SOLUZIONI DI IMPALCATO PER PONTI IN ACCIAIO

Gli impalcati in struttura mista acciaio-cls comportano diversi vantaggi rispetto alle equivalenti soluzioni in calcestruzzo armato, prima di tutto in termini di leggerezza (elevato rapporto resistenza/peso). Contraddistinguono gli impalcati in acciaio anche la scarsa sensibilità ai cedimenti differenziali delle fondazioni, la rapidità e facilità di esecuzione di impalcati continui, l'adattabilità alle luci ed alla geometria del tracciato stradale.

Numerosi vantaggi vengono inoltre offerti in termini di manutenzione e gestione dell'opera, grazie all'eccellente durabilità, conferita grazie ai trattamenti protettivi fra cui la zincatura a caldo, e alla facilità di ispezione.

Infine, gli impalcati in acciaio si prestano all'inserimento in ambienti e contesti di particolare rilevanza paesaggistica, grazie alla qualità architettonica conferita dalla semplicità dei particolari costruttivi.

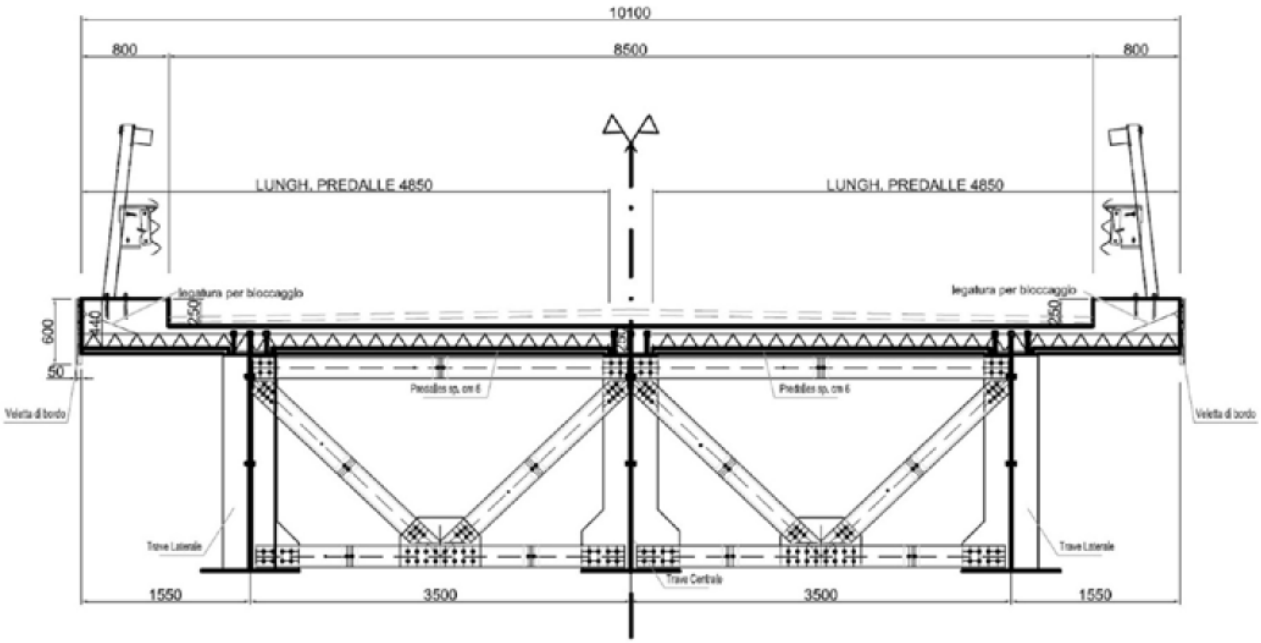
La folta gamma dei prodotti in acciaio unita alle diverse possibilità di lavorazione presso le officine dei costruttori metallici consente un'ampia scelta per le soluzioni di impalcato per i ponti in acciaio.

A seconda della luce, della sezione stradale, degli altri vincoli geometrici e più in generale del contesto territoriale-ambientale, è possibile individuare principalmente le tipologie di impalcato a graticcio, a cassone e reticolare.

IMPALCATI A GRATICCIO

Nei ponti a travata gli impalcati a graticcio vengono utilizzati normalmente per campate fino a 60-80 m.

La struttura dell'impalcato è composta tipicamente da travi a parete piena longitudinali e da traversi di collegamento per favorire la collaborazione fra le travi longitudinali.



Esempio di sezione stradale con impalcato a graticcio in acciaio

Queste possono essere realizzate attraverso la composizione di lamiere saldate in officina oppure, per luci più contenute, anche mediante l'uso di profili laminati ad I e H.

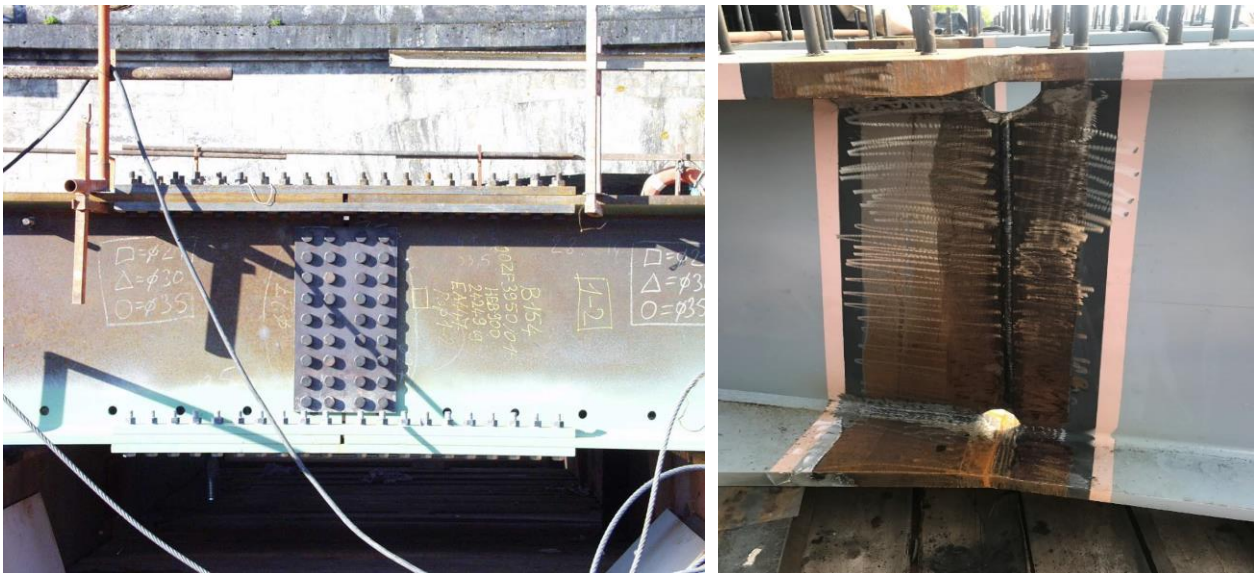
Multi-trave con profili laminati

Competitiva anche su luci di 20-25 m, la soluzione multi-trave con profili laminati è molto utilizzata per sezioni stradali molto larghe e presenta eccellenti caratteristiche di resilienza del materiale attraverso lo spessore del profilo.

È possibile realizzare profili laminati con luci di 25 m, ma è necessario un trasporto eccezionale a favore del fatto che vengono risparmiati i giunti in cantiere.

Esempio di viadotto a travata multi-trave con profili laminati

Nel caso che si scelga di eseguire i giunti e trasportare profili con luci minori è possibile eseguire giunti bullonati per spessore di piattabande fino a 60 mm. Questa scelta ha il vantaggio di non richiedere un'integrazione del sistema di protezione. Inoltre, è possibile realizzare anche giunti saldati, ma in questo caso è necessario prevedere degli accorgimenti nell'esecuzione del sistema anticorrosivo.

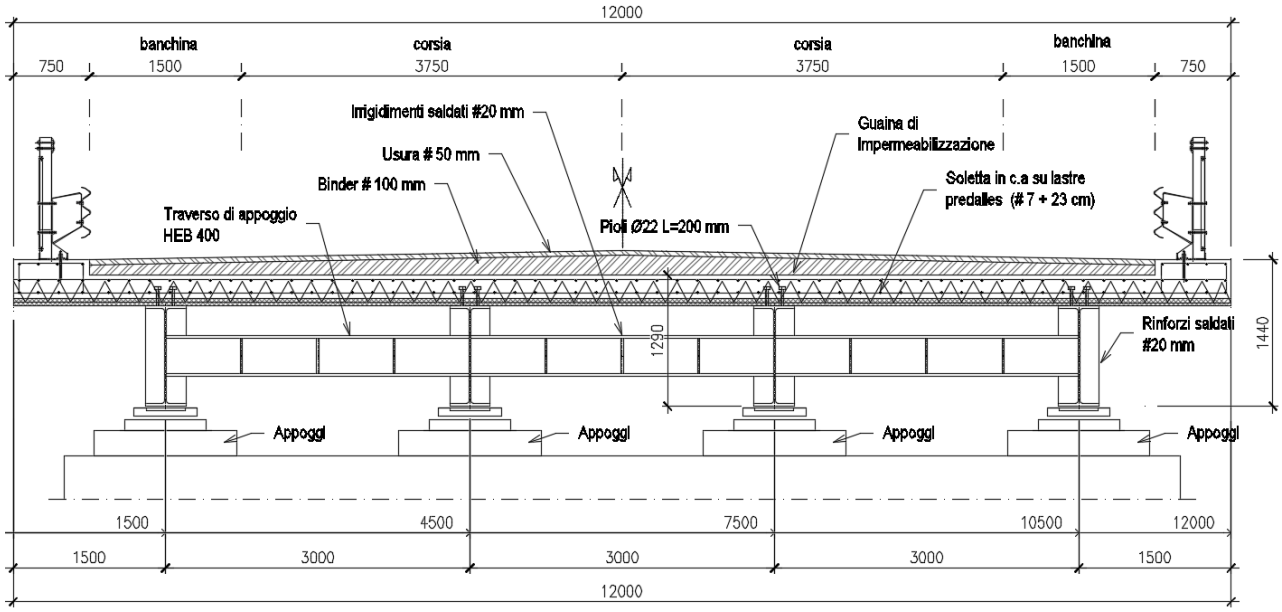


Giunto bullonato e giunto saldato

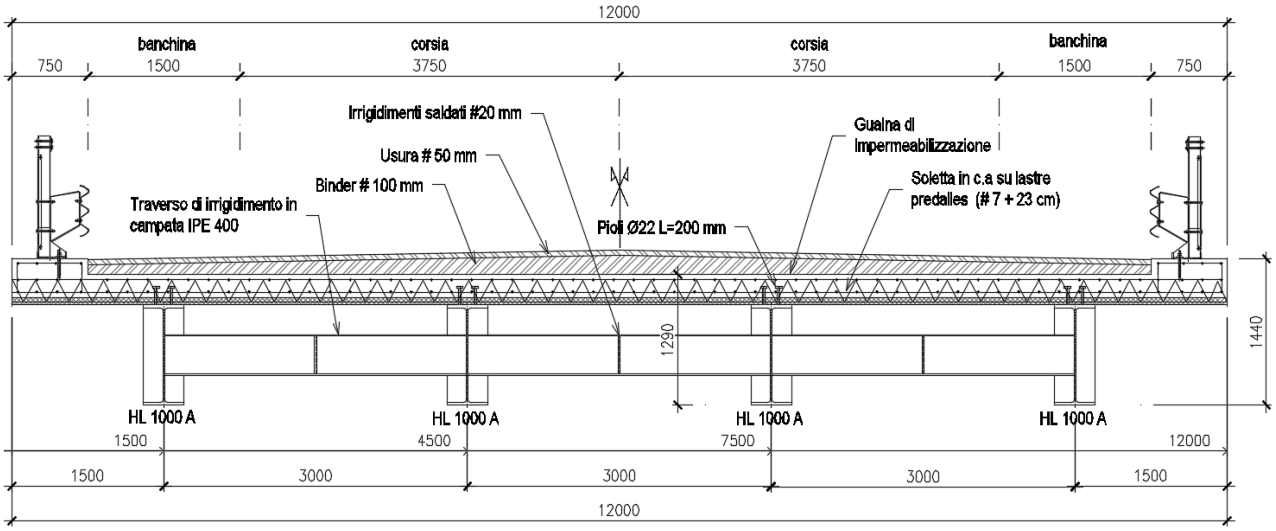
Per il collegamento delle travi longitudinali, posate direttamente su appoggi elastomerici, vengono tipicamente impiegati elementi trasversali in carpenteria metallica di irrigidimento utilizzando in genere profili ad I e a H che possono essere saldati o bullonati.

In genere sulle spalle del ponte i traversi vanno previsti fra tutte le travi, mentre in campata possono essere predisposti anche solo per accoppiare le travi a due a due.

Di seguito si presentano due tipiche sezioni di impalcati in acciaio multi-trave con profili laminati sia longitudinali sia trasversali. I valori fanno riferimento ad un sistema iperstatico multi-campata con campate da 25 m ciascuna.



Sezione tipo in appoggio di impalcato multi-trave con profili laminati distanziati e traversi

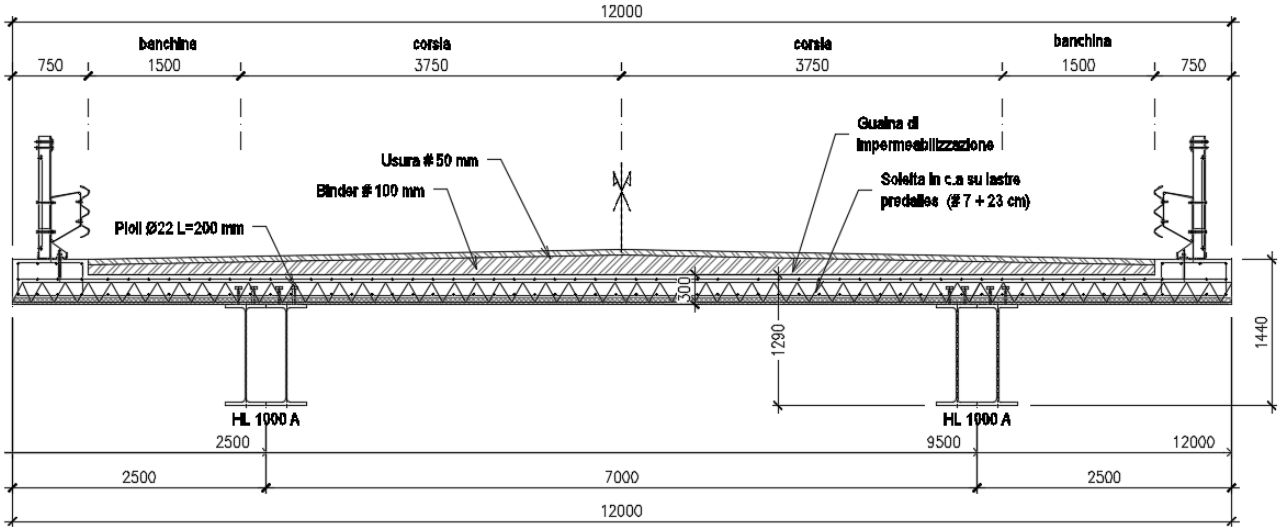


Sezione tipo in campata di impalcato multi-trave con profili laminati distanziati e traversi

Esempio di impalcato in carpenteria metallica multi-trave in profili laminati con traversi in appoggio e in campata

Per il collegamento trasversale è possibile ricorrere a traversi in calcestruzzo gettati in opera in corrispondenza delle pile/spalle del ponte (*Concrete Cross Beams – CCB*). Il traverso in calcestruzzo garantisce stabilità e rigidezza torsionale sufficienti per far sì che l'impalcato multi-trave non abbia bisogno di traversi supplementari in campata.

È inoltre possibile accostare i profili creando sezioni a cassone chiuso. Grazie alla rigidezza torsionale conferita da questi elementi, è possibile evitare l'utilizzo di irrigidimenti trasversali, a semplificazione del sistema strutturale.



Sezione tipo in campata di impalcato multi-trave con profili laminati accostati

Immagini di cantiere per il sistema di travi accoppiate e traverso in calcestruzzo armato

Realizzazioni di impalcati multi-trave con profili laminati distanziati e traversi in calcestruzzo armato

Di seguito vengono presentati valori ricorrenti sulle incidenze per impalcati multi-trave con profili laminati al variare delle della luce, della qualità di acciaio, schema statico, disposizione profili e tipologia traversi (si ipotizza soletta in c.a. spessore 30 cm, calcestruzzo C30/37):

Campata 25 x 12 m – schema isostatico

Tipologia multi-trave con profili laminati accostati (chiusi):
- Qualità acciaio S460M: 120 kg/m^2 (traversi in c.a.), 140 kg/m^2 (traversi in acciaio)
- Qualità acciaio S355J2W: 150 kg/m^2 (traversi in c.a.), 170 kg/ m^2 (traversi in acciaio)

Tipologia multi-trave con profili laminati distanziati:
- Qualità acciaio S460M: 150 kg/m^2 (traversi in c.a.), 170 kg/m^2 (traversi in acciaio)
- Qualità acciaio S355J2W: 190 kg/m2 (traversi in c.a.), 210 kg/m^2 (traversi in acciaio)

Campata 35 x 12 m – schema isostatico

Tipologia multi-trave con profili laminati distanziati:
- Qualità acciaio S460M: 240 kg/m^2 (traversi in c.a.), 256 kg/m^2 (traversi in acciaio)
- Qualità acciaio S355J2W: 290 kg/m2 (traversi in c.a.), 306 kg/m^2 (traversi in acciaio)

Multi-campata 125 x 12 m – campate continue da 25 m

Tipologia multi-trave con profili laminati distanziati:
- Qualità acciaio S460M: 120 kg/m^2 (traversi in c.a.), 140 kg/m^2 (traversi in acciaio)
- Qualità acciaio S355J2W: 150 kg/m2 (traversi in c.a.), 170 kg/m^2 (traversi in acciaio)

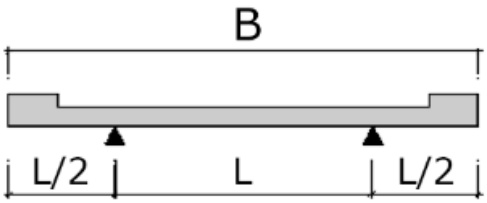
Bi-trave e multi-trave con profili in lamiera composta saldata

La saldatura in officina di lamiere e piatti consente di realizzare travi di qualsiasi dimensione e forma. Tipicamente vengono utilizzate travi a doppio T.

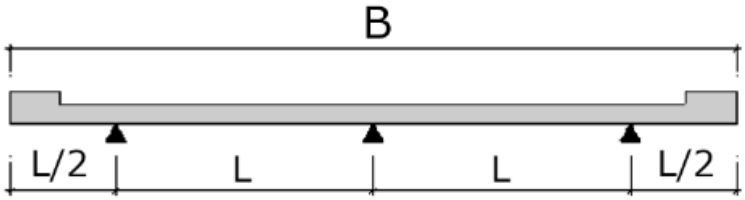
Esempio di impalcato multi-trave con profili a doppio T composti saldati

La larghezza della piattaforma stradale incide sul numero di travi e quindi sugli appoggi della soletta. Per contenere i pesi strutturali è buona norma sfruttare il sistema misto acciaio-cls e limitando lo spessore della soletta a 25÷30 cm. Solitamente ne consegue un interasse massimo delle travi principali di circa 4÷5 m e uno sbalzo massimo della soletta di circa 2÷3 m.

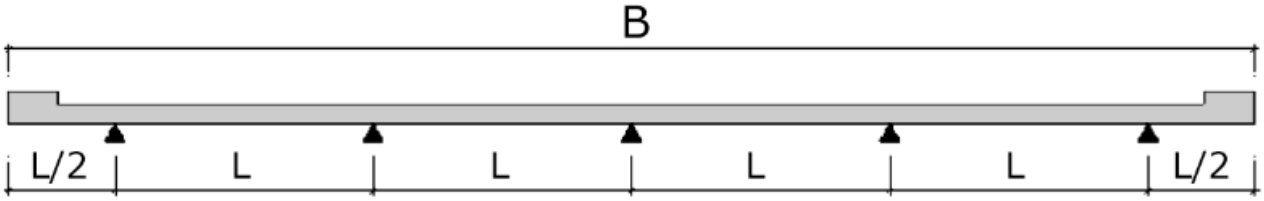
Di seguito si presenta uno schema tipico per la disposizione delle travi longitudinali al crescere della larghezza della piattaforma stradale.



B ≤ 10 ÷ 11 m

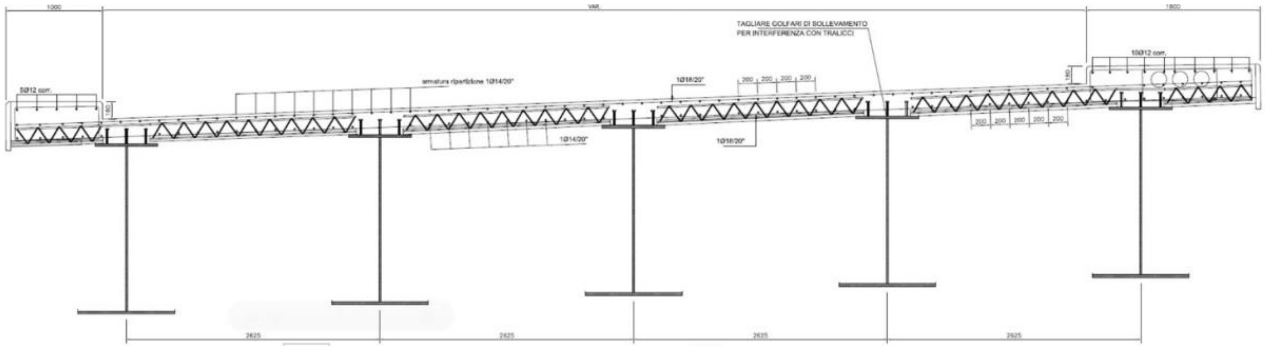


11 < B ≤ 15 m



B > 15 m

In assenza di vincoli sulla posizione delle pile, la distanza fra gli appoggi è compresa fra 40 e 80 m. nel caso di schema statico a trave continua, le campate laterali dovranno essere realizzate con luci pari all'80% delle campate centrali, al fine di contenere le sollecitazioni di momento positivo.

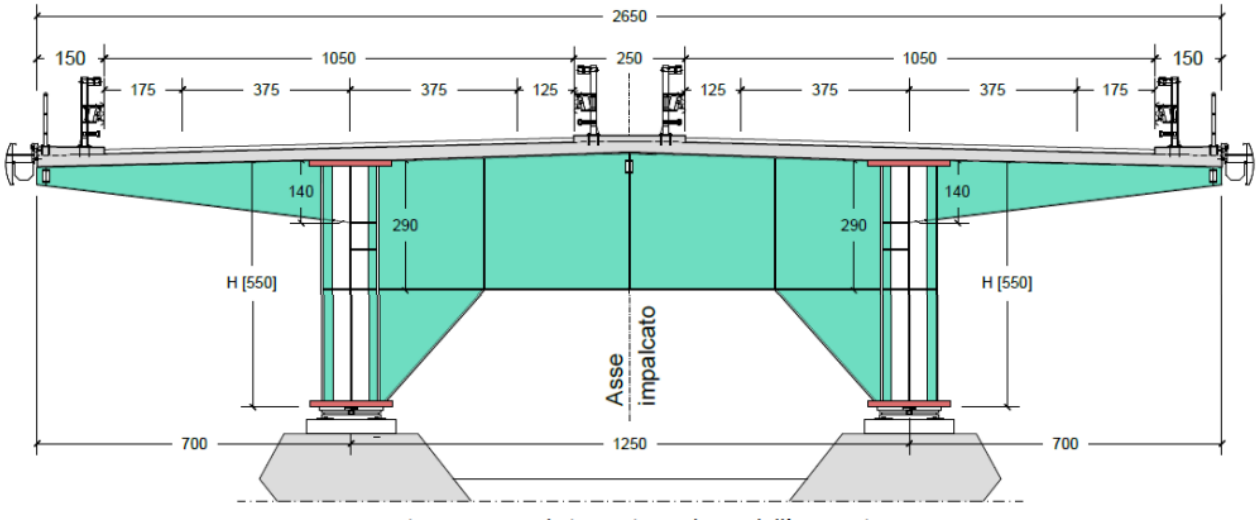


Sezione trasversale tipica in campata – soluzione multi-trave con profili a doppio T da lamiera saldata

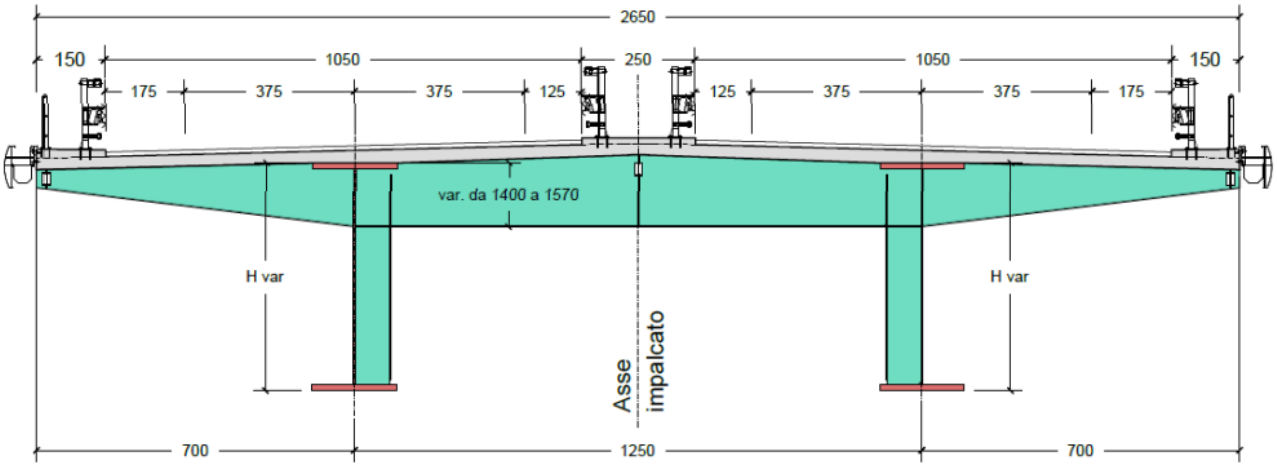
Con riferimento alla soluzione bi-trave, a livello di predimensionamento, l'altezza H delle travi metalliche varia generalmente fra L/22 e L/25 per lo schema isostatico e rimane intorno a L/28 per l'impalcato continuo. Per travi ad altezza variabile, Nei casi di impiego della piastra ortotropa si riesce facilmente a raggiungere anche L/25.

Questi impalcati sono dotati di traversi ad I o reticolari che conferiscono al graticcio un comportamento rigido trasversalmente (*Metodo alla Courbon*), di interasse di solito variabile da 5 a 8 m, normalmente non solidali con la soletta e saldati o imbullonati agli irrigidimenti verticali delle travi principali.

Con la soluzione di impalcato bi-trave si fa spesso ricorso a traversi ad anima piena che, per larghezze della piattaforma importanti (14÷20 m), vengono resi solidali con la soletta. In questo modo quest'ultima può essere ordita in senso longitudinale e, in alternativa, è possibile creare sistemi a lastra ortrotropa. In casi di larghezza maggiore della piattaforma stradale (18÷25 m), al fine di contenere l'interasse delle travi principali, si adottano soluzioni con traversi aggettanti e sbalzi pronunciati. In questo caso è possibile realizzare soluzioni anche molto leggere con interassi dei traversi di circa 4 m e spessore della soletta di 22÷25 cm.



Sezione trasversale tipica in appoggio – soluzione bi-trave con profili a doppio T da lamiera saldata

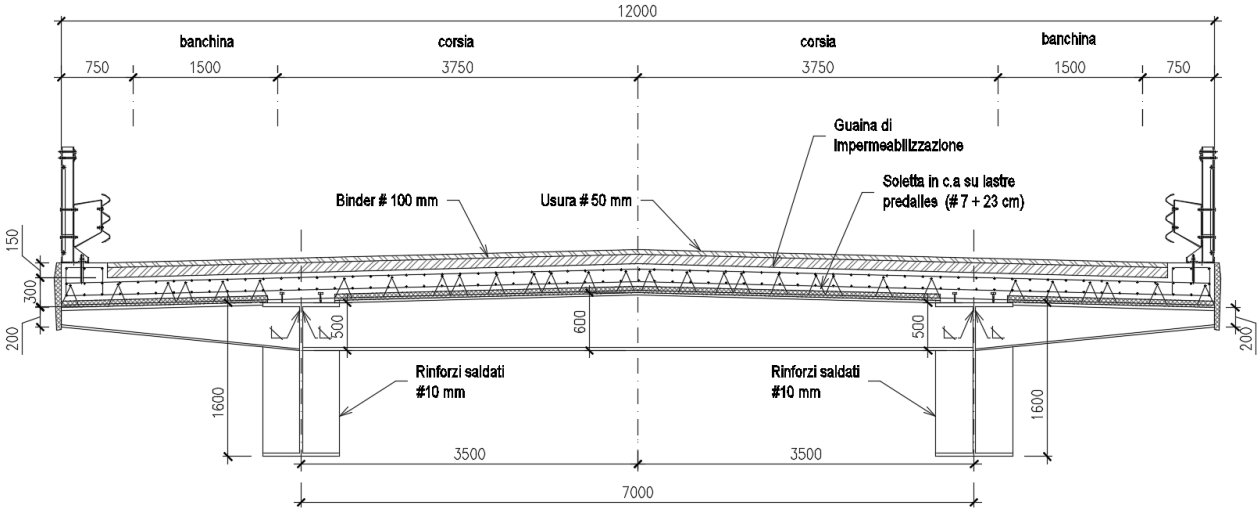


Sezione trasversale tipica in campata – soluzione bi-trave con profili a doppio T da lamiera saldata

Esempio soluzione bi-trave con profili a doppio T da lamiera saldata

Per luci superiori a 80 m potrebbe essere necessario utilizzare travi ad altezza variabile per ottimizzare il peso, ma è necessario ricordare che le travi ad altezza variabile sono maggiormente onerose da realizzare. Una soluzione alternativa potrebbe essere quella di mantenere l'altezza costante delle travi, riducendo in campata lo spessore delle piattabande.

Di seguito si presenta una tipica sezione di impalcato in acciaio bi-trave con profili saldati. I valori fanno riferimento ad un sistema iperstatico multi-campata con campate da 25 m ciascuna.



Sezione tipica – soluzione bi-trave con profili a doppio T da lamiera saldata

Vengono inoltre presentati valori ricorrenti sulle incidenze per impalcati bi-trave con profili a doppio T in lamiera composta saldata in qualità di acciaio S355 al variare dello schema statico (come nel caso precedente, si ipotizza soletta in c.a. spessore 30 cm, calcestruzzo C30/37):

<u>Campata 25 x 12 m – schema isostatico</u>: 210 kg/m^2

<u>Campata 35 x 12 m – schema isostatico</u>: 260 kg/m^2

<u>Multi-campata 125 x 12 m – campate continue da 25 m</u>: 210 kg/m^2

IMPALCATI A CASSONE

La sezione a cassone è generalmente conveniente per larghezze contenute (<5 m) e costituisce un'ottima soluzione strutturale sia quando è richiesta un'elevata rigidezza torsionale (*Meccanismo alla Bredt)*, come per gli impalcati in curva, sia quando si vuole ridurre l'altezza di impalcato ed ottenere un risultato estetico gradevole.

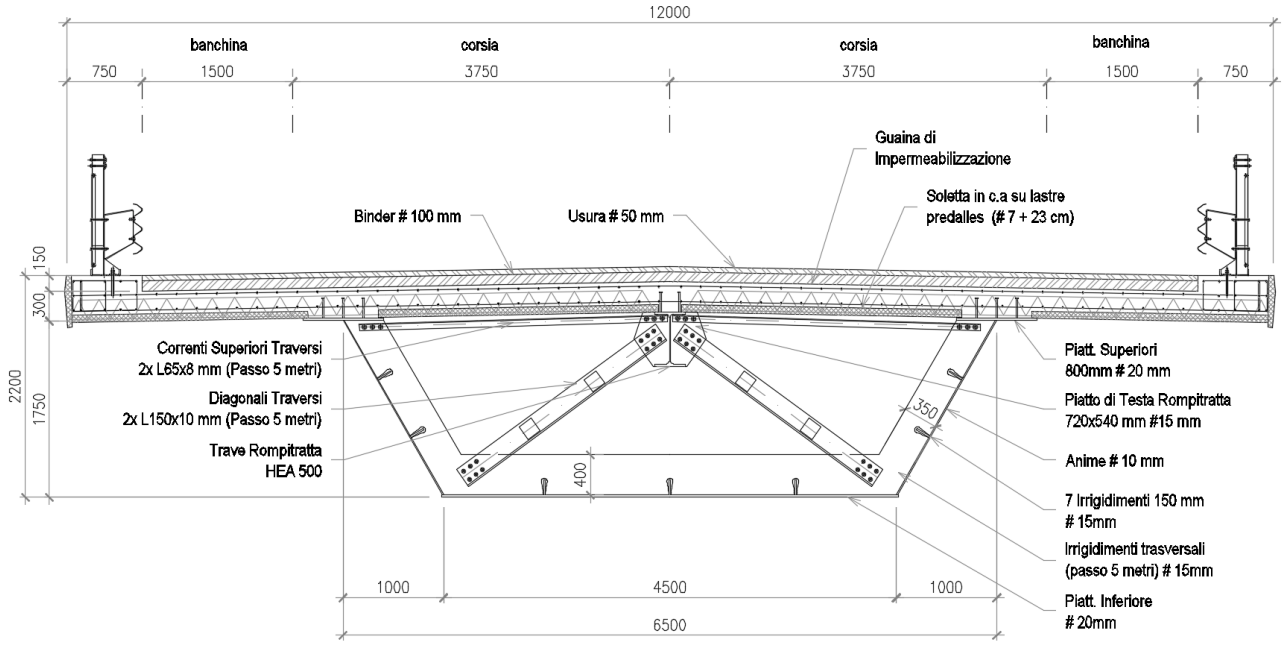
Esempio di soluzione a cassone

Di norma per i ponti a travata le sezioni a cassone possono essere utilizzate per coprire luci fino a 100÷150 m.

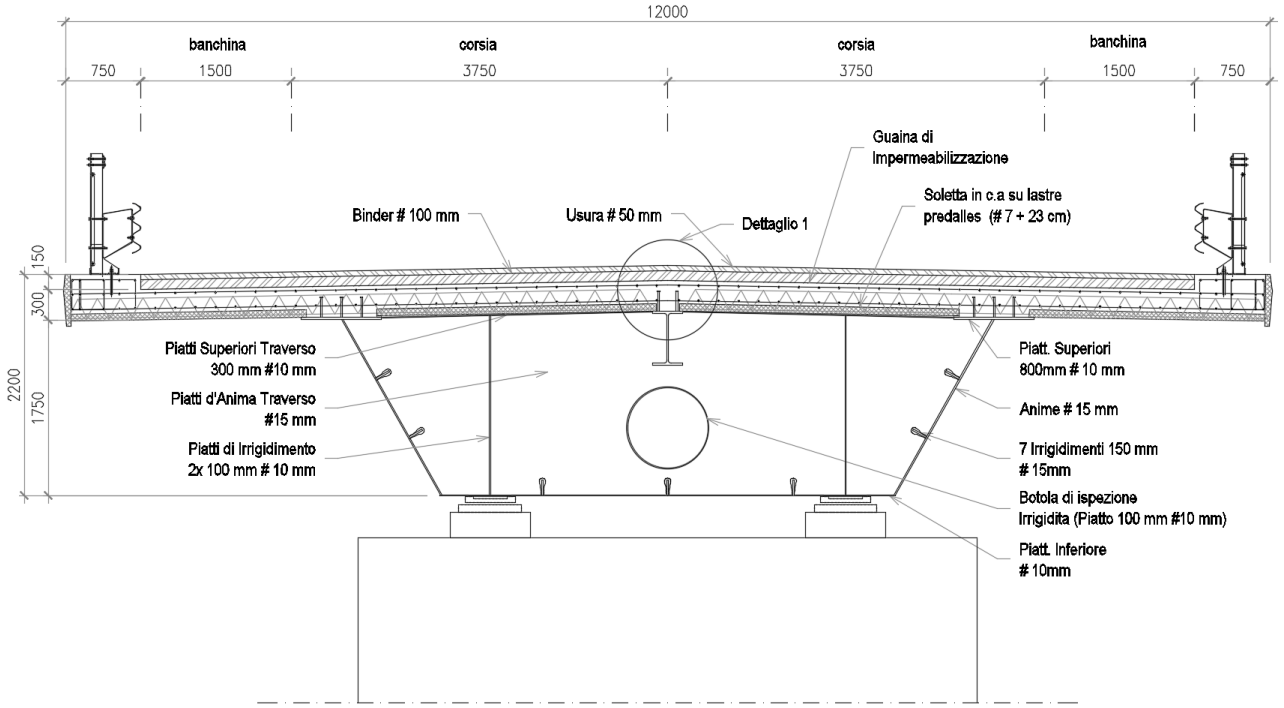
L'altezza della sezione, a livello di predimensionamento, viene di solito calcolata con la seguente espressione:

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{36}\left(\frac{B}{12}\right)^{0,7}$$

Pertanto per piattaforme stradali di circa 12 m si adotta come altezza h un valore prossimo a L/36.



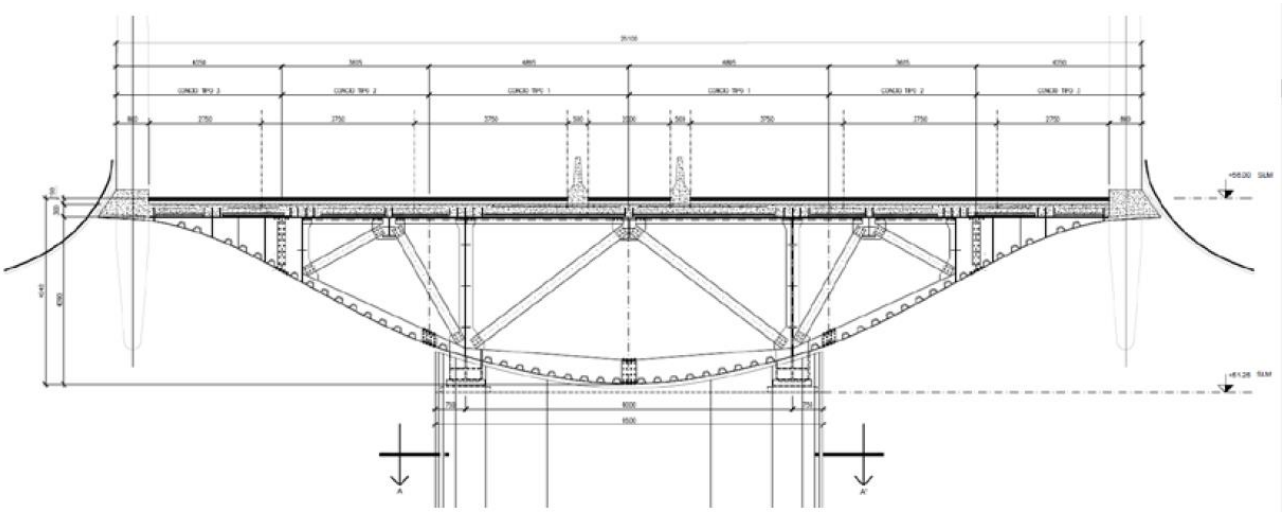
Sezione tipica in campata – soluzione a cassone



Sezione tipica in appoggio – soluzione a cassone

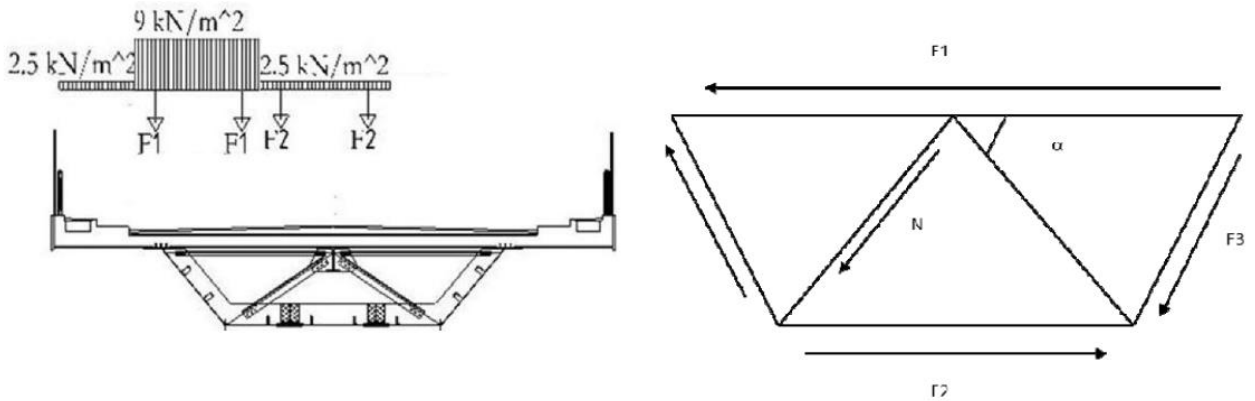
Il cassone a trapezio ha il vantaggio rispetto a quello rettangolare di ridurre la lunghezza degli sbalzi della soletta, di contenere la larghezza inferiore e, conseguentemente, la larghezza delle pile.

Nel caso di impalcati molto larghi la soluzione a cassone monocellulare può essere ancora utilizzata ricorrendo a traversi aggettanti solidali alla soletta, mentre una soluzione alternativa è costituita da travi reticolari inclinate o di semplici puntoni o mensole collegati al fondo del cassone.



Soluzione a cassone con mensole laterali

I diaframmi intermedi sono predimensionati per assorbire la variazione di momento torcente provocata dai carichi applicati tra un diaframma ed il successivo. Il diaframma reticolare si oppone alla perdita di forma della sezione reagendo con lo schema di forze riportato in seguito:

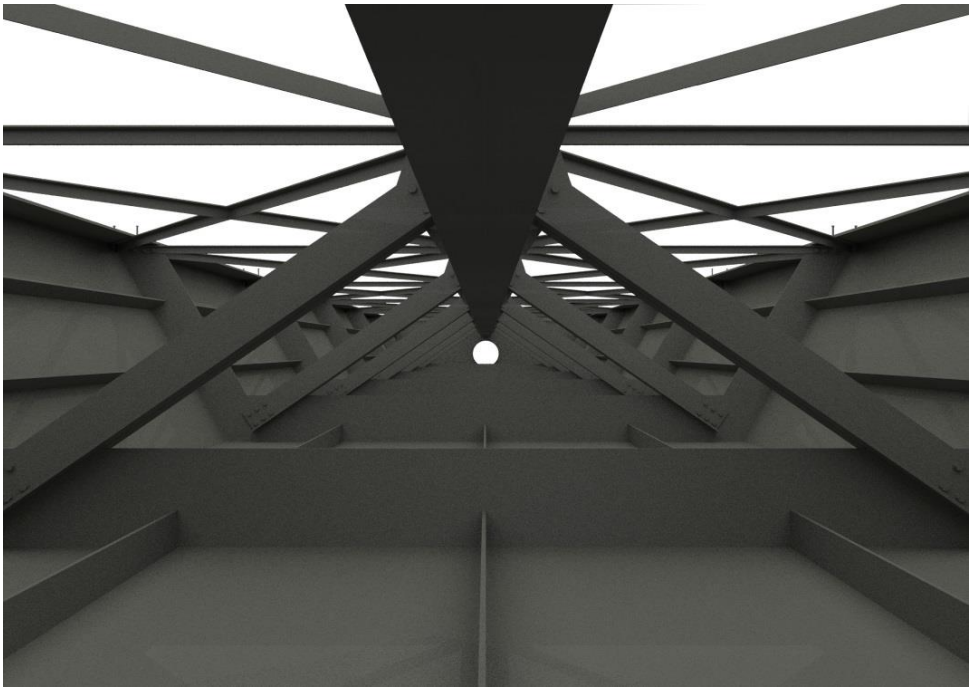


Schema di forze impalcato torso-rigido

I diaframmi intermedi sono generalmente costituiti da reticolari composte da profili laminati imbullonati agli irrigidimenti delle anime ed alle piattabande.

In corrispondenza degli appoggi i diaframmi svolgono anche la funzione di irrigidimenti dei cassoni nei confronti delle azioni verticali concentrate. Spesso i diaframmi di appoggio sono composti da pareti piene in lamiera.

La trave rompitratta è introdotta per fornire appoggio intermedio alla soletta e viene predimensionata come una trave continua su più appoggi soggetta alle reazioni trasmesse dalla soletta.



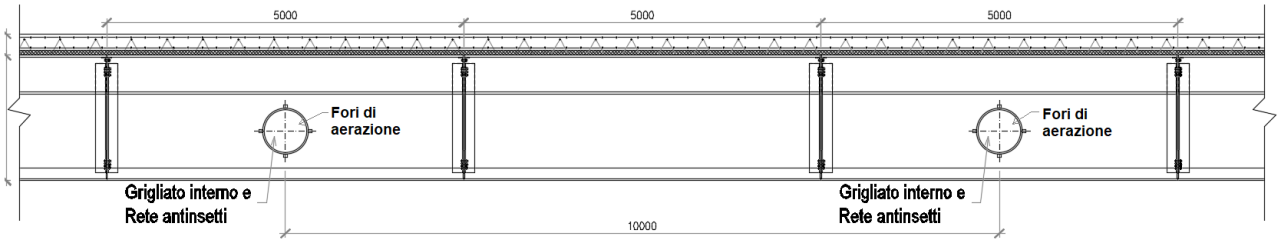
Vista interna modello 3D sezione a cassone

I controventi superiori dell'impalcato sono dimensionati per sostenere la spinta del vento sull'impalcato in fase di varo e di getto delle solette, trasmettendoli ai diaframmi di appoggio. In fase di esercizio la funzione dei controventi superiori è sostituita dalla molto più rigida soletta in c.a..

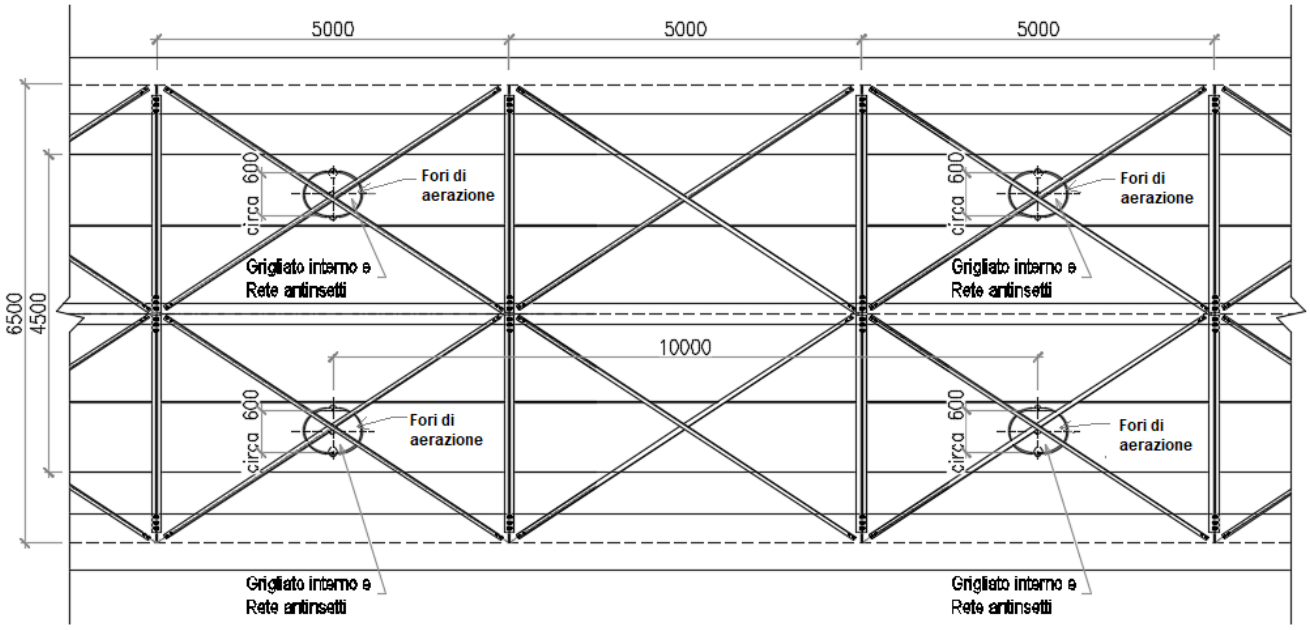
Ponte a casone durante il varo

Il fondo del cassone può essere completamente chiuso da una lamiera, irrigidite longitudinalmente fuori dal piano per assorbire le sollecitazioni di compressione nelle vicinanze dell'appoggio, oppure a fondo reticolare.

Nel primo caso è di fondamentale importanza prevedere dei fori di ventilazione per evitare i ristagni di umidità. Di seguito si riportano due dettagli dei fori:



Dettaglio in sezione longitudinale del foro di aerazione



Vista in pianta dei fori di aerazione

La soluzione a cassone con fondo reticolare (aperto) non presenta problemi di ristagno per condensa, con conseguenti riduzioni degli interventi di manutenzione, consente un'adeguata ventilazione naturale anche in occasione di eventuali interventi di manutenzione, quali ripristini di verniciatura e/o riparazioni di saldature e fornisce un'adeguata illuminazione naturale.

Vengono di seguito presentati valori ricorrenti sulle incidenze per impalcati a cassone in qualità di acciaio S355 al variare dello schema statico (come nei casi precedenti, si ipotizza soletta in c.a. spessore 30 cm, calcestruzzo C30/37):

<u>Campata 35 x 12 m – schema isostatico</u>: 160 kg/m^2

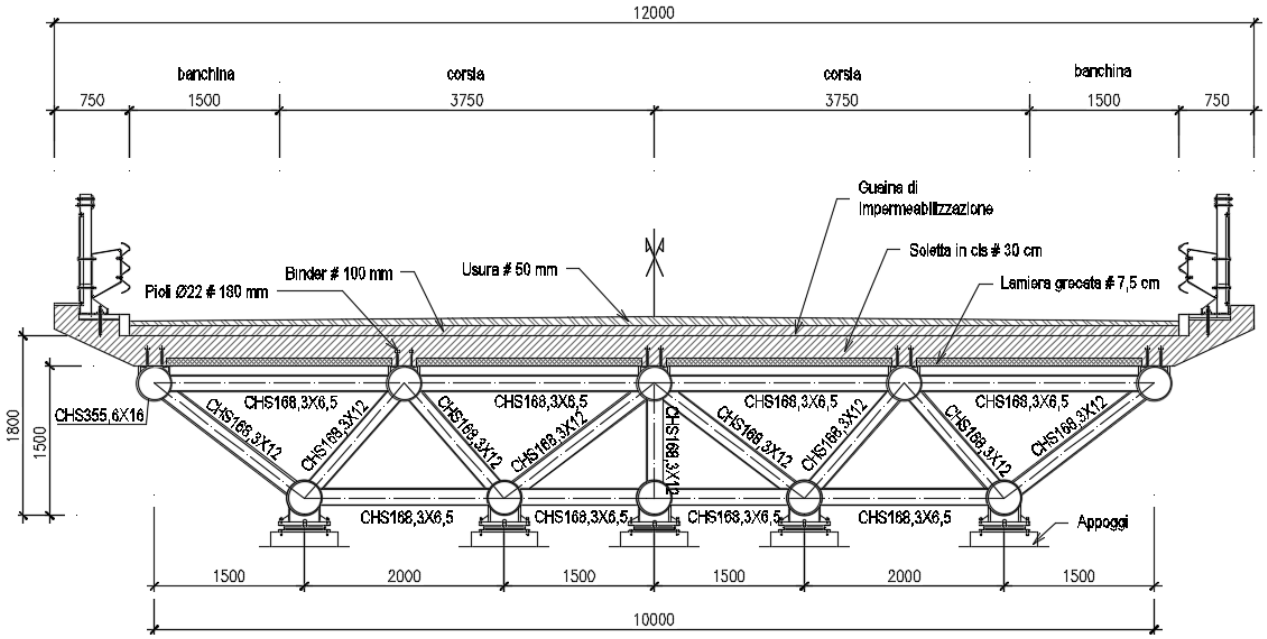
<u>Multi-campata 125 x 12 m – campate continue da 25 m</u>: 150 kg/m^2

IMPALCATI RETICOLARI

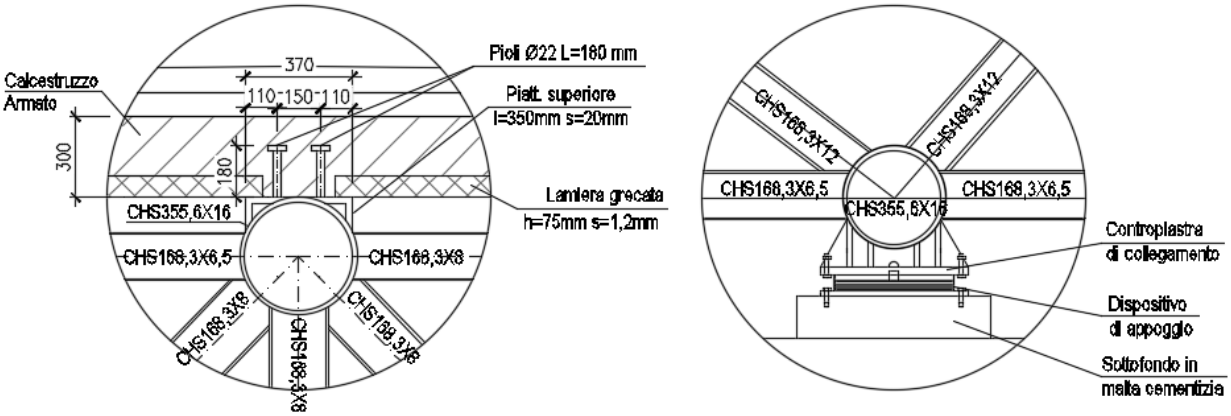
Un'altra soluzione per gli impalcati in carpenteria metallica è il ricorso allo schema reticolare. Questa tipologia apre ad innumerevoli possibilità date dalle diverse geometrie dei profili in acciaio disponibili sul mercato e consente un netto risparmio di materiale ma necessita di maggiore cura nella realizzaizone dei collegamenti fra le memtrature.

Esempio di ponte a travata reticolare continua su più appoggi

Grazie a questa soluzione è inoltre possibile ottenere soluzioni esteticamente molto gradevoli, soprattutto nel caso dell'impiego di profili tubolari.

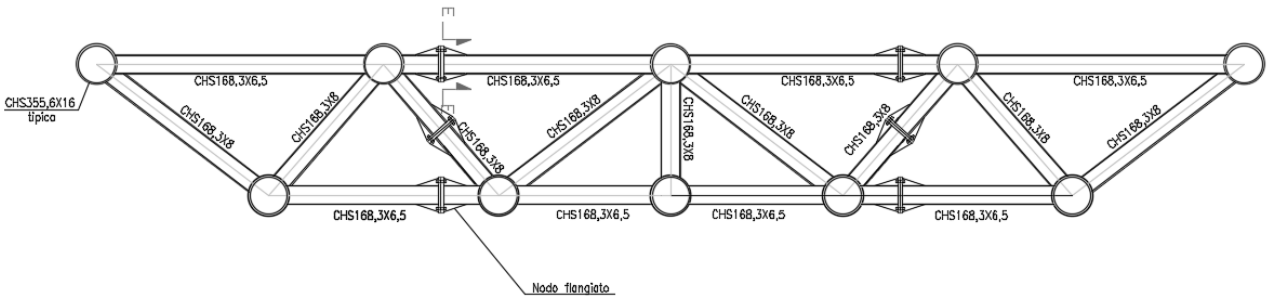


Sezione tipica soluzione reticolare con profili cavi circolari



Possibili dettagli di collegamento con la soletta (a sinistra) e in appoggio (a destra)

Il collegamento delle membrature avviene tipicamente mediante saldatura. Al fine di ottimizzare i trasporti e la predisposizione alla zincatura a caldo, a vantaggio di una maggiore durabilità, è possibile prevedere connessioni bullonate.



Esempio suddivisione traverso bullonato

Di seguito si riportano valori ricorrenti sulle incidenze per impalcati reticolari con profili cavi circolari al variare della luce, delle qualità di acciaio e dello schema statico (come per i casi precedenti, si ipotizza soletta in c.a. spessore 30 cm, calcestruzzo C30/37):

Campata 25 x 12 m – schema isostatico

Tipologia reticolare con membrature saldate
- Qualità acciaio S460NH: 102 kg/m^2
- Qualità acciaio S355NH: 141 kg/m^2

Tipologia reticolare con membrature imbullonate
- Qualità acciaio S460NH: 113 kg/m^2
- Qualità acciaio S355NH: 155 kg/m^2

Campata 35 x 12 m – schema isostatico

Tipologia reticolare con membrature saldate
- Qualità acciaio S460NH: 138 kg/m^2
- Qualità acciaio S355NH: 158 kg/m^2

Tipologia reticolare con membrature imbullonate
- Qualità acciaio S460NH: 152 kg/m^2
- Qualità acciaio S355NH: 174 kg/m^2

Multi-campata 125 x 12 m – campate continue da 25 m

Tipologia reticolare con membrature saldate
- Qualità acciaio S460NH: 100 kg/m^2
- Qualità acciaio S355NH: 130 kg/m^2

Tipologia reticolare con membrature imbullonate
- Qualità acciaio S460NH: 107 kg/m^2
- Qualità acciaio S355NH: 141 kg/m^2

Contenuti a cura di Fondazione Promozione Acciaio. Riproduzione riservata.
Materiale tratto dal Quaderno Tecnico: Norme Tecniche ANAS, Manutenzione dei ponti in acciaio e sostituzione di impalcati esistenti in c.a.p. con nuovi manufatti in carpenteria metallica.
(pubblicazione settembre 2019).

Si ringrazia Milan Ingegneria srl e ArcelorMittal SA per il materiale tecnico fornito.
Immagini: ArcelorMittal SA, Milan Ingegneria srl, Tenaris Dalmine spa, Castaldo spa, Giugliano Costruzioni Metalliche srl.
Ultimo aggiornamento: novembre 2021