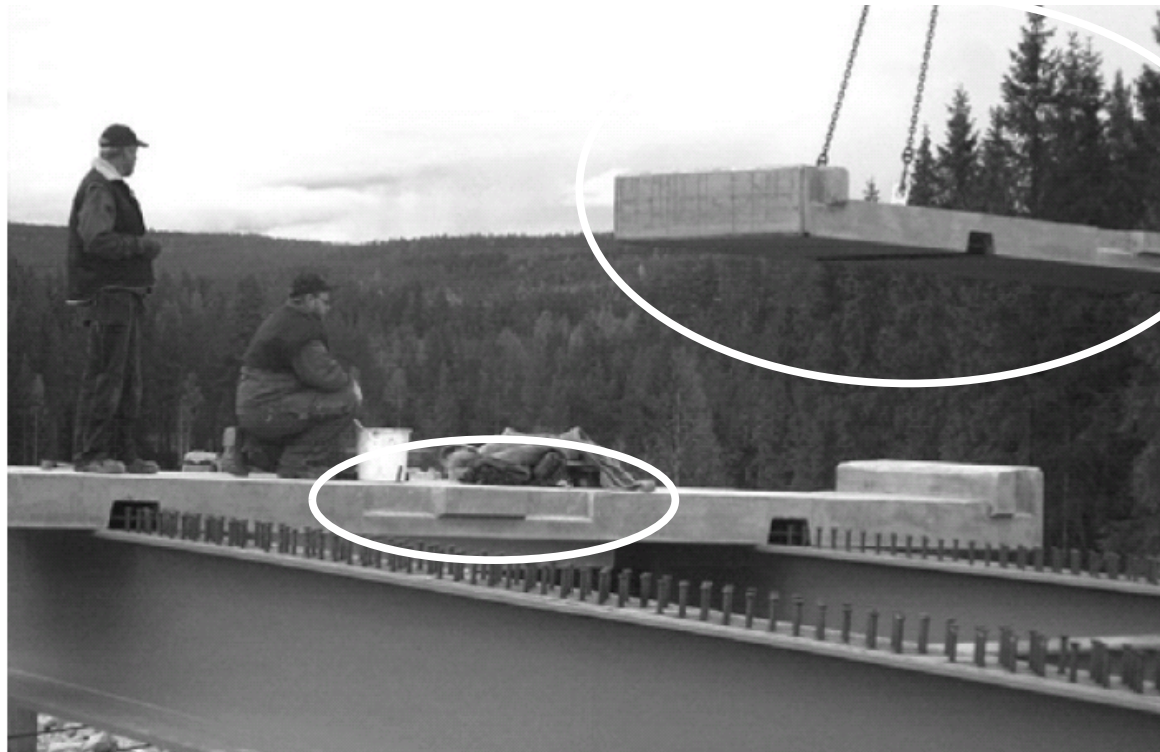
Impalcati a cassone



Solette PREFABBRICATE Varate A SPINTA

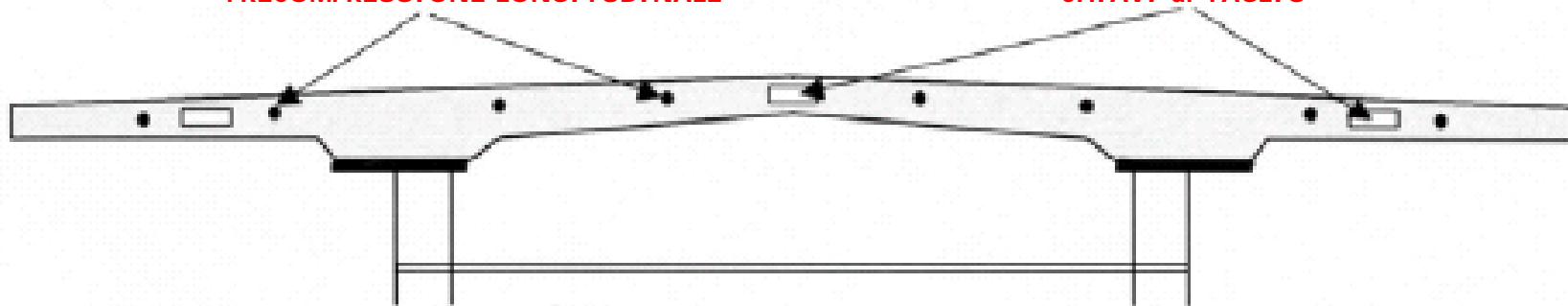


Solette PREFABBRICATE Varate A SPINTA



PRECOMPRESSI ONE LONGITUDINALE

CHIAVI di TAGLIO



PRESOLLECITAZIONI e DISTORSIONI nei sistemi IPERSTATICI

Qualunque sia il sistema prescelto, alla struttura possono essere applicati sistemi di presollecitazioni o distorsioni aventi lo **scopo di migliorare gli stati tensionali finali**.

Per il buon funzionamento della struttura mista la **soletta in cls deve risultare compressa** per evitare che si fessuri.

Per evitare o contenere la fessurazione della soletta si può intervenire con i seguenti sistemi:

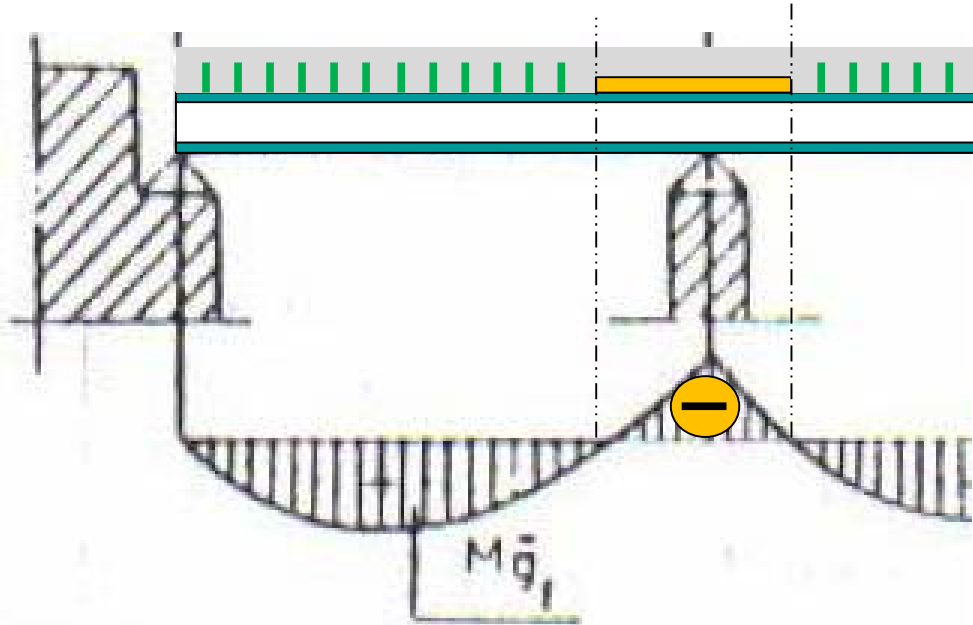
- 1** eliminando localmente il collegamento tra trave e soletta, ed affidando in quella zona tutta la resistenza all'acciaio
- 2** disponendo nella soletta una **notevole armatura metallica**, in modo da assorbire con bassi tassi di lavoro le trazioni locali ed impedire o controllare la fessurazione della soletta
- 3** Gestendo opportunamente i **tempi di realizzazione della continuità**
- 4** **precomprimendo la soletta**, prima di renderla collaborante con la struttura metallica
- 5** Applicando a tutta la struttura **opportune distorsioni**, aventi lo scopo di eliminare o ridurre le punte di momento flettente negativo sugli appoggi

Soluzioni perseguibili per **modeste trazioni**



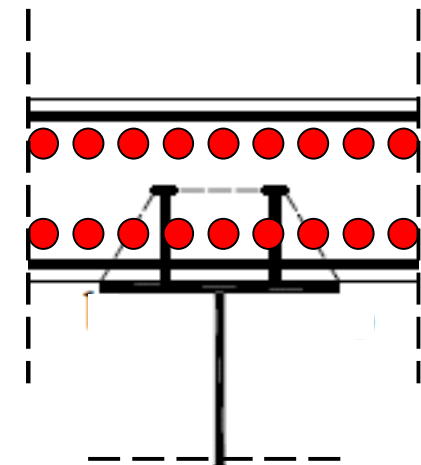
1

eliminando localmente il collegamento tra trave e soletta, ed affidando in quella zona tutta la resistenza all'acciaio



2

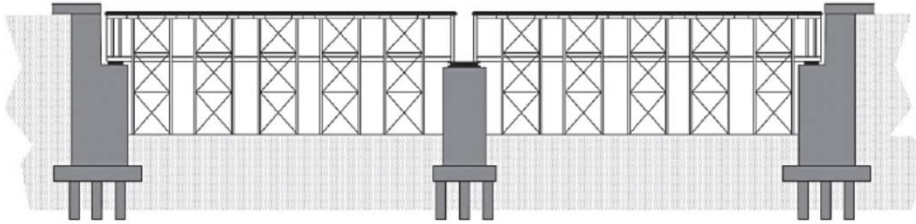
disponendo nella soletta una **notevole armatura metallica**, in modo da assorbire con bassi tassi di lavoro le trazioni locali ed impedire o controllare la fessurazione della soletta



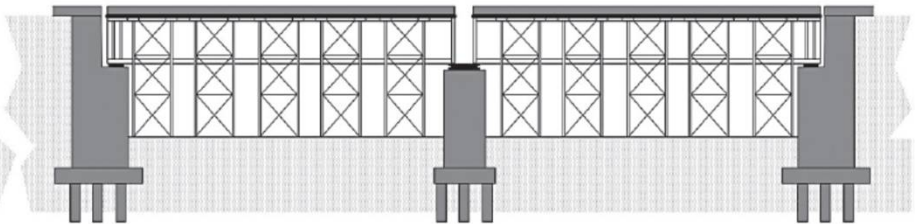
3

Gestendo opportunamente i tempi di realizzazione della continuità

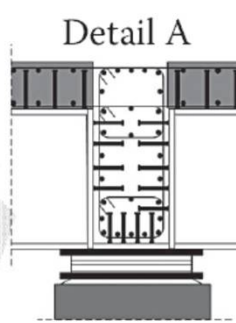
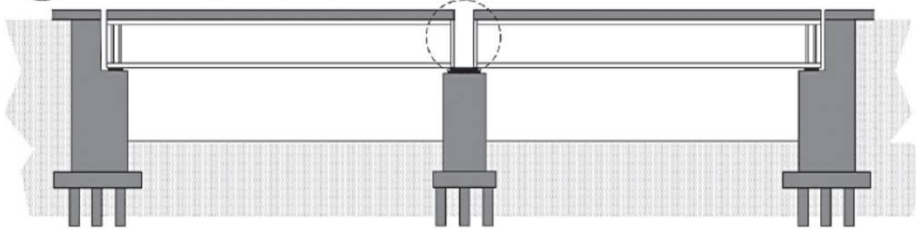
① Steel girders + formworks



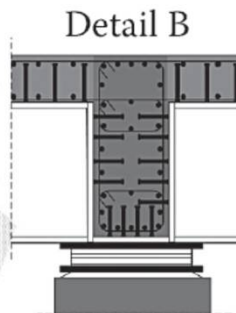
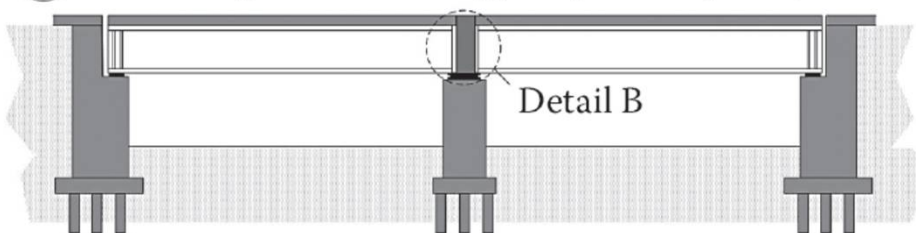
② Concreting of mid-spans (First phase)



③ Releasing of props



④ Concreting of internal support (Second phase)



Structural systems

- Multi-span

• Continuous

A 3D perspective view of a multi-span bridge structure. It shows a grid of steel girders supported by three vertical piers. The bridge is shown from an angle, highlighting the spans and the piers.

Possibile sequenza costruttiva per controllare la fessurazione



4

precomprimendo la soletta, prima di renderla collaborante con la struttura metallica

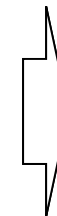


5

Applicando a tutta la struttura **opportune distorsioni**, aventi lo scopo di eliminare o ridurre le punte di momento flettente negativo sugli appoggi

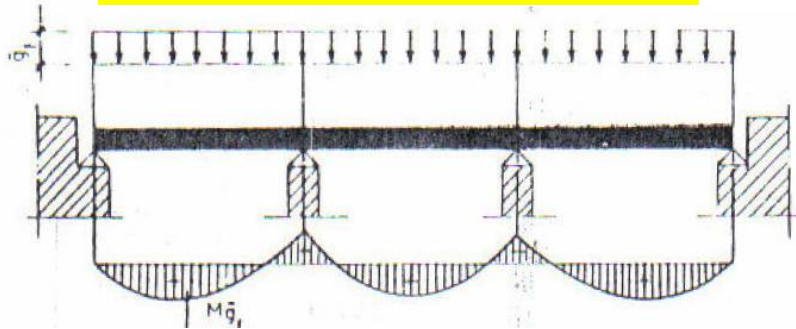
Le distorsioni possono essere applicate mediante

- **cedimenti differenziali degli appoggi** (*forzatura degli appoggi*)
- oppure **introducendo delle *sconnessioni interne*** nella *struttura* (*ha il vantaggio di non richiedere alcuna attrezzatura speciale*)

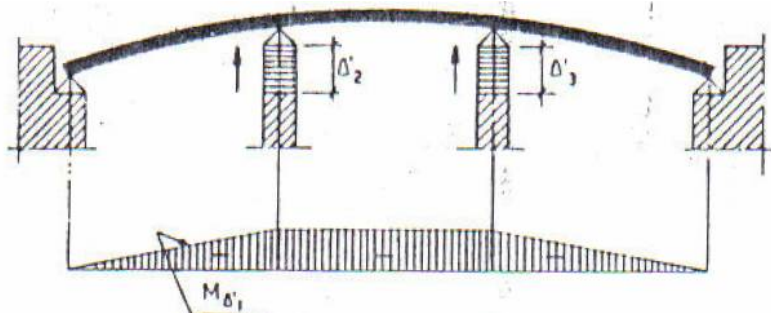


CEDIMENTI relativi agli appoggi

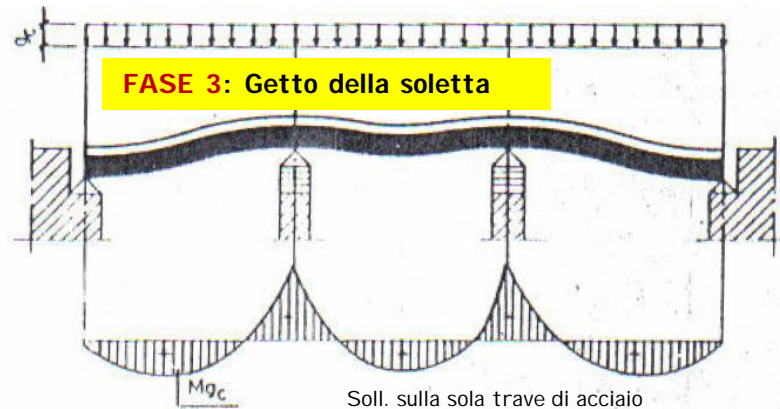
FASE 1: Azione P.P sulla trave in acciaio



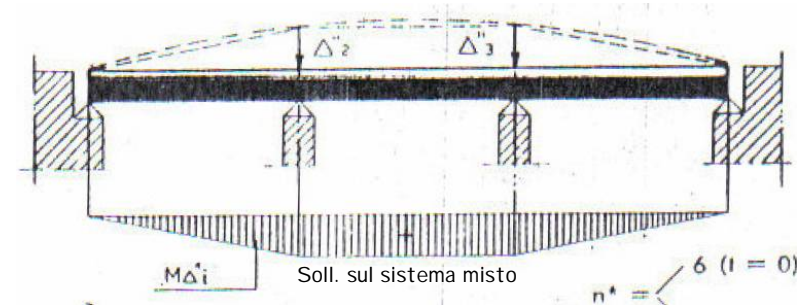
FASE 2: Distorsione impressa con martinetti



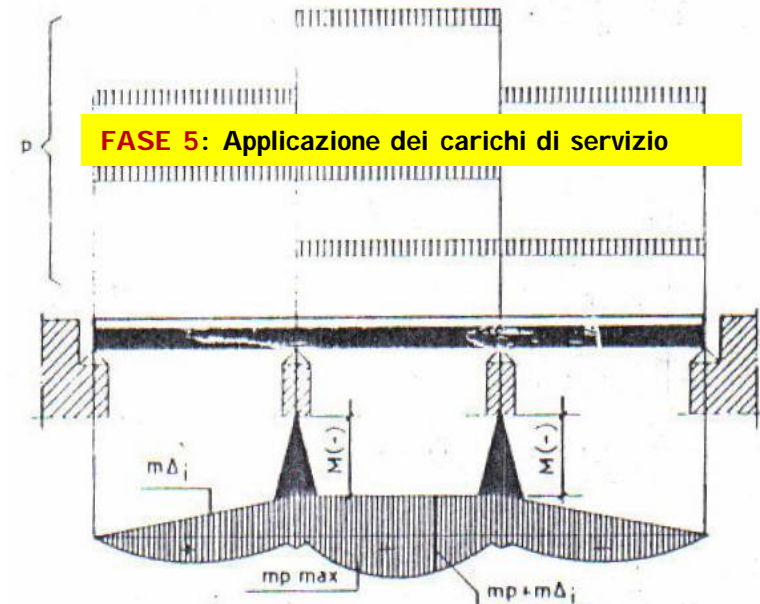
FASE 3: Getto della soletta



FASE 4: Abbassamento degli appoggi con conseguente compressione nella soletta



FASE 5: Applicazione dei carichi di servizio

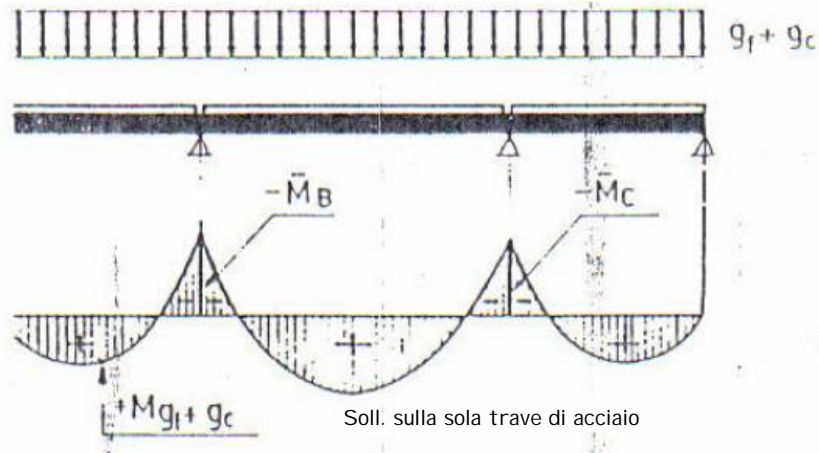


Il momento negativo sugli appoggi risulta considerevolmente ridotto e tale riduzione può essere modulata in funzione del cedimento imposto agli appoggi intermedi.

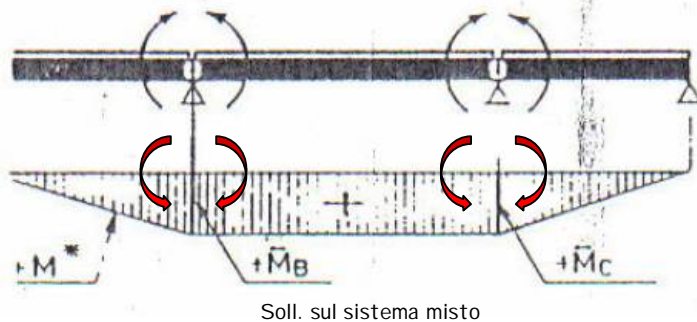


Utilizzo delle **SCONNESSIONI**

FASE 1: getto della soletta su trave con le sconnessioni bloccate

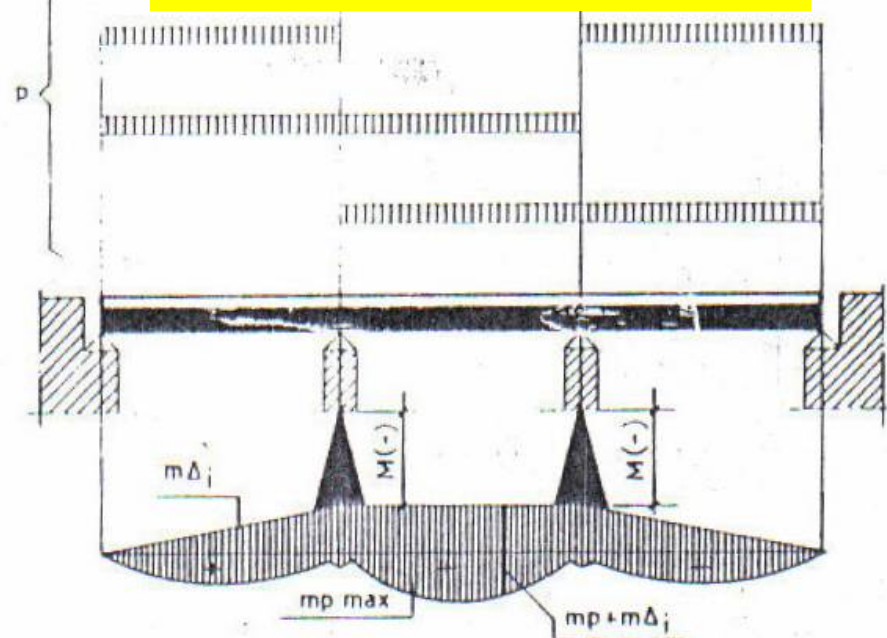


FASE 2: Presollecitazione mediante sconnessione delle cerniere



FASE 3: Bloccaggio delle cerniere prima dell'entrata in servizio

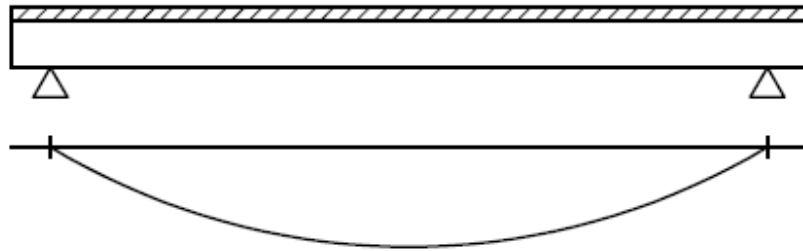
FASE 4: Applicazione dei carichi di servizio



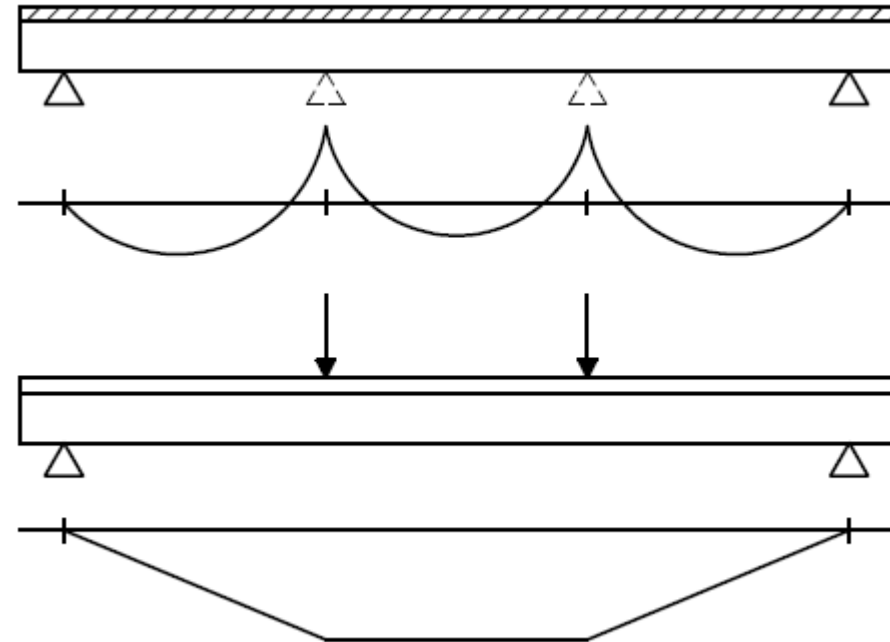
N.B.: l'utilizzo di giunti provvisori il cui bloccaggio e sbloccaggio viene realizzato con attrezzature e mano d'opera usuale è economicamente molto più conveniente rispetto all'utilizzo di martinetti ed incastellature provvisorie assai più onerose.



Influenza dei PUNTELLI



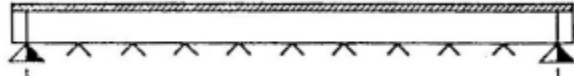
Se il getto della soletta viene effettuato **senza l'ausilio di puntelli provvisori** l'intero peso del getto viene sopportato **dalla sola trave metallica** con aggravii del suo impegno statico



L'utilizzo di puntelli intermedi impegna la trave metallica solo parzialmente.
Alla rimozione dei puntelli l'intera trave mista sarà impegnata in maniera efficace per questo sistema poiché **la soletta risulta compressa.**



A) sistema a **TRAVE PUNTELLATA**



struttura funzionante come **trave composta per tutti i carichi applicati**

ottimizzazione della collaborazione fra le 2 travi e conseguente **economia di peso strutturale complessivo**

onere esecutivo della **puntellazione**

sovradimensionamento dei connettori

B) sistema a **TRAVE NON PUNTELLATA**



nessuna opera provvisoria di sostegno

Economia nei connettori (soggetti solo ai carichi della I fase)

limitato sfruttamento della **collaborazione fra le due travi**

ridotto **impegno statico della soletta**

maggior **impegno statico e deformativo della trave inferiore**

VANTAGGI

SVANTAGGI

