PROVINCIA DI CHIETI

PROGETTO DEFINITIVO

ADEGUAMENTO DELLE S.S. 81–84
TRATTO GUARDIAGRELE–EST
INNESTO S.S. 652 "VAL DI SANGRO"

LOTTO I

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Fabrizio Besozzi
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 15126

Prof. Dott. Ing. Marco Petrangeli
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 18744

Dott. Ing. Giovanni Zallocco
Iscritto Albo Ingegneri Provincia di Roma n° 5745

COORDINAMENTO ATTIVITA' IN LOCO:

Dott. Arch. Mariano Strizzi
Iscritto Albo Architetti Provincia di Chieti n° 97

PROGETTAZIONE: *A.T.I.*

mandataria

SILEC S.p.A.
Divisione Progettazione e Studi

SELPRO

mandanti

ERREGI
SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA

TECNOPROJECT

EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
0	SETTEMBRE'03	EMISSIONE	M.AGOGLIARO	C.ANDREOCCI	M.PETRANGELI

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Viadotti

IMPALCATO IN ACC–CLS – Viadotto Laio

Relazione tecnica e di predimensionamento

SCALA : –

CODICE IDENTIFICATIVO :

FASE/LOTTO	DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
D 1	R T	V I 0 0	0 0 1	A

INDICE

1. PREMESSA 5

2. NORMATIVE 5

3. MATERIALI IMPIEGATI 6

3.1. CARATTERISTICHE 6
3.2. TENSIONI DI CALCOLO 6

4. CARATTERISTICHE STRUTTURALI DELL'IMPALCATO 7

4.1. CARATTERISTICHE MECCANICHE IMPALCATO 11

5. MODELLO 13

6. ANALISI DEI PESI PROPRI STRUTTURALI E DEI SOVRACCARICHI PERMANENTI 13

6.1. PESI PROPRI STRUTTURALI 13
6.2. SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI 13

7. ANALISI DEI SOVRACCARICHI DI ESERCIZIO 14

7.1. CARICHI MOBILI (Q_1) 14
7.2. AZIONE DEL VENTO (Q_5) 14
Vento a ponte scarico 14
Vento a ponte carico 14
7.3. AZIONI SISMICHE (Q_6) 15
7.4. RITIRO (ε_2) 15
7.5. TERMICA (ε_3) 15
7.6. SCORRIMENTI VISCOSI (ε_4) 16

8. ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI 17

8.1. PREMESSA 17
8.2. DESCRIZIONE DEL MODELLO AGLI E.F. 17
8.2.1. La tipologia di elementi finiti utilizzati 18
8.3. DEFINIZIONE DEI VINCOLI NEL MODELLO DI CALCOLO 20
8.4. ANALISI EFFETTUATE 22
8.4.1. Descrizione dell'input per le analisi matematiche 22
8.4.2. Descrizione dell'output delle analisi agli Elementi Finiti 24

9. ANALISI SISMICA 25

9.1. SPETTRO DI RISPOSTA PER S.L.U. 25
9.2. SPETTRO DI RISPOSTA PER S.L.E. 26
9.3. RISULTATI DELL'ANALISI MODALE 27

10. RIPARTIZIONE TRASVERSALE 28

10.1. COEFFICIENTI DI RIPARTIZIONE 28
10.2. CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI 29

11. VERIFICHE TENSIONALI DELLE TRAVI PRINCIPALI 30

11.1. VERIFICA DELLE SEZIONI MISTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO 30
11.1.1. 1 - Campata da 30m - concio 3 32
11.1.2. 2 - Campata da 30m - concio 2 35
11.1.3. 3 - Campata da 40m - concio 1 (Appoggio) 37
11.1.4. 4 - Campata da 40m - concio 2 40

11.1.5. 5 - Campata da 50m - concio 1 (Appoggio) *42*
11.1.6. 6 - Campata da 50m - concio 2 ..... *45*
11.1.7. 7 - Campata da 70m - concio 1 (Appoggio) *47*
11.1.8. 8 - Campata da 70m - concio 2 ..... *50*
11.1.9. 9 - Campata da 70m - concio 3 ..... *52*
11.2. VERIFICA ALL'IMBOZZAMENTO DELL'ANIMA DELLE TRAVI 54
11.2.1. Campata da 40m - concio 2 ..... *56*
Campata da 50m - concio 1 ..... *57*
Campata da 70m - concio 1 ..... *57*
11.3. VERIFICA DEGLI IRRIGIDIMENTI 58
11.3.1. Irrigidimenti trasversali *58*
11.3.2. Irrigidimenti longitudinali *60*

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1- Sezione trasversale tipo impalcato 30m (Campata) 7
Figura 2- Sezione trasversale tipo impalcato 40m (Appoggio) 8
Figura 3- Sezione trasversale tipo impalcato 40m (Campata) 8
Figura 4- Sezione trasversale tipo impalcato 50m (Appoggio) 9
Figura 5- Sezione trasversale tipo impalcato 50m (Campata) 9
Figura 6-Sezione trasversale tipo impalcato 70m (Appoggio) 10
Figura 7- Sezione trasversale tipo impalcato 70m (Campata) 10
Figura 8- La mesh agli Elementi Finiti 18

1. Premessa

Nella presente relazione vengono riportati i calcoli e le verifiche relativi agli elementi strutturali dell'impalcato del viadotto Laio, della Transcollinare Piceno-Aprutina.
L'opera è realizzata con un impalcato misto acciaio-calcestruzzo di tredici campate aventi luce rispettivamente di 30m la prima e l'ultima, 40m la seconda e la terza, 50m tutte le altre ad eccezione delle due centrali (quinta e sesta) di scavalco dell'alveo che hanno luce di 70m.
L'impalcato è realizzato in conci solidarizzati in opera. La soletta viene gettata in opera con l'ausilio di predalle aventi la funzione di casseforme a perdere.

2. Normative

I calcoli sono stati eseguiti nel rispetto della seguente normativa italiana vigente:

- Legge 5-1-1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica"
- DM 4 Maggio 1990: "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e il collaudo dei ponti stradali
- D.M. 14-2-1992 riguardante le: "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. ed in c.a.p. e per le strutture metalliche", per quanto riguarda il metodo delle tensioni ammissibili
- D.M. del 9-1-1996 riguardante: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- D.M. del 16-1-1996 riguardante: "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- Circolare del 4-7-1996 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M del 16-1-1996
- Circolare del 15-10-1996 contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. del 9-1-1996
- Ordinanza n. 3274 del 8-5-2003 riguardante: "Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti"
- CNR 10011/85 "Costruzioni in Acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione"
- CNR 10016/85 " Travi composte di acciaio e calcestruzzo: istruzioni per l'impiego nelle costruzioni"
- CNR 10024/86 "Anime irrigidite di travi a parete piena"
- CNR 10030/87 "Costruzioni in Acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione"
- Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si inoltre fatto riferimento alla normativa Europea per le strutture in acciaio e misto come di seguito specificato:
- UNI ENV 1993-1-1: Eurocodice 3 – Progettazione Strutture in Acciaio
- UNI ENV 19943-1-1: Eurocodice 4 – Progettazione Strutture Miste Acciaio-Calcestruzzo
- UNI ENV 1998-2: Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Ponti

3. Materiali impiegati

3.1. Caratteristiche

- Acciaio tipo S355J2G3 – K2G3 (EN 10025) per elementi saldati
- Acciaio tipo S355J0 (EN 10025) per elementi non saldati
- Pioli di collegamento tipo "Nelson"
- Bulloni A.R. per giunzioni
  - viti: 10.9 (UNI 5712)
  - dadi: 10 (UNI 5713)
  - rosette acciaio C 50 (UNI 5714)
- Acciaio in barre ad aderenza migliorata tipo FeB 44K controllato in stabilimento
- Calcestruzzo per la soletta tipo Rck 40MPa.

3.2. Tensioni di calcolo

- Calcestruzzo tipo Rck 40MPa

  f_{ck} = 33.2 N/mm^2
  f_{cd} = 20.75 N/mm^2
  $\sigma_{c,esercizio}$ = 19.92 N/mm^2 Stato limite
  $\sigma_{c,amm}$ = 12.2 N/mm^2

- Acciaio tipo S355 (EN 10025)

  f_u = 510 N/mm^2
  f_d = 355 N/mm^2
  f_{yd} = 317 N/mm^2
  σ_{amm} = 240 N/mm^2
  τ_{amm} = 139 N/mm^2

- Acciaio in barre FeB 44k

  f_{yk} = 430 N/mm^2
  f_{tk} = 540 N/mm^2
  $\sigma_{a,esercizio}$ = 301 N/mm^2 Stato limite
  σ_{amm} = 255 N/mm^2

- Bulloni A.R. classe 10.9

  f_t = 1000 N/mm^2 Stato limite
  f_y = 900 N/mm^2 Stato limite
  $f_{k,N}$ = 700 N/mm^2 Stato limite
  $f_{d,N}$ = 700 N/mm^2 Stato limite
  $f_{d,V}$ = 495 N/mm^2 Stato limite
  $\sigma_{b,amm}$ = 467 N/mm^2
  $\tau_{b,amm}$ = 330 N/mm^2

4. Caratteristiche strutturali dell'impalcato

Per l'impalcato è stata adottata una tipologia in acciaio calcestruzzo a tre travi con la soletta in c.a.. Le travi sono poste a 4.5m di interasse. Il collegamento tra le travi è costituito da traversi in acciaio disposti ad un interasse massimo di 6m.

Sono previste le seguenti tipologie di conci, in funzione della luce di ciascuna campata:

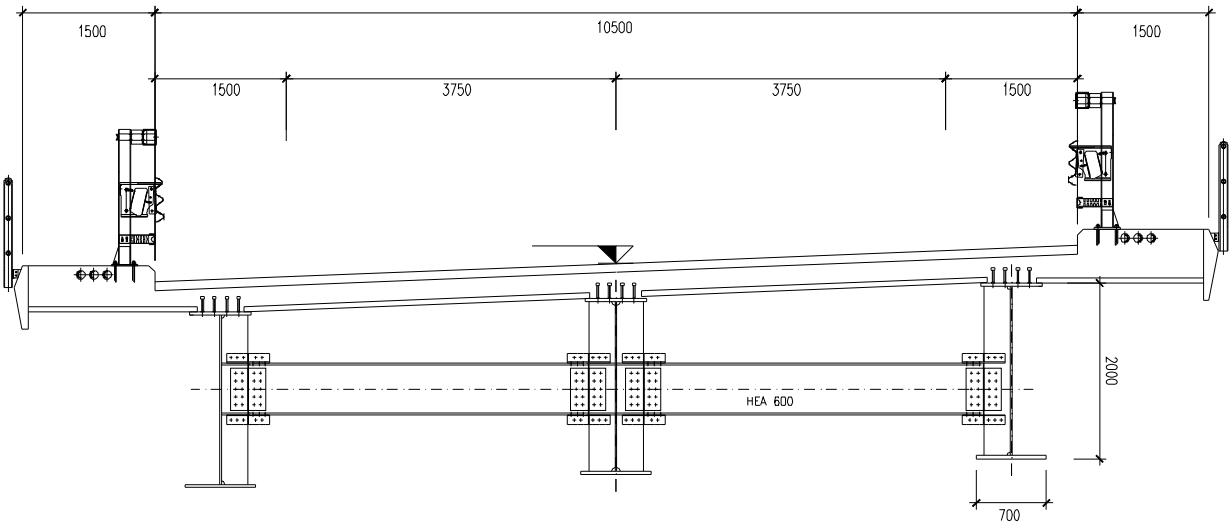


Figura 1- Sezione trasversale tipo impalcato 30m (Campata)

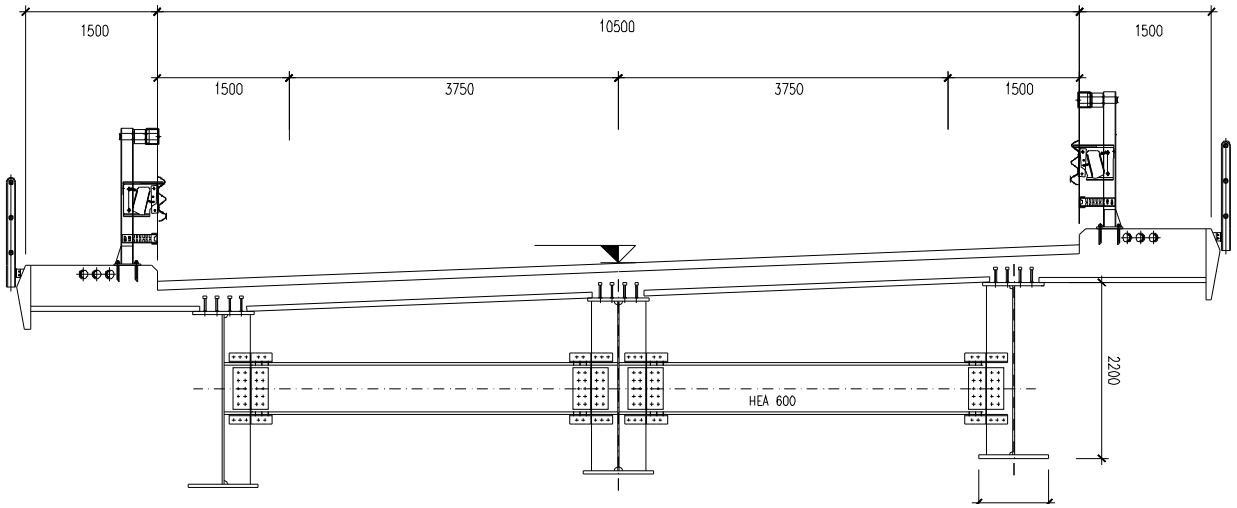


Figura 2- Sezione trasversale tipo impalcato 40m (Appoggio)

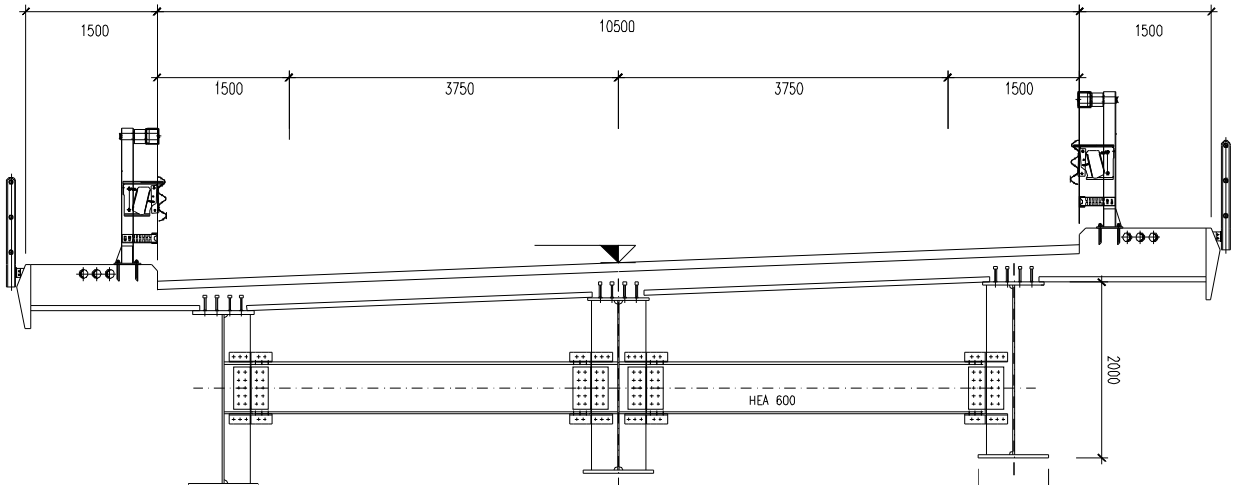


Figura 3- Sezione trasversale tipo impalcato 40m (Campata)

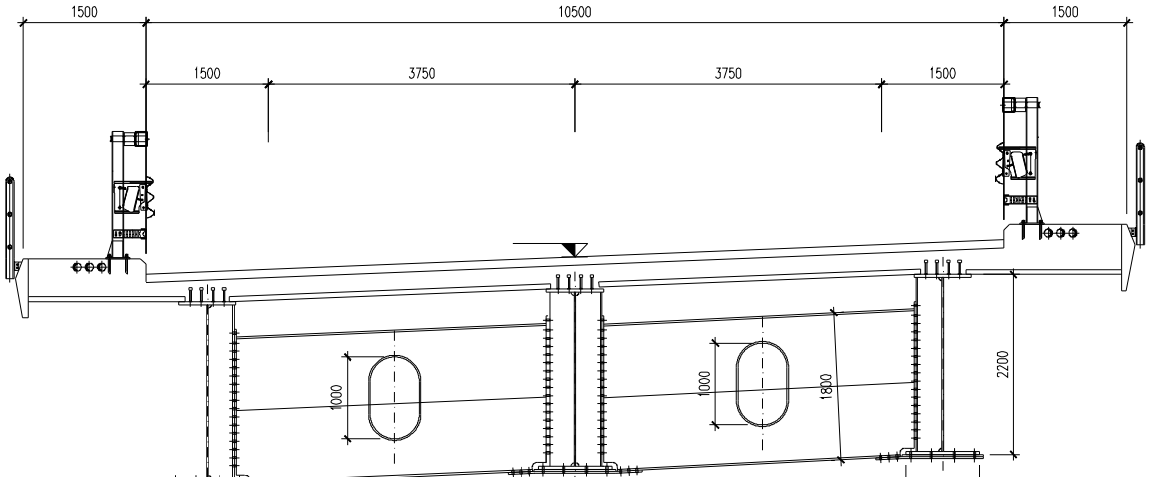


Figura 4- Sezione trasversale tipo impalcato 50m (Appoggio)

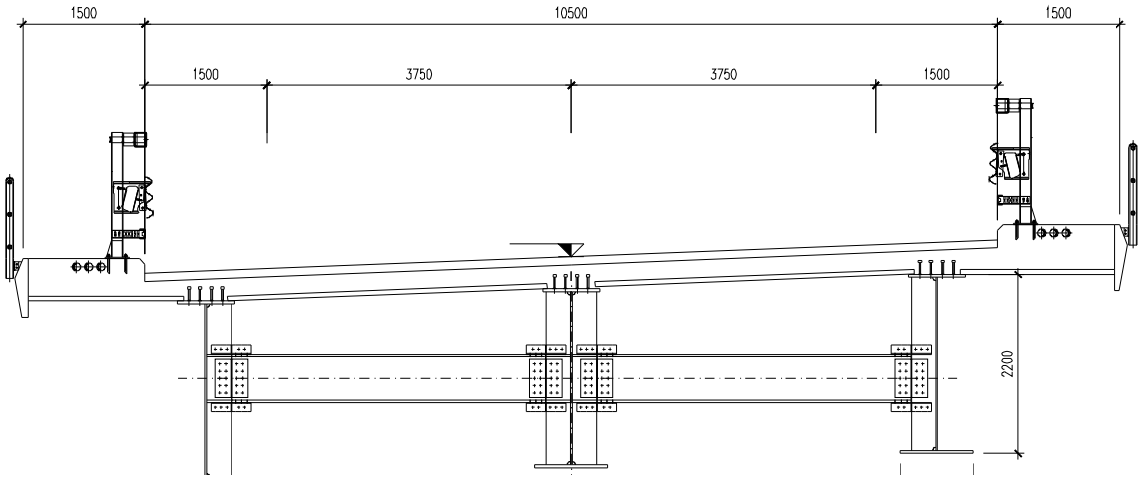


Figura 5- Sezione trasversale tipo impalcato 50m (Campata)

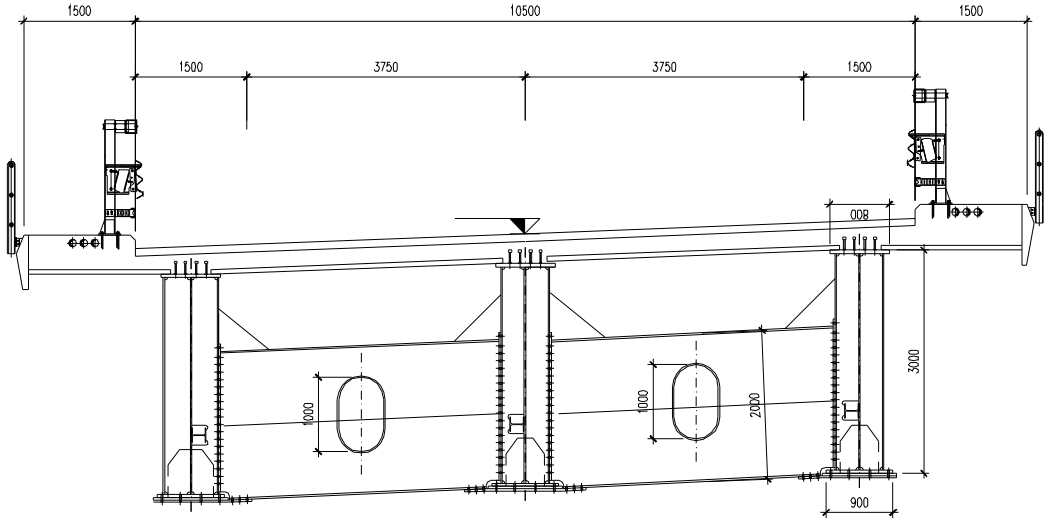


Figura 6-Sezione trasversale tipo impalcato 70m (Appoggio)

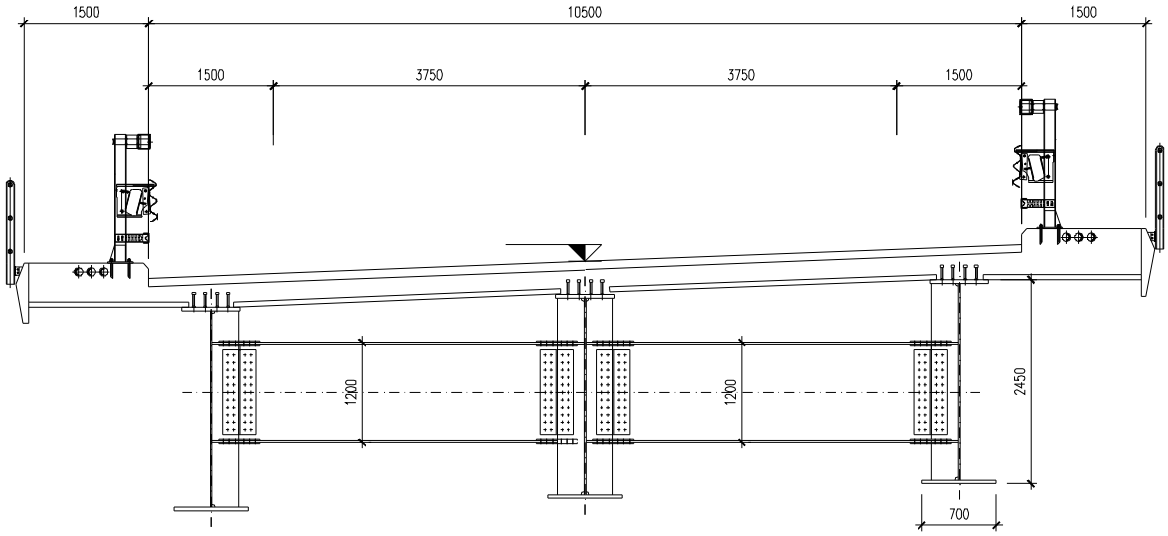
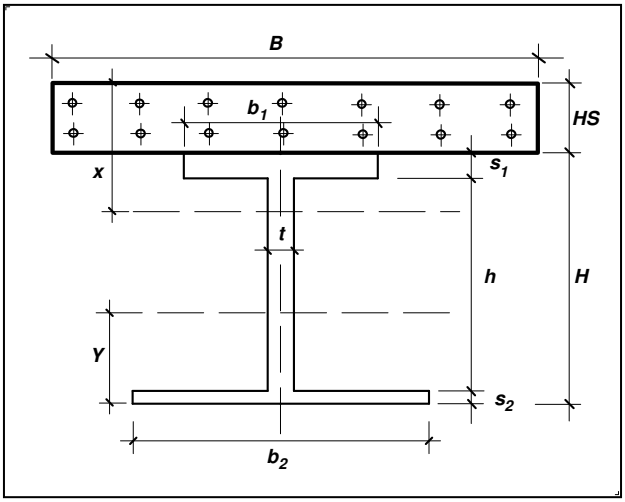


Figura 7- Sezione trasversale tipo impalcato 70m (Campata)

4.1. Caratteristiche meccaniche impalcato

Nel dimensionamento degli elementi si è scelto di mantenere costanti gli spessori delle anime e delle piattabande nell'ambito di un medesimo concio facendo variare invece gli stessi da un concio all'altro. Qui di seguito sono riportate le dimensioni degli elementi costituenti le sezioni tipo delle travi metalliche longitudinali, prese singolarmente, e le corrispondenti caratteristiche meccaniche.



CAMPATA TIPO 30 M

		lunghezza	spessore	larghezza
CONCIO 2				
	Ala Sup.	11.000	0.020	0.600
	Anima	11.000	0.018	1.950
	Ala Inf	11.000	0.030	0.700
CONCIO 3				
	Ala Sup.	10.000	0.020	0.600
	Anima	10.000	0.018	1.960
	Ala Inf	10.000	0.020	0.700

CAMPATA TIPO 40 M

		lunghezza	spessore	larghezza
1/2 CONCIO 1				
Testa Pila	Ala Sup.	9.000	0.025	0.600
	Anima	9.000	0.022	1.945
	Ala Inf	9.000	0.030	0.700
	Impiattamento	3.000	0.025	0.800
CONCIO 2				
	Ala Sup.	11.000	0.025	0.600
	Anima	11.000	0.020	1.945
	Ala Inf	11.000	0.030	0.700

CAMPATA TIPO 50 M

		lunghezza	spessore	larghezza
1/2 CONCIO 1				
Testa Pila	Ala Sup.	9.000	0.040	0.700
	Anima	9.000	0.022	2.130
	Ala Inf	9.000	0.030	0.900
	Impiattamento	3.000	0.025	1.000
CONCIO 2				
	Ala Sup.	16.000	0.025	0.600
	Anima	16.000	0.020	2.155
	Ala Inf	16.000	0.020	0.700

CAMPATA TIPO 70 M

		lunghezza	spessore	larghezza
1/2 CONCIO 1				
Testa Pila	Ala Sup.	9.000	0.045	0.800
	Anima	9.000	0.024	2.905
	Ala Inf	9.000	0.050	0.900
	Impiattamento	3.000	0.035	1.000
CONCIO 2				
	Ala Sup.	17.000	0.025	0.600
	Anima	17.000	0.022	2.395
	Ala Inf	17.000	0.030	0.700
CONCIO 3				
	Ala Sup.	18.000	0.025	0.600
	Anima	18.000	0.020	2.395
	Ala Inf	18.000	0.030	0.700

Tutti i trasversi sono realizzati con profili saldati, utilizzando dove possibile profili commerciali tipo HEA600.

5. Modello

È stato scelto un modello monofilare, in cui la struttura reale, composta da tre travi di acciaio, è schematizzata con un'unica trave equivalente, il cui asse coincide con l'asse dell'impalcato reale. Per fare ciò, la trave del modello ha caratteristiche meccaniche pari a quelle della trave reale. Per quanto riguarda l'inerzia torsionale, questa è stata ricavata, solo per fini computazionali, considerando esclusivamente un comportamento alla Bredt.
Poiché le sollecitazioni vengono ricavate per il modello monofilare, sarà necessario effettuare un'operazione di ripartizione trasversale, per conoscere le reali sollecitazioni agenti su ogni trave dell'impalcato. Tale analisi trasversale è riportata, utilizzando il metodo di Courbon, nel CAPITOLO 8.

6. Analisi dei pesi propri strutturali e dei sovraccarichi permanenti

6.1. Pesi propri strutturali

Avendo utilizzato una procedura agli elementi finiti (vedi CAPITOLO 8) per il calcolo delle sollecitazioni, delle deformazioni e dello stato tensionale, i pesi propri strutturali degli elementi in acciaio e delle pile sono stati valutati automaticamente e tenuti in conto per mezzo di tale procedura. Per tale scopo è stato necessario fornire nei dati di input le corrette dimensioni degli elementi strutturali e le relative densità di peso:

acciaio: $\gamma = 78.5$ kN/m^3
cls: $\gamma = 25$ kN/ m^3.

Per tener conto di trasversi, irrigidenti, piastrame vario e bulloni la densità dell'acciaio è stata incrementata di un fattore pari a 1.35.
Il peso della soletta, considerando anche le predalle, è pari a 13.5*(0.22+0.07)*25=97.9 kN/m.

6.2. Sovraccarichi permanenti portati

I carichi permanenti portati sono i pesi propri della pavimentazione, dei marciapiedi, delle velette di protezione e di finitura, dei sicurvia in acciaio, delle ringhiere e delle reti di protezione:

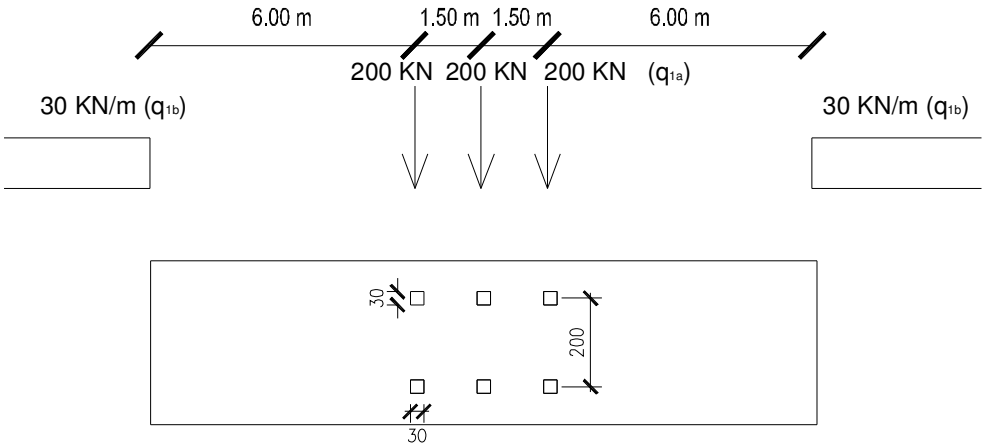
Elemento	Peso per unità di misura	Quantità	Peso per unità di lunghezza longitudinale dell'impalcato [kN/m]
Pavimentazione	2 kN/m^2	2 x 13.5 =	27.0
Marciapiede e Cordoli laterali	25 kN/m^3	2 x 1.50 x 0.30 x 25 =	7.0
Velette	25 kN/m^3	0.09 x 25 =	2.25
Barriere in acciaio	2 kN/m	2 x 2 =	4.0
Ringhiere e reti di protezione	1 kN/m	2 x 1 =	2.0

7. Analisi dei sovraccarichi di esercizio

7.1. Carichi mobili (q_1)

I carichi mobili stabiliti dalla normativa sui ponti stradali (Regolamento D.M. 4 maggio 1990 per ponti di 1ª categoria) sono costituiti da due tipologie, raffigurati nella figura seguente:

$q_{1,a}$ è il carico fornito da un mezzo convenzionale dal 600kN a tre assi
$q_{1,b}$ è un carico ripartito pari a 30kN/m



Ai fini del dimensionamento e della verifica della struttura dell'impalcato sono state considerate diverse condizioni di carico, prendendo in conto tre stese di carico di tipo $q_{1,a}$ + $q_{1,b}$ (con il fattore riduttivo di 0.5 per la seconda stesa e 0.35 per la terza stesa, tanto per il carico $q_{1,a}$ che per il $q_{1,b}$), che, a causa della schematizzazione unifilare sono stati considerati come un'unica stesa con un coefficiente amplificativo pari a 1.85.
É stata considerata la presenza della folla sui marciapiedi mediante un carico distribuito $q_{1,e}$=4kN/m.
Tutti i carichi mobili ($q_{1,a}$, $q_{1,b}$, e $q_{1,e}$) sono stati moltiplicati per il coefficiente di amplificazione dinamica ϕ=1.07.

7.2. Azione del vento (q_5)

É stato considerato l'effetto del vento trasversale pari a 2.5kN/m^2.

Vento a ponte scarico

Considerando un'altezza della barriera di 1.55m, si ottiene:

$$q_5=2.5x(1.55+0.10+0.28+2.45+1.55) = 14.825 \text{ KN/m}$$

Vento a ponte carico

Considerando un'altezza dei mezzi che percorrono il viadotto pari a 3m e un coefficiente riduttivo pari a 0.6, si ottiene:

$$q_5=2.5x(3+0.10+0.28+2.45)*0.6 = 8.745 \text{ KN/m}$$

7.3. Azioni sismiche (q_6)

Avendo utilizzato una procedura agli elementi finiti (vedi CAPITOLO 8), le azioni sismiche sono state valutate automaticamente e tenute in conto per mezzo di tale procedura.
Nel CAPITOLO 9 viene indicata la metodologia utilizzata per l'analisi sismica.

7.4. Ritiro (ε_2)

Si può calcoare forza sviluppata dalla soletta a causa del ritiro sia secondo la relazione

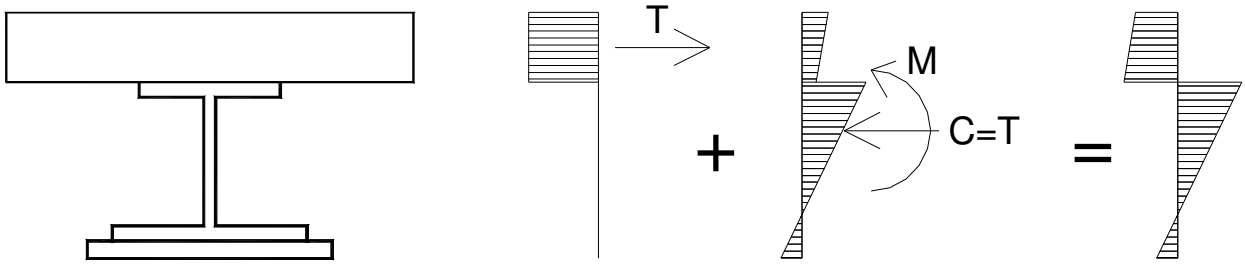
$$F_R = A_{soletta} * f_{ctm} = (220*13500)*2.5 = 7425000\ N = 7425\ KN$$

dove è stata considerata, in accordo con l'EC2, una resistenza media del calcestruzzo al momento dell'insorgere della fessurazione per ritiro pari a 25 kg/cm^2.
Questa forza è applicata al baricentro della soletta, e da' luogo ad un momento pari a

$$M_R = F_R * Y_G = 7425*0.70 = 5198\ kN\ m$$

dove Y_G è la distanza tra il baricentro della sezione omogenizzata ed il baricentro della soletta.

N.B.:In fase di verifica agli SLE si sono poi sommate le tensioni di compressione e trazione rispettivamente sulla soletta e sulla sezione omogeneizzata, come illustrato dalla figura seguente:



ossia mentre il valore M e C vengono assegnati alla trave nel programma di calcolo, la trazione T viene considerata in fase di verifica assorbita dalla sola soletta e la compressione C assorbita dalla trave omogenizzata, sommandone poi gli effetti.

7.5. Termica (ε_3)

È stata considerata una variazione termica differenziale tra estradosso soletta e intradosso travi pari a $\Delta T = 10°C$, che corrisponde ad un gradiente di:

$$\frac{\Delta T}{h} = \frac{10}{2.73} = 3.7°C/m$$

7.6. Scorrimenti viscosi (ε_4)

L'azione dello scorrimento viscoso della soletta in cls armato è stata introdotta considerando una riduzione pari a 1/3 del modulo di elasticità del calcestruzzo per i carichi di lunga durata.
Inoltre per il progetto-verifica degli apparecchi di appoggio e delle strutture di sostegno (spalle e pile) sono stati presi in conto:

- la frenatura (q_3) posto pari al 10% del peso della singola colonna di carico più pesante;
- l'attrito dei vincoli (q_7) posto pari al 5% dei carichi permanenti su ciascun vincolo mobile
- l'attrito differenziale sui vincoli fissi,
- una variazione uniforme di temperatura (ε_3) pari a $\Delta T° = \pm 30°C$.

Nell'effettuare la verifica agli stati limite ultimi, tutti i carichi, sia permanenti (portati e portanti) che accidentali, sono stati moltiplicati per un coefficiente di amplificazione pari a 1.5 eccetto l'effetto del vento in presenza di stese di carichi mobili (coeff. 0.9), gli effetti di una variazione termica uniforme (coeff. 1.2) e quelli dovuti all'azione sismica.

8. Analisi delle sollecitazioni

8.1. Premessa

Per l'analisi del cavalcavia in esame è stato realizzato un modello tridimensionale esteso all'intera struttura (impalcato + pile) utilizzando i vincoli esterni definiti nel paragrafo 8.3 ed elementi trave per pile ed impalcato ai quali sono stati svincolati i gradi di libertà corrispondenti agli spostamenti ammessi dagli appoggi.
Tale modello è stato realizzato ed analizzato con l'ausilio del programma SAP2000©, con successiva elaborazione dei dati di output mediante l'utilizzo del foglio elettronico EXCEL© della Microsoft.
La presente relazione è stata redatta per mezzo del programma WORD©, sempre della Microsoft.
Per semplicità di esposizione nominiamo le travi longitudinali come "trave SX", "trave CE" e "trave DX" a partire da sinistra verso destra, guardando le progressive crescenti. Allo stesso modo definiamo, di conseguenza, come "lato SX" il lato sinistro del ponte (interno della curva) e come "lato DX" quello destro (esterno della curva), sempre guardando le progressive crescenti.
Le strutture di appoggio sono numerate nel verso delle progressive crescenti, per cui procedendo secondo tale verso, si incontrano in successione la "spalla A", la "pila 1", la "pila 2", ecc., fino all'ultima pila 12, e, di seguito, all'ultimo appoggio sulla "spalla B".

8.2. Descrizione del modello agli E.F.

L'impalcato è stato modellato con una mesh unifilare, in cui le caratteristiche meccaniche di ciascun elemento riproducono in modo adeguato quelle della struttura reale.
In particolare si sono definiti tre modelli (A, B e C) al fine di riprodurre le fasi costruttive; il modello A rappresenta infatti il solo impalcato metallico; i modelli B e C rappresentano, invece, la struttura mista acciaio-calcestruzzo. In quest'ultimo caso, essendo la sezione composta, è necessaria, ai fini delle esigenze del programma di calcolo agli elementi finiti utilizzato, l'omogeneizzazione. Si è adottato quale coefficiente di omogeneizzazione n=6 per i carichi accidentali (carichi di breve durata, modello B) e n=18 per i carichi permanenti portati (carichi di lunga durata, modello C). Si osservi che n=18 deriva dall'assunzione di un modulo di elasticità fittizio E_c^* del calcestruzzo pari a circa $E_c/3$ (con E_c il modulo istantaneo); in questo modo l'analisi degli effetti della viscosità nel tempo viene ricondotta ad un semplice calcolo elastico da effettuarsi con modulo ridotto E_c^*.

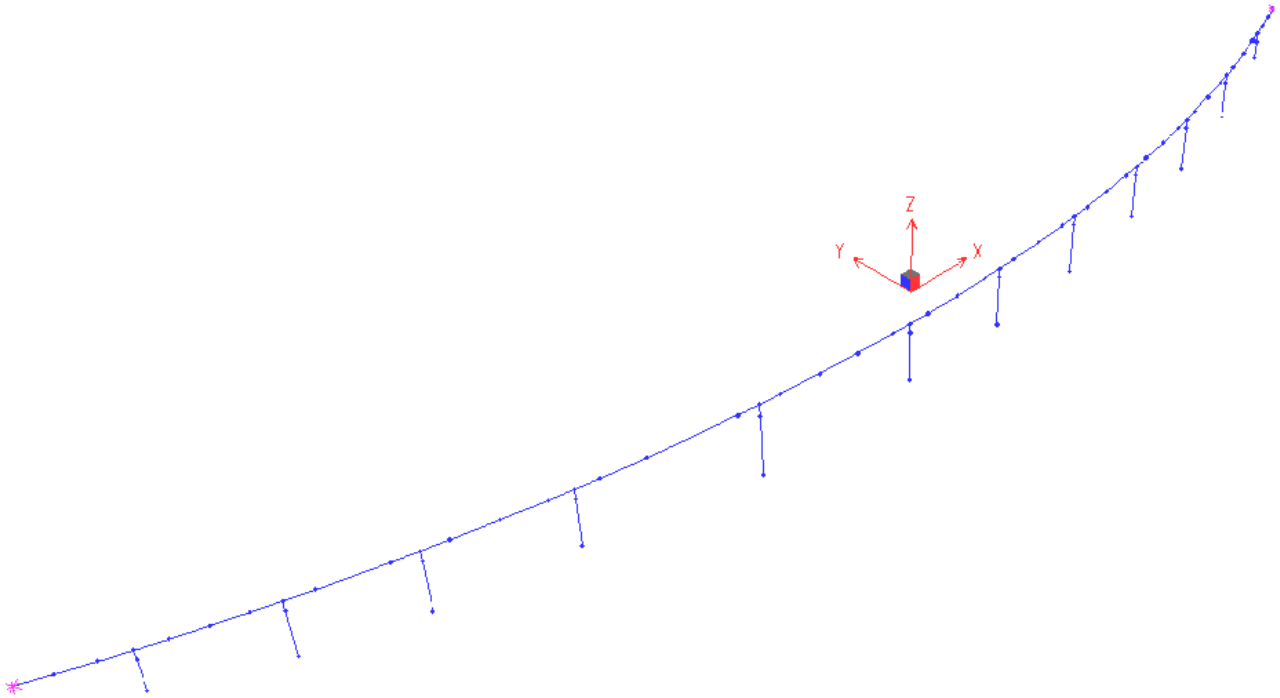


Figura 8- La mesh agli Elementi Finiti

È stato, inoltre, considerato un ulteriore modello (D) per le sollecitazioni sismiche. In tale modello, per l'impalcato è stata considerata la presenza della soletta collaborante con coefficiente di omogeneizzazione pari a 6, mentre per il calcestruzzo delle pile è stato considerato un modulo elastico ridotto di 1/3, per tenere conto delle condizioni del materiale nello stato fessurato.

Complessivamente il modello è risultato composto da 77 elementi tipo "frame", per un totale di 117 nodi.

Il riferimento globale del modello è una terna cartesiana destrorsa con l'asse Z verticale e l'asse X mediamente orientato nel verso delle progressive crescenti, per cui l'asse Y risulta orientato verso l'esterno della curva. Per le pile sono stati invece considerati riferimenti locali orientati con l'asse 1 lungo l'asse della pila e verso il basso, l'asse 3 parallelo all'impalcato e orientato nel verso delle progressive crescenti, e l'asse 2 verso l'esterno della curva..
L'analisi in direzione trasversale dell'impalcato è stata eseguita successivamente (CAPITOLO 9) mediante una distribuzione dei carichi e delle sollecitazioni così ottenute, ricavando quindi le sollecitazioni flessionali, di taglio e torcenti delle singole travi.

8.2.1. La tipologia di elementi finiti utilizzati

Tra i diversi elementi finiti disponibili nei programmi di calcolo per analisi all'elaboratore mediante modellazione matematica, sono stati utilizzati elementi finiti tipo "frame" in quanto i più adatti per schematizzare questo tipo di struttura ed eseguire l'analisi in oggetto.
I *frame* sono elementi finiti monodimensionali definiti nello spazio tridimensionale ed individuati da tre nodi: due di estremità (I e J), più un terzo (K) utilizzato per orientare arbitrariamente l'elemento nello spazio.

Ogni nodo di estremità possiede nel riferimento globale tre gradi di libertà alla traslazione e tre alla rotazione.
Questi elementi possiedono rigidezza assiale, a taglio ed a flessione e pertanto sono particolarmente indicati per schematizzare elementi monodimensionali quali travi, pilastri, pali ecc.
Le sollecitazioni calcolate dal programma sono disponibili sia sotto forma di forze risultanti applicate alla sezione dell'elemento, sia sotto forma di tensioni e sono fornite sempre rispetto al sistema di riferimento locale degli elementi, in corrispondenza delle estremità.
Il riferimento locale associato a ciascun elemento è così definito:

ASSE 1 = coincidente con l'asse dell'elemento ed orientato dal nodo I al nodo J (con I < J);
ASSE 2 = retta passante per il nodo I, ortogonale all'asse dell'elemento (asse 1), appartenente al piano passante per i nodi I, J e K ed orientato da I verso K;
ASSE 3 = retta passante per il nodo I, ortogonale all'asse 2 ed orientata in modo tale da formare una terna destrorsa.

Il programma fornisce le tensioni e le sollecitazioni risultanti in corrispondenza di ciascuna sezione di estremità del singolo elemento; il segno di tali sollecitazioni è riferito al sistema locale.

8.3. Definizione dei vincoli nel modello di calcolo

Gli appoggi sulle pile sono fissi in entrambe le direzioni in corrispondenza della pila 6 e della pila 7, mentre tutti gli altri appoggi, incluse le spalle, sono stati modellati come carrelli che consentono lo spostamento longitudinale dell'impalcato, ma non quello in direzione trasversale.
Alla base delle pile sono stati inserite delle molle per modellare in maniera corretta il comportamento assiale e flessionale delle strutture di fondazione (plinto e palificata) e le relative rigidezze. Tali rigidezze sono state calcolate come segue:

plinto a 5 pali (pile 1 e 12):

Φ	1200	mm	diametro palo
R_{ck}	25	MPa	classe cls
H	1	KN	forza orizzontale applicata in testa
K	58500	KN/m^3	costante di sottofondo del terreno
h_{plinto}	1.8	m	altezza plinto
n_{pali}	5		numero pali
K_{vp}	1000000	kN/m	rigidezza assiale palo
x	2.93E-06	m	spostamento in testa palo
K_{hp}	341170.3	kN/m	rigidezza orizzontale palo
$\mathbf{K_v}$	5000000	**kN/m**	rigidezza assiale
$\mathbf{K_{\theta x}}$	39690000	**kN m**	rigidezza flessionale asse x
$\mathbf{K_{\theta z}}$	25000000	**kN m**	rigidezza flessionale asse y
$\mathbf{K_{hp}}$	1705851	**kN/m**	rigidezza orizzontale

plinto a 6 pali (pile 2,3,4 e 9,10,11):

Φ	1200	mm	diametro palo
R_{ck}	25	MPa	classe cls
H	1	KN	forza orizzontale applicata in testa
K	15000	KN/m^3	costante di sottofondo del terreno
h_{plinto}	1.8	m	altezza plinto
n_{pali}	6		numero pali
K_{vp}	1000000	kN/m	rigidezza assiale palo
x	8.13E-06	m	spostamento in testa palo
K_{hp}	122934.2	kN/m	rigidezza orizzontale palo
$\mathbf{K_v}$	6000000	**kN/m**	rigidezza assiale
$\mathbf{K_{\theta x}}$	77440000	**kN m**	rigidezza flessionale asse x
$\mathbf{K_{\theta z}}$	50460000	**kN m**	rigidezza flessionale asse y
$\mathbf{K_{hp}}$	737605.3	**kN/m**	rigidezza orizzontale

plinto a 8 pali (pile 5 e 8)

Φ	1200	mm	diametro palo
R_{ck}	25	MPa	classe cls
H	1	KN	forza orizzontale applicata in testa
K	15000	KN/m^3	costante di sottofondo del terreno
h_{plinto}	1.8	m	altezza plinto
n_{pali}	8		numero pali
K_{vp}	1000000	kN/m	rigidezza assiale palo
x	8.13E-06	m	spostamento in testa palo
K_{hp}	122934.2	kN/m	rigidezza orizzontale palo
K_v	8000000	**kN/m**	rigidezza assiale
$K_{\theta x}$	1.05E+08	**kN m**	rigidezza flessionale asse x
$K_{\theta z}$	65340000	**kN m**	rigidezza flessionale asse y
K_{hp}	983473.7	**kN/m**	rigidezza orizzontale

plinto a 9 pali (pile 6 e 7)

Φ	1500	mm	diametro palo
R_{ck}	25	MPa	classe cls
H	1	KN	forza orizzontale applicata in testa
K	15000	KN/m^3	costante di sottofondo del terreno
h_{plinto}	2	m	altezza plinto
n_{pali}	9		numero pali
K_{vp}	1000000	kN/m	rigidezza assiale palo
x	5.5E-06	m	spostamento in testa palo
K_{hp}	181662.5	kN/m	rigidezza orizzontale palo
K_v	9000000	**kN/m**	rigidezza assiale
$K_{\theta x}$	1.33E+08	**kN m**	rigidezza flessionale asse x
$K_{\theta z}$	1.22E+08	**kN m**	rigidezza flessionale asse y
K_{hp}	1634962	**kN/m**	rigidezza orizzontale

8.4. Analisi effettuate

Sono state effettuate 17 diverse analisi mediante modello matematico agli E.F. per 17 diverse condizioni di carico.
Le analisi matematiche sulle condizioni di carico e conseguentemente i corrispondenti files di input e di output seguono la denominazione:

PESOPROPRIO:	peso proprio della sola parte in acciaio (soletta non collaborante, cioè priva di rigidezza),
SOLETTA:	peso proprio della sola soletta non collaborante (getto della soletta),
PERMANEN:	carichi permanenti portati (con soletta parzialmente collaborante, ovvero con modulo ridotto per tener conto degli effetti della viscosità a lungo termine: E*=E/3),
RITIRO:	momento di estremità dovuto al ritiro
MOBILI:	carichi mobili,
FREN+:	frenatura positiva (orientata lungo il verso delle progressive crescenti),
FREN-:	frenatura negativa (orientata lungo il verso delle progressive decrescenti),
VENT+EST:	vento trasversale positivo (orientato in direzione da DX a SX ortogonalmente all'asse dell'impalcato),
VENT-INT:	vento trasversale negativo (orientato in direzione da SX a DX ortogonalmente all'asse dell'impalcato),
TEMPGRD+:	gradiente termico positivo (soletta calda, travi fredde),
TEMPGRD-:	gradiente termico positivo (travi calde, soletta fredda),
TEMPUNF+:	variazione termica uniforme positiva,
TEMPUNF-:	variazione termica uniforme negativa,
ATTRITO+:	attrito ed attrito differenziale nel caso di dilatazione dell'impalcato,
ATTRITO-:	attrito ed attrito differenziale nel caso di contrazione dell'impalcato,
SISMAX:	sisma longitudinale,
SISMAY:	sisma trasversale.

8.4.1. Descrizione dell'input per le analisi matematiche

Il file di input per il solutore viene preparato per mezzo di opportuni preprocessori grafici. Terminato l'input grafico, attraverso una operazione di decodifica viene prodotto il file di input propriamente detto. Si tratta di un file di testo ASCII con estensione S2K (cioè tipo "*filename*.S2K"), eventualmente modificabile con un qualsiasi editor anche senza ripassare attraverso i preprocessori grafici. Dopo una prima riga riservata al titolo ed a una breve descrizione discorsiva, nella seconda riga vengono date le informazioni riguardanti i gradi di libertà del modello e le unità di misura utilizzate.
Di seguito si trovano le linee dove uno alla volta vengono definiti i nodi nel riferimento globale ed i gradi di libertà vincolati. Vengono poi inserite le linee con la descrizione dei diversi materiali, una per ciascun materiale. Nel nostro caso abbiamo 3 diversi materiali:

1 acciaio (travi longitudinali),
2 c.a. (pile),
3 acciaio-c.a. (travi longitudinali a sezione mista, omogeneizzata in acciaio).

Per ogni materiale nel nostro caso sono stati forniti il modulo elastico, il coefficiente di Poisson e la densità di peso. Per il materiale 3 è stata fornita densità nulla, in quanto le sollecitazioni dovute al peso proprio sono state calcolate considerando i pesi dell'acciaio e del c.a.

Dopo i materiali vengono inserite le linee con la descrizione dei diversi tipi di sezione con diverse proprietà inerziali. Nel nostro caso abbiamo 31 diversi tipi di sezione:

1 trave da 30m concio 3 in acciaio,
2 trave da 30m concio 2 in acciaio,
3 trave da 40m concio 1 in acciaio,
4 trave da 40m concio 2 in acciaio,
5 trave da 50m concio 1 in acciaio,
6 trave da 50m concio 2 in acciaio,
7 trave da 70m concio 1 in acciaio,
8 trave da 70m concio 2 in acciaio,
9 trave da 70m concio 3 in acciaio,
10 trave da 30m concio 3 in acciaio-c.a. (n=18),
11 trave da 30m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
12 trave da 40m concio 1 in acciaio-c.a. (n=18),
13 trave da 40m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
14 trave da 50m concio 1 in acciaio-c.a. (n=18),
15 trave da 50m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
16 trave da 70m concio 1 in acciaio-c.a. (n=18),
17 trave da 70m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
18 trave da 70m concio 3 in acciaio-c.a. (n=18),
19 trave da 30m concio 3 in acciaio-c.a. (n=6),
20 trave da 30m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
21 trave da 40m concio 1 in acciaio-c.a. (n=6),
22 trave da 40m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
23 trave da 50m concio 1 in acciaio-c.a. (n=6),
24 trave da 50m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
25 trave da 70m concio 1 in acciaio-c.a. (n=6),
26 trave da 70m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
27 trave da 70m concio 3 in acciaio-c.a. (n=6),
28 sezione pile da 1 a 11
29 sezione pila 12,
30 appoggi fissi,
31 appoggi scorrevoli.

Per ogni tipo di sezione sono stati forniti l'area normale, l'area di taglio secondo l'asse locale 2 (cioè nel piano principale della trave), l'area di taglio secondo l'asse locale 3, il momento d'inerzia alla torsione (intorno all'asse 1), il momento d'inerzia alla flessione intorno all'asse 2, il momento d'inerzia alla flessione intorno all'asse 3 (cioè per la flessione nel piano principale della trave).
Definiti i materiali e le proprietà inerziali vengono inserite alcune linee riguardanti le masse concentrate (modellazione dei pulvini) e di seguito l'elenco degli elementi finiti.

Per il gruppo degli elementi frame nella linea di controllo vengono definiti per ogni elemento la numerazione progressiva dell'elemento, i nodi collegati, il tipo di materiale associato e la giacitura del sistema di riferimento locale. Per ogni elemento vengono definiti i numeri identificativi dei nodi di estremità e del nodo di riferimento per l'orientamento (nodi i, j, k), quindi, sempre sulla stessa riga viene indicato il numero del materiale utilizzato ed il numero della sezione tipo, nonché alcuni dati sugli eventuali gradi di libertà vincolati. Riguardo ai riferimenti locali degli elementi utilizzati nel

modello del ponte, tutti gli elementi rappresentativi delle travi e dei trasversi hanno l'asse locale 3 orientato +Z.
Terminati i gruppi degli elementi utilizzati, vengono inserite le linee con le condizioni di carico applicate al modello, una linea per ciascuna condizione.
Il file di input termina con alcune linee in cui vengono indicate le combinazioni di carico da considerare separatamente nell'ambito di una medesima analisi.

8.4.2. Descrizione dell'output delle analisi agli Elementi Finiti

Il *filename*.TXT è un file di testo nel quale per gli elementi frame viene fornito lo stato di sollecitazione (N, T2, T3, Mt, M2 ed M3) ai nodi di ciascun elemento, e da questo file vengono estratti i dati poi rielaborati e combinati per mezzo del foglio di calcolo Excel, ai fini delle verifiche strutturali.
Gli altri tipi di files di output sono files di tipo binario e quindi non facilmente leggibili direttamente, ma utilizzati per una agevole visualizzazione dei risultati attraverso il postprocessore grafico.

9. Analisi sismica

9.1. Spettro di risposta per S.L.U.

Il calcolo delle sollecitazioni sismiche è stato eseguito tenendo conto della nuova normativa sismica (ordinanza n.3274 del 8-5-2003) in materia di progettazione sismica dei ponti.

Secondo la nuova classificazione delle zone sismiche, introdotta recentemente dalla stessa ordinanza del 8-5-2003, il viadotto ricade in zona sismica di prima categoria, a cui corrisponde un'accelerazione massima su suolo pari a:

$a_g = 0.35$ g

Lo spettro di risposta utilizzato per le componenti orizzontali è quello proposto dalla normativa per lo stato limite di collasso, in cui l'azione sismica di progetto vale:

$$S_d(T) = a_g S\left[1+\frac{T}{T_B}\left(\frac{2.5}{q}-1\right)\right] \qquad 0 \le T < T_B$$

$$S_d(T) = a_g S\frac{2.5}{q} \qquad T_B \le T < T_C$$

$$S_d(T) = a_g S\frac{2.5}{q}\left(\frac{T_C}{T}\right) \qquad T_C \le T < T_D$$

$$S_d(T) = a_g S\frac{2.5}{q}\left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right) \qquad T_D \le T$$

S è un fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione, che nel caso in esame (argille dimedia rigidezza) vale 1.25. Inoltre si ha:

$T_B = 0.15$
$T_C = 0.50$
$T_D = 2.0$

q è il coefficiente di struttura, che, poiché le pile della presente struttura hanno comportamento flessionale, viene posto pari a 3.5. In ogni caso, si deve avere $S_d(T) \ge 0.2a_g$.

Lo spettro di risposta utilizzato per le componenti verticali è quello proposto dalla normativa per lo stato limite di collasso, in cui l'azione sismica di progetto vale:

$$S_d(T) = 0.9a_g S\left[1+\frac{T}{T_B}\left(\frac{3.0}{q}-1\right)\right] \qquad 0 \le T < T_B$$

$$S_d(T) = 0.9a_g S\frac{3.0}{q} \qquad T_B \le T < T_C$$

$$S_d(T) = 0.9a_g S\frac{3.0}{q}\left(\frac{T_C}{T}\right) \qquad T_C \le T < T_D$$

$$S_d(T) = 0.9a_g S\frac{3.0}{q}\left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right) \qquad T_D \le T$$

dove: S = 1.0
q = 1.0
T_B = 0.05
T_C = 0.15
T_D = 1.0.

9.2. Spettro di risposta per S.L.E.

Per il calcolo delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio si utilizza l'appendice A della parte2 dell'EC8, che prevede di ricavare l'accelerazione a_{gc} di progetto del terreno secondo l'espressione

$$a_{gc} = \left(\frac{t_{rc}}{t_{r0}}\right)^k a_g$$

dove a_g è l'accelerazione del terreno che corrisponde al periodo di ritorno t_{r0}=475anni, e t_{rc}=95anni (previsto dall'EC8) è il periodo di ritorno corrispondente a a_{gc}. k è compreso tra 0.30 e 0.45. Si pone k=0.35, che fornisce

$$a_{gc} = 0.57 a_g = 0.57 \cdot 0.35 g$$

Lo spettro di risposta utilizzato per le componenti orizzontali è quello proposto dalla normativa per lo stato limite di esercizio, ottenuto dividendo lo spettro elastico per un coefficiente pari a 2.5, per cui l'azione sismica di progetto vale:

$$S_d(T) = \frac{a_{gc} S\left[1 + \frac{T}{T_B}(\eta 2.5 - 1)\right]}{2.5} \qquad 0 \le T < T_B$$

$$S_d(T) = \frac{a_{gc} S \eta 2.5}{2.5} \qquad T_B \le T < T_C$$

$$S_d(T) = \frac{a_{gc} S \eta 2.5\left(\frac{T_C}{T}\right)}{2.5} \qquad T_C \le T < T_D$$

$$S_d(T) = \frac{a_{gc} S \eta 2.5\left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)}{2.5} \qquad T_D \le T$$

dove η è un fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ, espresso in punti percentuali, che viene posto pari a 5:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \ge 0.55 .$$

Lo spettro di risposta utilizzato per le componenti verticali è quello proposto dalla normativa per lo stato limite di esercizio, ottenuto dividendo lo spettro elastico per un coefficiente pari a 2.5, per cui l'azione sismica di progetto vale:

$$S_d(T) = \frac{0.9 a_{gc} S \left[1 + \frac{T}{T_B}(\eta 3.0 - 1) \right]}{2.5} \qquad 0 \le T < T_B$$

$$S_d(T) = \frac{0.9 a_{gc} S \eta 3.0}{2.5} \qquad T_B \le T < T_C$$

$$S_d(T) = \frac{0.9 a_{gc} S \eta 3.0 \left(\frac{T_C}{T} \right)}{2.5} \qquad T_C \le T < T_D$$

$$S_d(T) = \frac{0.9 a_{gc} S \eta 3.0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)}{2.5} \qquad T_D \le T .$$

9.3. Risultati dell'analisi modale

Dall'analisi modale vengono ricavati i modi di vibrare della struttura in esame, determinandone i periodi propri ed i coefficienti di partecipazione:

Modo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Periodo (s)		2.84	2.57	1.74	1.62	1.48	1.38	1.17	1.16	1.104	1.01
Coefficiente di	x	77.98	0.0001	0.0011	0.0006	0.5934	0.000	0.3023	0.0057	0.0119	0.973
partecipazione	y	0.0047	0.0001	0.0007	0.0035	27.67	0.0005	9.7199	0.12	0.0093	0.7095

Il primo modo di vibrare è longitudinale, il quinto e il settimo sono trasversali; al terzo modo e al nono sono associati i comportamenti flessionali sul piano verticale per l'impalcato, ed assiale per le pile. Si nota, inoltre, che i modi che governano il comportamento della struttura sono principalmente il primo nel caso di sisma longitudinale, ed il quinto in caso di sisma trasversale.

Per quanto riguarda gli effetti del sisma verticale, bisogna notare che per l'impalcato lo spettro di risposta fornisce:

$S_d(T) = 0.17$ per lo SLU

$S_d(T) = 0.04$ per lo SLE

che corrisponde ad un incremento dei pesi pari rispettivamente al 1.7% e al 0.4%. Tale incremento è trascurabile, per cui non se ne tiene conto nelle verifiche. Le pile e le fondazioni vengono, invece, considerate solidali al terreno e si assume che esse abbiano un periodo T=0. Per questo motivo si ha:

$S_d(T) = 3.09$ per lo SLU

$S_d(T) = 1.76$ per lo SLE

e l'incremento dei pesi che si ricava è pari al 30.9% per lo SLU e al 17.6% per lo SLE.

10.Ripartizione trasversale

10.1. Coefficienti di ripartizione

Note le sollecitazioni sull'intero impalcato, è necessario suddividerle per individuare il contributo che compete alla trave, tra le tre che compongono l'impalcato, maggiormente sollecitata. Nello schema unifilare, infatti, i carichi mobili sono stati applicati all'asse, mentre in realtà si ha un'eccentricità dovuta al fatto che la prima stesa di carico agisce su una delle corsie esterne, la seconda stesa, inferiore del 50% rispetto alla prima, è posta sull'asse, mentre la terza , che agisce sull'altra corsia esterna, bilancia solo parzialmente la prima, in quanto è inferiore del 65%. Sono stati ricavati i valori dei momenti agenti sulla trave maggiormente sollecitata, e rispetto ad essi sono state eseguite le verifiche.
Utilizzando il metodo di Courbon, si ottengono i coefficienti di partecipazione delle tre travi. Supponendo che la stesa di carico sia posta all'interno con eccentricità pari a 3.5m rispetto all'asse dell'impalcato, alla trave interna (destra) compete il coefficiente maggiore:

	SX	CE	DX	Totale
Coefficienti di ripartizione	0.197	0.333	0.470	1.000

Tali coefficienti sono stati ottenuti in funzione delle caratteristiche delle tre travi. Indicando con i l'interasse tra le travi e con e l'eccentricità della stesa, e ponendo per la trave j-esima $K_j = \frac{1}{I_j L^3}$, si ricava il coefficiente di ripartizione per la generica stesa di carico come

$$c_j = \frac{K_j}{\sum_j K_j} + \frac{ieK_j}{\sum_j i^2 K_j}.$$

Poiché le travi hanno la stessa inerzia, si ottiene $c_j = \frac{1}{3} + \frac{e}{2i}$.

10.2. Calcolo delle sollecitazioni agenti

Il programma di calcolo utilizzato ha considerato tutte le possibili posizioni del carico viaggiante, fornendo i valori massimi e minimi delle sollecitazioni su ogni elemento.Di seguito vengono riportate le tabelle che tengono conto della sopracitata ripartizione trasversale dei carichi mobili sulla singola trave.Tra tutte le possibili combinazioni di carico ne sono state individuate due che forniscono i valori più sfavorevoli dei momenti flettenti, e cioè:

1 valori più sfavorevoli in campata (momento positivo) dovuti alla combinazione di:
- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Carico mobile (valori massimi)
- Vento (verso l'interno)
- Gradiente termico (positivo)

Tipo Campata (m)	Concio	Peso Proprio + Soletta	Permanenti + Ritiro	Accidentali	Totale	Carichi Mobili	M sulla trave più sollecitata
30	3	6422	5419	11424	23265	9731	9085
30	2	6422	5419	11424	23265	9731	9085
40	2	6230	2330	15534	24095	11922	9661
50	2	12029	4266	19528	35822	15305	14032
70	2	16563	6300	25876	48738	19501	18668
70	3	18351	7106	28062	53519	21583	20789

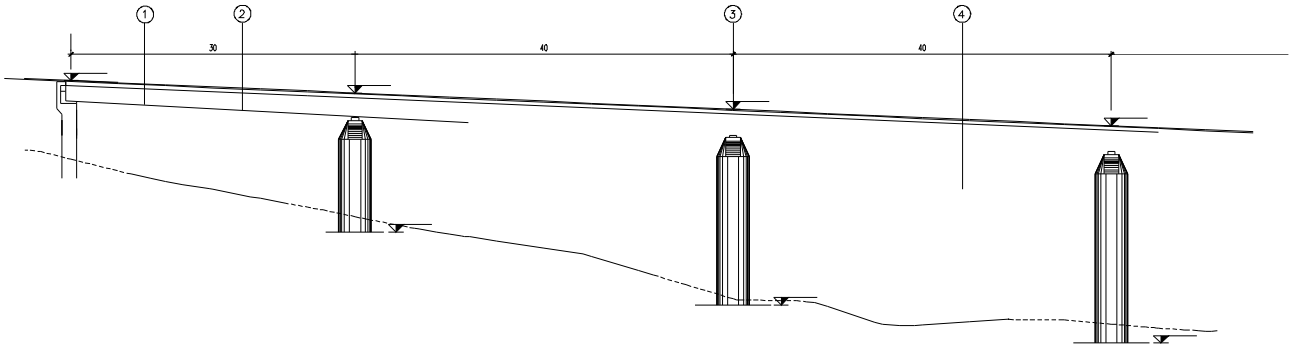
2 valori più sfavorevoli all'appoggio (momento negativo) dovuti alla combinazione di:
- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Carico mobile (valori minimi)
- Vento (verso l'esterno)
- Gradiente termico (negativo)

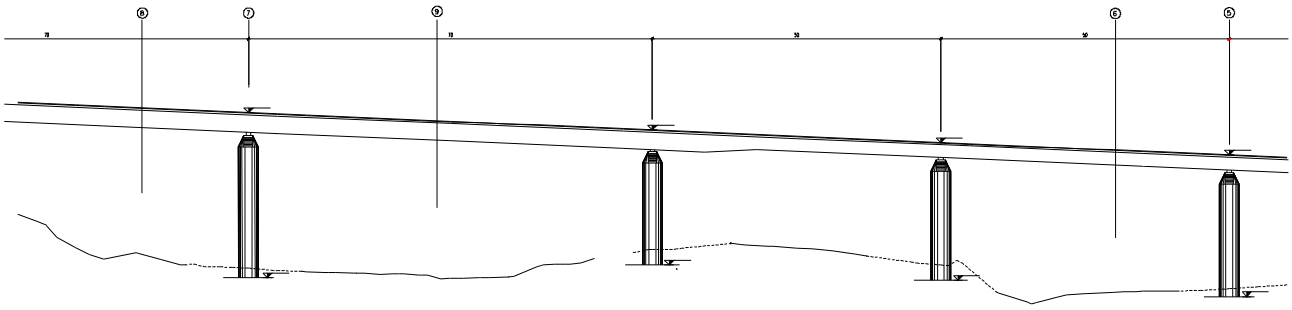
Tipo Campata (m)	Concio	Peso Proprio + Soletta	Permanenti + Ritiro	Accidentali	Totale	Carichi Mobili	M sulla trave più sollecitata
40	1	-19465	-5882	-17487	-42835	-14161	-16214
50	1	-21308	-6135	-23186	-50628	-17481	-19653
70	1	-57045	-22334	-44994	-124374	-38124	-46668

11.Verifiche tensionali delle travi principali

11.1. Verifica delle sezioni miste acciaio-calcestruzzo

La verifica viene svolta prendendo in esame per ogni campata le sezioni maggiormente sollecitate e precisamente le sezioni di mezzeria e le sezioni di appoggio sulle pile.

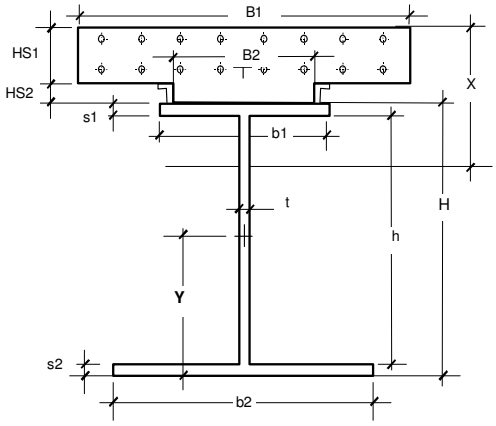




Vengono di seguito riportate le verifiche allo S.L.U. e allo S.L.E. delle sezioni considerate.
Le verifiche di resistenza allo S.L.U. vengono svolte secondo il metodo degli stati limite confrontando la sollecitazione massima di progetto, ottenuta applicando un coefficiente moltiplicativo dei carichi pari a 1.5, con la capacità ultima di resistenza della sezione completamente plasticizzata (momento plastico) calcolata tenendo conto dei coefficienti di sicurezza dei materiali come prescritto dalla normativa italiana vigente.
Il calcolo della larghezza della soletta collaborante è stato effettuato secondo le norme CNR 10016-85.
Nel presente paragrafo si procederà alla determinazione della tensioni calcolate considerando un valore del rapporto (Ea/Ec) pari a 6 per i carichi accidentali e pari a 18 per i carichi permanenti portati.
I valori delle sollecitazioni di seguito tabellate fanno riferimento alle combinazioni di carico, già descritte in precedenza, depurate dei pesi propri delle travi metalliche e della soletta.
Tali sollecitazioni sono relative ai carichi non affetti dal coefficiente moltiplicativo 1.5 utilizzato per le verifiche in esercizio allo stato limite ultimo.
Le tensioni si assumono positive se di compressione, negative se di trazione.

11.1.1. 1 - Campata da 30m - concio 3

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
60.00	2.00	70.00	2.00	196.0	1.80	200.0	613	3644704	96.8	37664	35306

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	33.5	4	33.5	21

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20.

11.1.1.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 1315.2 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	30.35	cm	l'asse neutro taglia l'ala sup. della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)		
Mp =	**2 255**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**140.2**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf		
Tp =	723	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**2 255**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**1315.2**	**tm**	**<**	**Mpr**	**coeff.di sicurezza** **1.71**

11.1.1.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 908.5 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**214.1**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	60.63	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-56.83	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**180.6**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	1.05	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	17.98	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	13.89	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	12.03	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-35.64	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**513.7**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	4.38	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	24.20	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	15.18	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	11.09	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-93.83	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

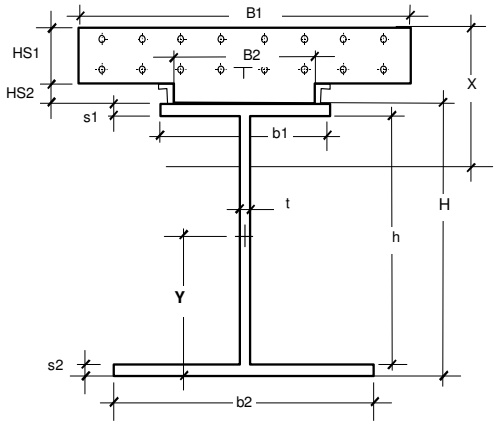
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.82	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-14.72	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	11.39	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	11.39	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**4.62**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**27.47**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**13.89**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**95.13**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**-174.91**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.2. 2 - Campata da 30m - concio 2

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
60.00	2.00	70.00	2.50	195.5	2.00	200.0	686	4047593	92.3	43867	37571

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	39.8	4	39.8	21

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20.

11.1.2.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 1315.2 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo			
x =	30.64	cm	l'asse neutro taglia l'ala sup. della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp =	**2 467**	**tm**	**Momento plastico**
Taglio =	**156.9**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf
Tp =	721	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr =	**2 467**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**
Verifica allo S.L.U.			
Mu =	**1315.2**	**tm**	**< Mpr** — **coeff.di sicurezza** **1.88**

11.1.2.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 908.5 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**214.1**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	59.08	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-50.11	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**180.7**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	1.02	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	17.43	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	13.68	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	11.98	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-31.63	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**513.8**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	4.21	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	23.37	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	15.21	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	11.51	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-83.40	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

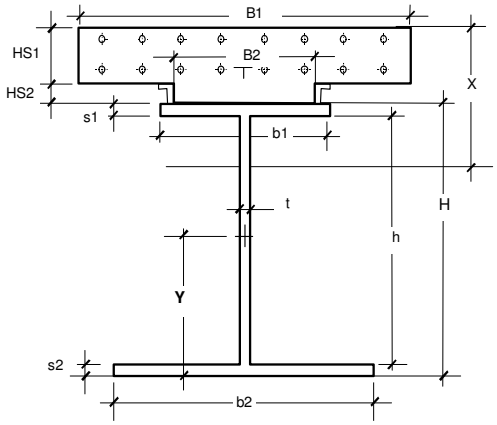
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.84	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-15.07	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	11.04	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	11.04	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**4.39**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**25.74**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**13.68**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**93.61**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**-154.11**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.3. 3 - Campata da 40m - concio 1 (Appoggio)

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
60.00	2.50	70.00	3.00	194.5	2.20	202.5	988	6207286	75.9	81782	49031

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	69.6	4	69.6	21

Impiattamento inferiore	
s_i (cm)	b_i (cm)
2,50	80,00

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20 e inferiormente con uno strato di ϕ20/20.

11.1.3.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = -2403.1 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	110.77	cm	l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)		
Mp =	**3 057**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**290.0**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f		
Tp =	877	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**3 057**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**2403.1**	**tm**	**<**	**Mpr**	**coeff.di sicurezza** **1.27**

11.1.3.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = -1621.4 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**-648.8**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	-132.33	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	79.34	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**-196.1**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-30.15	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-26.28	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-24.52	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	21.06	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**-776.5**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-119.39	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-104.06	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-97.11	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	83.39	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

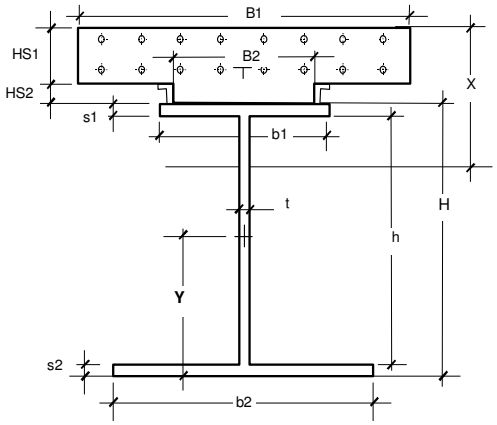
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.86	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-15.40	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	10.98	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	10.98	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**0.00**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**-164.94**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**-26.28**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**-242.99**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**194.76**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.4. 4 - Campata da 40m - concio 2

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
60.00	2.00	70.00	2.50	195.5	2.00	200.0	686	4047593	92.3	43867	37571

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	39.8	4	39.8	21

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20.

11.1.4.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 1412.3tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	30.25	cm	l'asse neutro taglia l'ala sup. della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto all'estradosso della soletta)		
Mp =	**2 641**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**134.1**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf		
Tp =	801	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**2 641**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**1412.3**	**tm**	**<**	**Mpr**	**coeff.di sicurezza** **1.87**

11.1.4.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 966.1 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**207.7**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	55.28	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-47.34	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**77.7**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.39	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	6.61	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	5.12	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	4.44	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-12.93	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**680.7**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	4.89	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	26.98	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	16.88	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	12.30	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-105.15	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

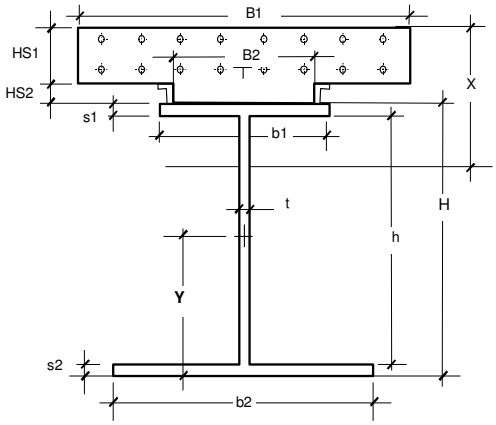
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.67	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-12.05	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	9.90	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	9.90	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**4.61**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**21.54**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**5.12**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**81.92**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**-155.51**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.5. 5 - Campata da 50m - concio 1 (Appoggio)

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
70.00	4.00	90.00	3.00	210.5	2.20	220.0	1263	10452214	89.8	116439	80257

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	75.4	4	75.4	21

Impiattamento inferiore	
s_i (cm)	b_i (cm)
2,50	100,00

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20 e inferiormente con uno strato di ϕ20/20.

11.1.5.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = -3720.5 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	101.73	cm	l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)		
Mp =	**4 334**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**359.5**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf		
Tp =	949	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**4 275**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**3720.5**	**tm**	**<** **Mpr**	**coeff.di sicurezza**	**1.15**

11.1.5.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = -1965.3 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**-1066.1**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	-132.84	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	91.56	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**-335.8**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-35.10	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-30.77	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-28.81	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	26.50	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**-563.4**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-58.88	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-51.63	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-48.34	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	44.46	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

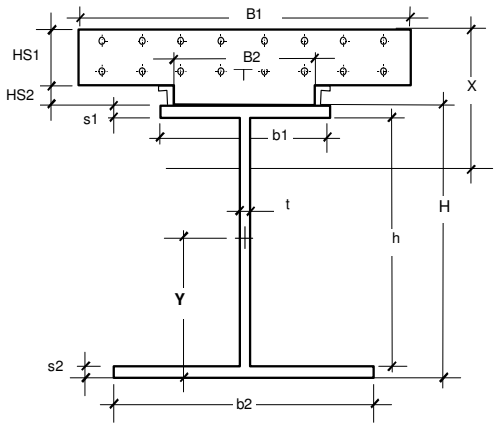
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.87	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-15.60	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	8.75	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	8.75	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**0.00**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**-109.58**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**-30.77**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**-201.24**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**171.27**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.6. 6 - Campata da 50m - concio 2

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
60.00	2.50	70.00	2.00	215.5	2.00	220.0	721	5073470	111.3	45580	46678

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	40.7	4	40.7	21

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20.

11.1.6.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 2063.6 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	30.44	cm	l'asse neutro taglia l'ala sup. della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)		
Mp =	**2 789**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**220.1**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf		
Tp =	883	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**2 789**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**2063.6**	**tm**	**< Mpr**	**coeff.di sicurezza**	**1.35**

11.1.6.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 1403.2 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**401.0**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	85.90	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-87.97	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**142.2**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.63	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	10.78	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	8.39	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	7.30	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-23.30	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**860.1**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	5.60	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	30.96	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	19.63	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	14.49	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-130.46	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

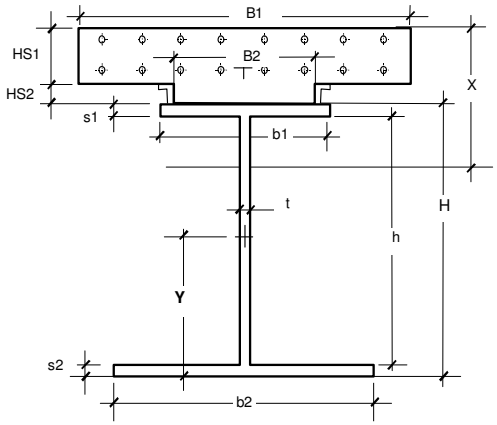
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.66	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-11.93	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	9.54	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	9.54	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**5.57**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**29.81**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**8.39**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**117.23**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**-232.19**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.7. 7 - Campata da 70m - concio 1 (Appoggio)

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
80.00	4.50	90.00	5.00	290.5	2.40	303.5	1857	28185089	117.5	239930	151510

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	110.1	4	110.1	21

Impiattamento inferiore	
s_i (cm)	b_i (cm)
3,50	100,00

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20 e inferiormente con uno strato di ϕ20/20.

11.1.7.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	151.61	cm	l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)		
Mp =	**8 551**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**454.6**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf		
Tp =	1 429	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**8 551**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**7978.7**	**tm**	**<**	**Mpr**	**coeff.di sicurezza** **1.07**

M = -7978.7 tm

11.1.7.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = -4666.8tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**-1901.5**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	-125.50	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	79.25	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**-744.9**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-38.93	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-35.40	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-33.80	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	28.54	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**-2020.8**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-105.62	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-96.04	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-91.69	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	77.41	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

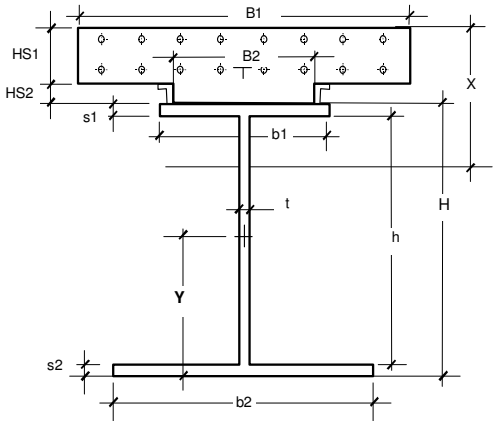
Tensioni dovute a	**Nrit=**	**2475**	**kN**
σ_{csup}	-0.59	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-10.70	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	5.96	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	5.96	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**0.00**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**-155.26**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**-35.40**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**-245.04**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**191.15**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.8. 8 - Campata da 70m - concio 2

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1	s1	b2	s2	h	t	H	A	Jx	Y	Winf	Wsup
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm^4)	(cm)	(cm^3)	(cm^3)
60.00	2.50	70.00	3.00	239.5	2.20	245.0	887	7671294	114.5	66995	58786

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1}	B_1	H_{S2}	B_2	Armatura sup.	d_{sup}	Armatura inf.	d_{inf}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm^2)	(cm)	(cm^2)	(cm)
22	426	7	0	43.4	4	43.4	21

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20.

11.1.8.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 2775.6 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo					
x =	32.02	cm	l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)		
Mp =	**3 985**	**tm**	**Momento plastico**		
Taglio =	**333.2**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf		
Tp =	1 080	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima		
Mpr =	**3 985**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**		
Verifica allo S.L.U.					
Mu =	**2775.6**	**tm**	**<**	**Mpr**	**coeff.di sicurezza** **1.44**

11.1.8.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 1866.8 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**535.3**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	91.06	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-79.91	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**202.5**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.71	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	12.24	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	10.02	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	9.01	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-22.62	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**1129.0**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	5.74	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	32.24	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	22.77	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	18.47	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-116.44	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

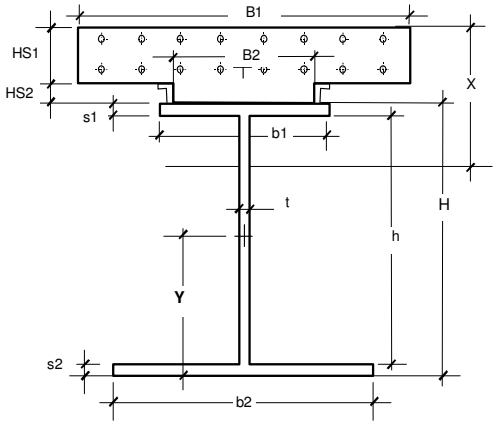
Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.66	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-11.89	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	8.24	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	8.24	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	**5.79**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**32.59**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**10.02**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**126.79**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**-210.73**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.9. 9 - Campata da 70m - concio 3

Si riportano di seguito le caratteristiche delle travi miste acciaio-cls per la verifica delle tensioni massime:



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b1 (cm)	s1 (cm)	b2 (cm)	s2 (cm)	h (cm)	t (cm)	H (cm)	A (cm^2)	Jx (cm^4)	Y (cm)	Winf (cm^3)	Wsup (cm^3)
60.00	2.50	70.00	3.00	239.5	2.00	245.0	839	7439186	114.0	65236	56803

Caratteristiche geometriche della soletta armata							
H_{S1} (cm)	B_1 (cm)	H_{S2} (cm)	B_2 (cm)	Armatura sup. (cm^2)	d_{sup} (cm)	Armatura inf. (cm^2)	d_{inf} (cm)
22	426	7	0	43.0	4	43.0	21

La soletta è stata armata superiormente con uno strato di ϕ16/20.

11.1.9.1. Verifica allo S.L.U.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 3056.0 tm

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo				
x =	31.17	cm	l'asse neutro taglia l'ala sup. della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)	
Mp =	**3 800**	**tm**	**Momento plastico**	
Taglio =	**115.6**	t	Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γf	
Tp =	982	t	Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima	
Mpr =	**3 800**	**tm**	**Momento plastico ridotto per la presenza del taglio**	
Verifica allo S.L.U.				
Mu =	**3056.0**	**tm**	**< Mpr**	**coeff.di sicurezza** **1.24**

11.1.9.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

M = 2078.9 tm

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	**611.7**	**tm**	**Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)**
$\sigma_{a,sup}$	107.69	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-93.77	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**236.9**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)**
σ_{csup}	0.84	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	14.50	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	11.83	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	10.62	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-27.39	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	**1230.4**	**tm**	**Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)**
σ_{csup}	6.32	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	35.46	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	24.80	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	19.96	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-131.93	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni dovute a		**Nrit=**	**2475 kN**
σ_{csup}	-0.65	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-11.79	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	8.55	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	8.55	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

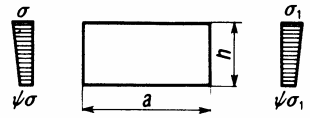
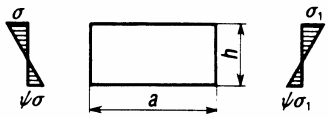
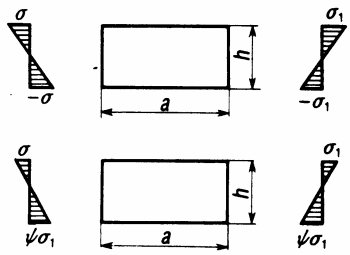
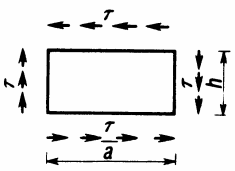
Tensioni risultanti

σ_{csup}	**6.51**	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	**38.17**	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	**11.83**	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	**146.82**	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	**-244.53**	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.2. Verifica all'imbozzamento dell'anima delle travi

Si effettua la verifica, secondo la CNR 10011-85, in corrispondenza delle sezioni più rappresentative corrispondenti all'appoggio sulle pile 5 e 8.
Si riportano di seguito il prospetto 7-VIII relativo alla definizione dei coefficienti di imbozzamento ed il paragrafo 8.6.2. che descrive nel dettaglio le modalità di verfica.

Prospetto 7-VIII — Coefficienti di imbozzamento

Numero d'ordine	Condizioni di carico del pannello		Tensioni ideali di imbozzamento*	$\alpha = \frac{a}{h}$	Coefficiente di imbozzamento
I	Tensione di compressione variabile linearmente $0 \leqslant \psi \leqslant 1$		$\sigma_{cr} = k_\sigma \sigma_{cr,o}$	$\alpha \geqslant 1$	$k_\sigma = \frac{8,4}{\psi + 1,1}$
				$\alpha < 1$	$k_\sigma = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \frac{2,1}{\psi + 1,1}$
II	Tensione di compressione e trazione variabili linearmente, ma preponderante la tensione di compressione $-1 < \psi < 0$		$\sigma_{cr} = k_\sigma \sigma_{cr,o}$		$k_\sigma = 1 + \psi k_1 - \psi k_3 + 10 \psi (1 + \psi)$ dove: k_1 si ottiene dal caso I per $\psi = 0$; k_3 si ottiene dal caso III per $\psi = -1$
III	Tensione di compressione e trazione variabili linearmente, ma uguali i valori massimi di compressione e trazione $\psi = -1$ ovvero preponderante la tensione di trazione $\psi < -1$		$\sigma_{cr} = k_\sigma \sigma_{cr,o}$	$\alpha \geqslant \frac{2}{3}$	$k_\sigma = 23,9$
				$\alpha < \frac{2}{3}$	$k_\sigma = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6\,\alpha^2$
IV	Tensione tangenziale uniformemente distribuita		$\tau_{cr} = k_\tau \sigma_{cr,o}$	$\alpha \geqslant 1$	$k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$
				$\alpha < 1$	$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$

* Per i valori della tensione di riferimento $\sigma_{cr,o}$ vedere prospetto 7-IX.

7.6.2. Verifica all'imbozzamento dei pannelli

7.6.2.1. Per la verifica all'imbozzamento occorre valutare, in assenza di indagini più sofisticate, che risulti:

$$\frac{\sigma_{cr,id}}{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\,\tau^2}} \geqslant \beta\ \upsilon$$

dove: σ_1 e τ sono le tensioni normale e tangenziale definite rispettivamente nei punti 7.6.1.4 e 7.6.1.5;

$\sigma_{cr,id}$ è la tensione di confronto da valutarsi come segue:

$\sigma_{cr,id} = \sqrt{3}\ \tau_{cr}$ per $\sigma_1 = 0$

$\sigma_{cr,id} = \sigma_{cr}$ per $\tau = 0$

$$\sigma_{cr,id} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\,\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4}\,\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4}\,\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}} \quad \text{per } \sigma_1 \neq 0 \text{ e } \tau \neq 0$$

υ è il coefficiente definito al punto 7.1;

$$\beta = \frac{\sigma_N + 0{,}80\,\sigma_M}{\sigma_N + \sigma_M} \text{ per } \alpha \leqslant 1{,}5;\ \beta = 1 \text{ per } \alpha \geqslant 1{,}5$$

essendo σ_N e σ_M i valori delle tensioni normali dovute allo sforzo normale N ed al momento flettente M rispettivamente;

ψ il coefficiente che definisce la legge d variazione lineare della σ;

$\sigma_{cr} = k_\sigma\ \sigma_{cr,o}$

$\tau_{cr} = k_\tau\ \sigma_{cr,o}$

in cui $\sigma_{cr,o}$ = 186 200 $(t/h)^2$ è la tensione di riferimento, in N/mm², indicata nel prospetto 7-IX;

k è il coefficiente di imbozzamento, i cui valori si ricavano dal prospetto 7-VIII in funzione del coefficiente ψ e del rapporto $\alpha = a/h$. Qualora il rapporto tra il passo degli irrigidimenti e l'altezza totale dell'anima sia maggiore di 1,5, i valori del coefficiente k_τ per tensioni tangenziali desunti dal prospetto 7-VIII devono essere moltiplicati per 0,8.

Nel caso in cui il valore calcolato di σ_{cr} risulti maggiore del limite di proporzionalità del tipo di acciaio impiegato per il pannello, da porsi convenzionalmente pari a 0,8 f_d, alla tensione ideale di confronto deve essere sostituita una tensione di confronto ridotta $\sigma_{cr,red}$ ad essa corrispondente, secondo il prospetto 7-X, essendo:

$$\sigma_{cr,red} = f_d\,\frac{20 + \sqrt{25 - 15\,(f_y/\sigma_{cr,id})^2}}{25 + (f_y/\sigma_{cr,id})^2}$$

11.2.1. Campata da 40m - concio 2

Le indicazioni di dettaglio della geometria della sezione sono riportate al paragrafo 4.1.

T	**89.4**	*t*	*sforzo di taglio*
i	**300.0**	*cm*	*interasse irrigidimenti verticali*
α	1.50		*rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti vert. e l'altezza dell'anima*
ψ	-1.78		*coeff. che definisce la legge di variazione della* σ
$k\sigma$	23.90		*coefficiente d'imbozzamento*
$k\tau$	7.12		*coefficiente d'imbozzamento*
$\sigma_{cr,o}$	18.62	*Mpa*	*tensione di riferimento*
σ_{cr}	445.0	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
τ_{cr}	132.5	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
σ_1	80	*Mpa*	*tensione massima normale nell'anima*
τ_1	22	*Mpa*	*tensione media di taglio nell'anima*
τ_2	**0**	*Mpa*	*tensione di taglio derivante dalla torsione*
$\tau_{\tau\sigma\tau}$	22	*Mpa*	*tensione di taglio complessiva*
$\sigma_{cr,id}$	373.8	*Mpa*	*tensione di confronto*
$\beta\nu$	1.5		
	4.19		***valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di $\beta\nu$ se verificato***

10.3.11 Campata da 70m - concio 3

Le indicazioni di dettaglio della geometria della sezione sono riportate al paragrafo 4.1.

T	**77.1**	*t*	*sforzo di taglio*
i	**300.0**	*cm*	*interasse irrigidimenti verticali*
α	1.22		*rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti vert. e l'altezza dell'anima*
ψ	-1.59		*coeff. che definisce la legge di variazione della* σ
$k\sigma$	23.90		*coefficiente d'imbozzamento*
$k\tau$	8.01		*coefficiente d'imbozzamento*
$\sigma_{cr,o}$	12.41	*Mpa*	*tensione di riferimento*
σ_{cr}	296.6	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
τ_{cr}	99.4	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
σ_1	145	*Mpa*	*tensione massima normale nell'anima*
τ_1	16	*Mpa*	*tensione media di taglio nell'anima*
τ_2	**0**	*Mpa*	*tensione di taglio derivante dalla torsione*
$\tau_{\tau\sigma\tau}$	16	*Mpa*	*tensione di taglio complessiva*
$\sigma_{cr,id}$	288.7	*Mpa*	*tensione di confronto*
$\beta\nu$	1.2		
	1.96		***valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di $\beta\nu$ se verificato***

Campata da 50m - concio 1

Le indicazioni di dettaglio della geometria della sezione sono riportate al paragrafo 4.1.

T	**239.7**	*t*	*sforzo di taglio*
i	**300.0**	*cm*	*interasse irrigidimenti longitudinali*
α	1.36		*rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima*
ψ	-1.16		*coeff. che definisce la legge di variazione della* σ
$k\sigma$	23.90		*coefficiente d'imbozzamento*
$k\tau$	7.49		*coefficiente d'imbozzamento*
$\sigma_{cr,o}$	19	*Mpa*	*tensione di riferimento*
σ_{cr}	445.0	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
τ_{cr}	139.5	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
σ_1	208	*Mpa*	*tensione massima normale nell'anima*
τ_1	50	*Mpa*	*tensione media di taglio nell'anima*
τ_2	**0**	*Mpa*	*tensione di taglio derivante dalla torsione*
$\tau_{\tau\sigma\tau}$	50	*Mpa*	*tensione di taglio complessiva*
$\sigma_{cr,id}$	385.6	*Mpa*	*tensione di confronto*
$\beta\nu$	1.2		
	1.7		***valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di*** $\beta\nu$ ***se verificato***

Campata da 70m - concio 1

Le indicazioni di dettaglio della geometria della sezione sono riportate al paragrafo 4.1.

T	**303.1**	*t*	*sforzo di taglio*
i	**300.0**	*cm*	*interasse irrigidimenti longitudinali*
α	0.99		*rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima*
ψ	-1.42		*coeff. che definisce la legge di variazione della* σ
$k\sigma$	23.90		*coefficiente d'imbozzamento*
$k\tau$	9.47		*coefficiente d'imbozzamento*
$\sigma_{cr,o}$	12	*Mpa*	*tensione di riferimento*
σ_{cr}	278.3	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
τ_{cr}	110.2	*Mpa*	*tensione ideale d'imbozzamento*
σ_1	128	*Mpa*	*tensione massima normale nell'anima*
τ_1	42	*Mpa*	*tensione media di taglio nell'anima*
τ_2	**0**	*Mpa*	*tensione di taglio derivante dalla torsione*
$\tau_{\tau\sigma\tau}$	42	*Mpa*	*tensione di taglio complessiva*
$\sigma_{cr,id}$	251.2	*Mpa*	*tensione di confronto*
$\beta\nu$	1.2		
	1.7		***valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di*** $\beta\nu$ ***se verificato***

11.3. Verifica degli irrigidimenti

Si effettua la verifica, secondo la CNR 10030-87, in corrispondenza delle sezioni più rappresentative per ogni tipo di campata, corrispondenti agli appoggi maggiormente sollecitati.

11.3.1. Irrigidimenti trasversali

11.3.1.1. Campata da 40m

Deve risultare:

$I > = 0.15\ \gamma_T^*\ h_w\ t_w^3 =$ **37278648** mm^4

Irrigidimento:

$b_a =$	249	mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20	mm	spessore anima irrigidimento
$b_f =$	350	mm	larghezza flangia irrigidimento
$s_f =$	20	mm	spessore flangia irrigidimento
I =	**627697793**	**mm^4**	momento inerzia irrigidimento
γ^*_T =	**12**		coefficiente di rigidezza flessionale

VERIFICATO

Appoggio:

Deve risultare:

$I > = 0.15\ \gamma_T^*\ h_w\ t_w^3 =$ **28152000** mm^4

Irrigidimento:

$b_a =$	250	mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20	mm	spessore anima irrigidimento
$b_f =$	350	mm	larghezza flangia irrigidimento
$s_f =$	20	mm	spessore flangia irrigidimento
I =	**627700000**	**mm^4**	momento inerzia irrigidimento
γ^*_T =	**12**		coefficiente di rigidezza flessionale

VERIFICATO

Campata:

11.3.1.2. Campata da 70m

Appoggio:

Deve risultare:			
	$I> = 0.15\ \gamma_T^*\ h_w\ t_w^3 =$		**342517248** mm^4
Irrigidimento:			
$b_a =$	348	mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20	mm	spessore anima irrigidimento
$b_f =$	350	mm	larghezza flangia irrigidimento
$s_f =$	20	mm	spessore flangia irrigidimento
I =	**1269561813**	**mm^4**	momento inerzia irrigidimento
$\gamma^*_T =$	**57**		coefficiente di rigidezza flessionale
	VERIFICATO		

Campata:

Deve risultare:			
	$I> = 0.15\ \gamma_T^*\ h_w\ t_w^3 =$		**102744000** mm^4
Irrigidimento:			
$b_a =$	250	mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20	mm	spessore anima irrigidimento
$b_f =$	350	mm	larghezza flangia irrigidimento
$s_f =$	20	mm	spessore flangia irrigidimento
I =	**627700000**	**mm^4**	momento inerzia irrigidimento
$\gamma^*_T =$	**36**		coefficiente di rigidezza flessionale
	VERIFICATO		

11.3.2. Irrigidimenti longitudinali

11.3.2.1. Campata da 70m

Concio1:

Deve risultare:

$$I_{>} = 0.15\ m_L\ \gamma_L^*\ h_w\ t_w^3 = \quad \mathbf{99227238}\ mm^4$$

Sezione aperta

h_w =	**2905**	**mm**	altezza anima
t_w =	**24**	**mm**	spessore anima
Irrigidimento:			
Profilato	HE 200 A		
b =	200	mm	larghezza irrigidimento
A_L =	5380	mm^2	area irrigidimento
I_0 =	36920000	mm^4	momento Inerzia baricentrico irrigidimento
e =	112	mm	distanza anima trave-baricentro irrigidimento
I =	**104406720**	**mm^4**	momento inerzia irrigidimento
m_L=	1.00		coefficiente
a =	3000	mm	interasse irrigidimenti trasversali
α =	1.03		coefficiente
σ_1 =	128.208	Mpa	tensione piattabanda compressa
σ_2 =	-182.056	Mpa	tensione piattabanda tesa
τ =	42	Mpa	tensione tangenziale media
ψ =	**-0.704**		
δ =	0.077		coefficiente
h_1 =	800	mm	distanza irrigidimento-piattabanda compressa
η_1 =	0.275		coefficiente
W =	0.618		coefficiente
$\gamma^*_{L,\sigma}$ =	16.473		
$\gamma^*_{L,\tau}$ =	6.999		
γ^*_L =	**16.473**		coefficiente di rigidezza flessionale

VERIFICATO

Concio2 :

Deve risultare:

$$\mathbf{I> = 0.15\ m_L\ \gamma_L^*\ h_w\ t_w^3 =}\qquad \mathbf{85293314}\ mm^4$$

Sezione aperta

h_w =	**2395**	**mm**	altezza anima
t_w =	**22**	**mm**	spessore anima
Irrigidimento:			
Profilato	HE 200 A		
b =	200	mm	larghezza irrigidimento
A_L =	5380	mm^2	area irrigidimento
I_0 =	36920000	mm^4	momento Inerzia baricentrico irrigidimento
e =	111	mm	distanza anima trave-baricentro irrigidimento
I =	**103206980**	**mm^4**	momento inerzia irrigidimento
m_L=	1.00		coefficiente
a =	3000	mm	interasse irrigidimenti trasversali
α =	1.25		coefficiente
σ_1 =	124.418	Mpa	tensione piattabanda compressa
σ_2 =	-195.792	Mpa	tensione piattabanda tesa
τ =	41	Mpa	tensione tangenziale media
ψ =	**-0.635**		
δ =	0.102		coefficiente
h_1 =	800	mm	distanza irrigidimento-piattabanda compressa
η_1 =	0.334		coefficiente
W =	4.094		coefficiente
$\gamma^*_{L,\sigma}$ =	14.898		
$\gamma^*_{L,\tau}$ =	22.297		
γ^*_L =	**22.297**		coefficiente di rigidezza flessionale

VERIFICATO