



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 Zalocco
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:

mandataria

A.T.I.

SILEC S.p.A.

Divisione Progettazione e Studi

mandanti



SELPRO

TECNOPROJECT

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

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Viadotti

IMPALCATO IN ACC-CLS - Viadotto S. Bartolomeo 1

Relazione tecnica e di predimensionamento

SCALA : -

CODICE IDENTIFICATIVO :

FASE/LOTTO

D 1

DOC.

C L

OPERA/DISCIPLINA

V I 0 0

PROGR.

0 0 1

REV.

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	9
5. MODELLO.....	11
6. ANALISI DEI PESI PROPRI STRUTTURALI E DEI SOVRACCARICHI PERMANENTI	11
6.1. PESI PROPRI STRUTTURALI.....	11
6.2. SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI	11
7. ANALISI DEI SOVRACCARICHI DI ESERCIZIO	12
7.1. CARICHI MOBILI (Q_1)	12
7.2. AZIONE DEL VENTO (Q_5)	12
<i>Vento a ponte scarico.....</i>	<i>12</i>
<i>Vento a ponte carico.....</i>	<i>12</i>
7.3. AZIONI SISMICHE (Q_6).....	13
7.4. RITIRO (ϵ_2)	13
7.5. TERMICA (ϵ_3).....	13
7.6. SCORRIMENTI VISCOSI (ϵ_4).....	14
8. ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI.....	15
8.1. PREMESSA	15
8.2. DESCRIZIONE DEL MODELLO AGLI E.F.	15
8.2.1. <i>La tipologia di elementi finiti utilizzati</i>	<i>16</i>
8.3. DEFINIZIONE DEI VINCOLI NEL MODELLO DI CALCOLO	17
8.4. ANALISI EFFETTUATE	19
8.4.1. <i>Descrizione dell'input per le analisi matematiche.....</i>	<i>19</i>
8.4.2. <i>Descrizione dell'output delle analisi agli Elementi Finiti.....</i>	<i>21</i>
9. ANALISI SISMICA	22
9.1. SPETTRO DI RISPOSTA PER S.L.U.....	22
9.2. SPETTRO DI RISPOSTA PER S.L.E.....	23
9.3. RISULTATI DELL' ANALISI MODALE	24
10. RIPARTIZIONE TRASVERSALE.....	25
10.1. COEFFICIENTI DI RIPARTIZIONE.....	25
10.2. CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI AGENTI	26
11. VERIFICHE TENSIONALI DELLE TRAVI PRINCIPALI.....	27
11.1. VERIFICA DELLE SEZIONI MISTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO.....	27
11.1.1. <i>Sezione A - Campata da 40m - concio 2</i>	<i>28</i>
11.1.2. <i>Sezione B - Campata da 40m - concio 2</i>	<i>30</i>
11.1.3. <i>Sezione C - Campata da 40m - concio 3</i>	<i>32</i>
11.1.4. <i>Sezione D - Campata da 60m - concio 1</i>	<i>34</i>
11.1.5. <i>Sezione E - Campata da 60m - concio 2</i>	<i>36</i>
11.1.6. <i>Sezione F - Campata da 60m - concio 2</i>	<i>38</i>

11.1.7.	Sezione G - Campata da 60m - concio 3	40
11.1.8.	Sezione H - Campata da 80m - concio 1	42
11.1.9.	Sezione I - Campata da 80m - concio 2.....	44
11.1.10.	Sezione L - Campata da 80m - concio 2.....	46
11.1.11.	Sezione M - Campata da 80m - concio 3.....	48
11.2.	VERIFICA ALL'IMBOZZAMENTO DELL'ANIMA DELLE TRAVI.....	50
11.2.1.	Sezione A - Campata da 40m - concio 2.....	52
11.2.2.	Sezione D - Campata da 60m - concio 1	53
11.2.3.	Sezione E - Campata da 60m - concio 2.....	54
11.2.4.	Sezione H - Campata da 80m - concio 1	55
11.2.5.	Sezione I - Campata da 80m - concio 2.....	58
11.3.	VERIFICA DEGLI IRRIGIDIMENTI	61
11.3.1.	Irrigidimenti trasversali.....	61
11.3.2.	Irrigidimenti longitudinali.....	64

1. Premessa

Nella presente relazione vengono riportati i calcoli e le verifiche relativi agli elementi strutturali dell'impalcato del viadotto San Bartolomeo 1, della Transcollinare Piceno-Aprutina.

L'opera è realizzata con un impalcato misto acciaio-calcestruzzo di otto campate aventi luce rispettivamente di 40m la prima, 60m la seconda e la terza, 80m la quarta, 60m la quinta, la sesta e la settima, 40m l'ottava, contando le medesime campate nel verso delle progressive crescenti.

Le travi metalliche si ipotizza vengano montate in opera per conci successivi solidarizzati mediante unioni bullonate. Sarà peraltro possibile in fase di progetto esecutivo verificare la fattibilità di varo a spinta. In entrambi i casi la soletta sarà 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

$$f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 20.75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,esercizio} = 19.92 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

$$\sigma_{c,amm} = 12.2 \text{ N/mm}^2$$

- Acciaio tipo S355 (EN 10025)

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 317 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{amm} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{amm} = 139 \text{ N/mm}^2$$

- Acciaio in barre FeB 44k

$$f_{yk} = 430 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{a,esercizio} = 301 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

$$\sigma_{amm} = 255 \text{ N/mm}^2$$

- Bulloni A.R. classe 10.9

$$f_t = 1000 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

$$f_y = 900 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

$$f_{k,N} = 700 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

$$f_{d,N} = 700 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

$$f_{d,V} = 495 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stato limite}$$

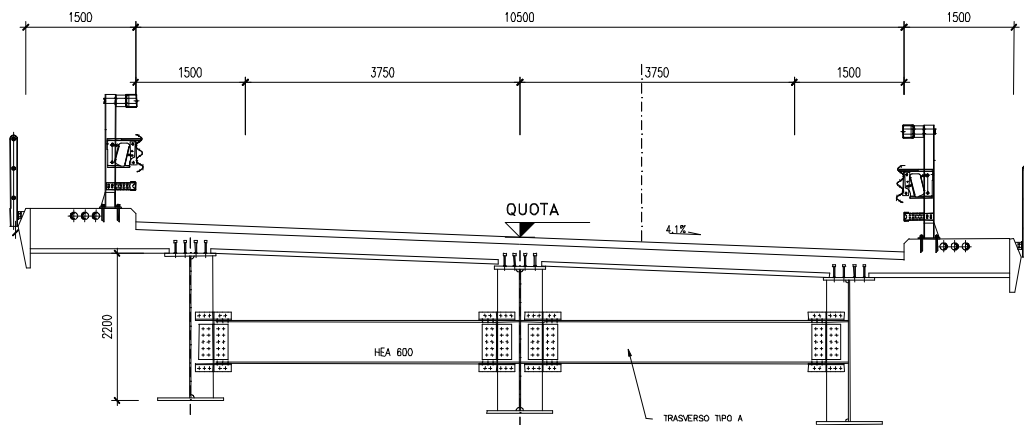
$$\sigma_{b,amm} = 467 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{b,amm} = 330 \text{ N/mm}^2$$

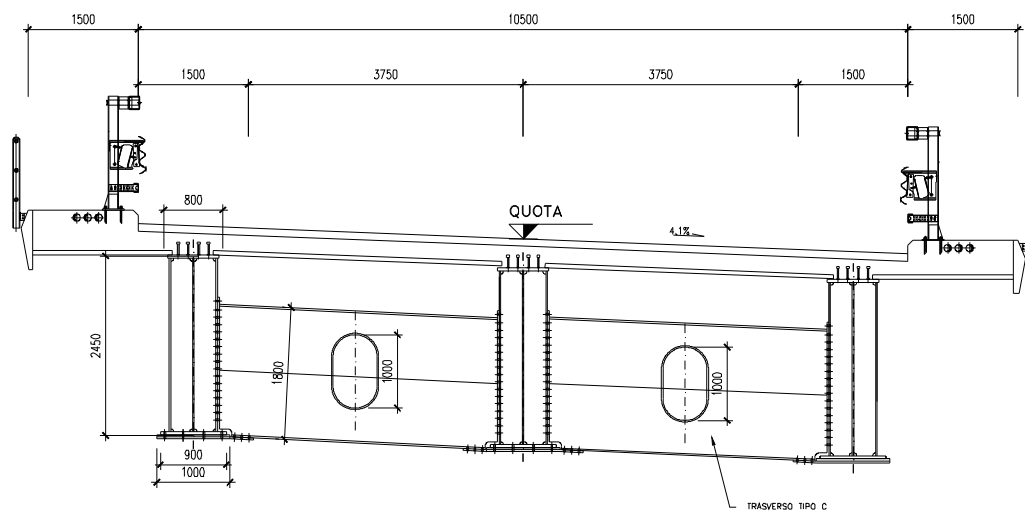
4. Caratteristiche strutturali dell'impalcato

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.

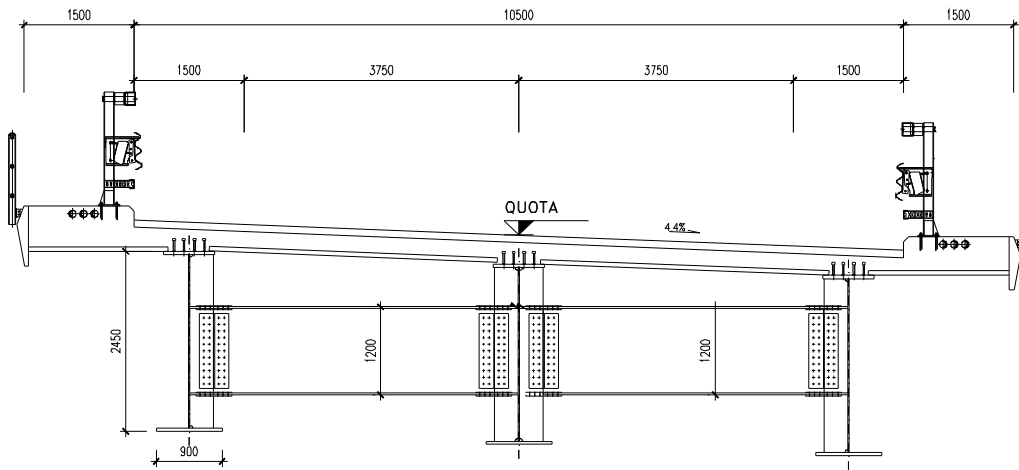
Sono previste le tre seguenti tipologie di impalcato, in funzione della luce di ciascuna campata:



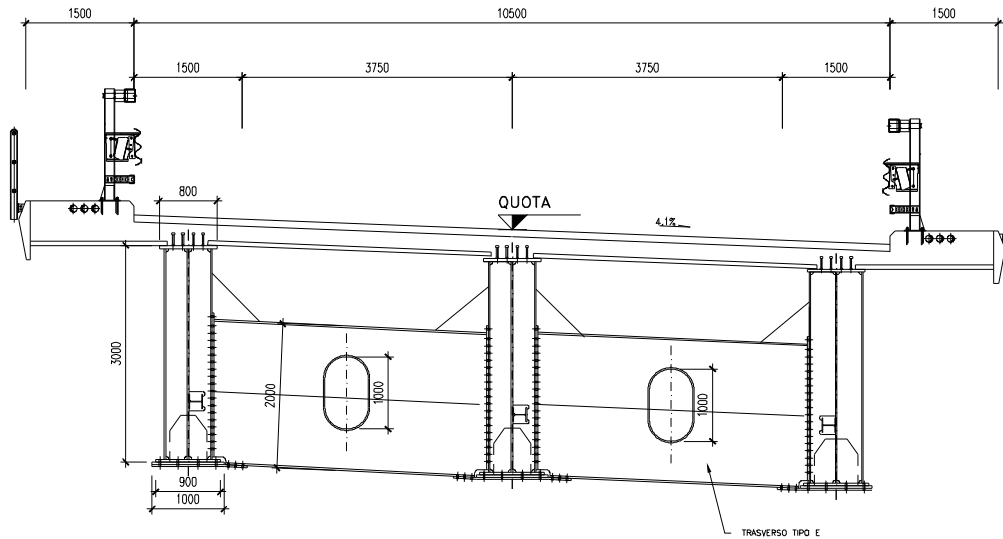
Sezione trasversale tipo impalcato 40m



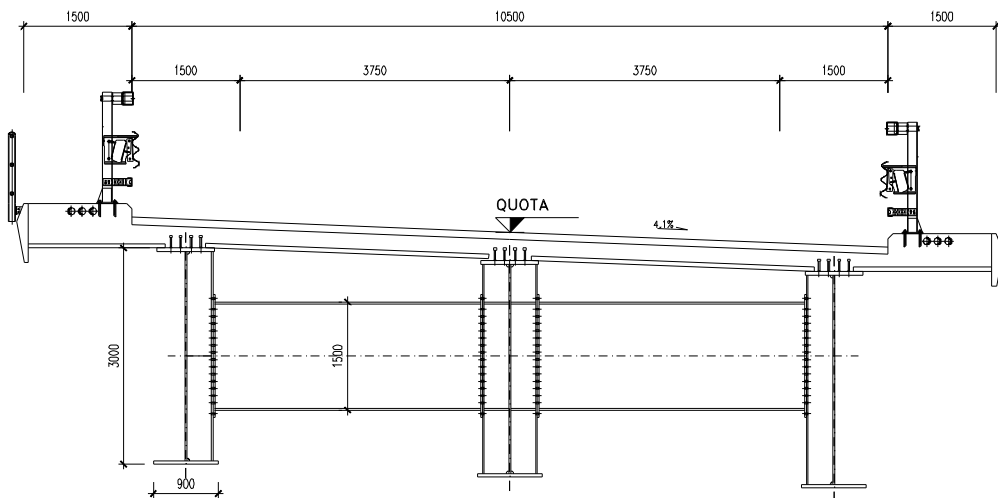
Sezione trasversale tipo impalcato 60m (appoggio)



Sezione trasversale tipo impalcato 60m (campata)



Sezione trasversale tipo impalcato 80m (appoggio)

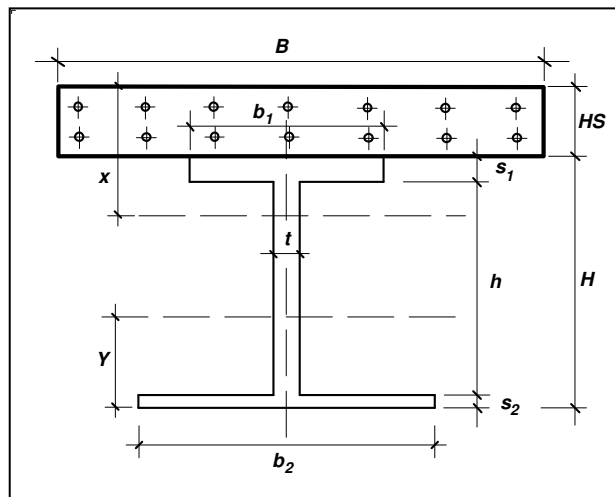


Sezione trasversale tipo impalcato 80m (campata)

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.



Sezione trave corrente con soletta

CAMPATA TIPO 40 M

		lunghezza	spessore	larghezza
CONCIO 2	Ala Sup.	13.000	0.020	0.700
	Anima	13.000	0.022	variabile
	Ala Inf.	13.000	0.032	0.800
CONCIO 3	Ala Sup.	18.000	0.020	0.700
	Anima	18.000	0.020	variabile
	Ala Inf.	18.000	0.026	0.800

TOTALE 1 CAMPATA

CAMPATA TIPO 60 M

		lunghezza	spessore	larghezza
1/2 CONCIO 1				
Testa Pila	Ala Sup.	9.000	0.045	0.700
	Anima	9.000	0.022	2.365
	Ala Inf	9.000	0.040	0.900
	Impiattamento	3.000	0.035	1.000
CONCIO 2				
	Ala Sup.	12.000	0.040	0.700
	Anima	12.000	0.022	2.360
	Ala Inf	12.000	0.050	0.900
	Impiattamento	3.000	0.030	1.000
1/2 CONCIO 3				
	Ala Sup.	9.000	0.030	0.700
	Anima	9.000	0.020	2.370
	Ala Inf	9.000	0.050	0.900

TOTALE 1/2 CAMPATA

CAMPATA TIPO 80 M

		lunghezza	spessore	larghezza
1/2 CONCIO 1				
Testa Pila	Ala Sup.	9.000	0.050	0.800
	Anima	9.000	0.024	2.910
	Ala Inf	9.000	0.040	0.900
	Impiattamento	3.000	0.035	1.000
CONCIO 2				
	Ala Sup.	13.000	0.028	0.800
	Anima	13.000	0.022	2.932
	Ala Inf	13.000	0.040	0.900
CONCIO3				
	Ala Sup.	18.000	0.020	0.700
	Anima	18.000	0.020	2.950
	Ala Inf	18.000	0.030	0.900

TOTALE 1/2 CAMPATA

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:

$$\begin{aligned} \text{acciaio:} & \quad \gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3 \\ \text{cls:} & \quad \gamma = 25 \text{ kN/ m}^3. \end{aligned}$$

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 $13.5 \cdot (0.22 + 0.07) \cdot 25 = 97.9 \text{ kN/m}$.

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:

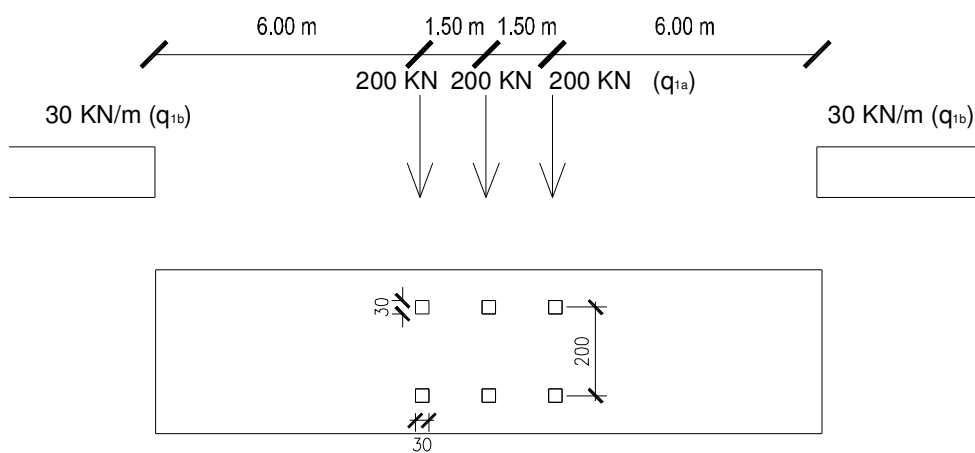
Elemento	Peso per unità di misura	Quantità	Peso per unità di lunghezza longitudinale dell'impalcato [kN/m]
Pavimentazione	2 kN/m ²	2 x 11 =	22.0
Marciapiede e Cordoli laterali	25 kN/m ³	2 x 1.50 x 0.30 x 25 =	7.0
Velette	25 kN/m ³	0.09 x 25 =	2.25
Barriere in acciaio	2 kN/m	2 x 2 =	4.0
Ringhiere e reti 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.

È stata considerata la presenza della folla sui marciapiedi mediante un carico distribuito $q_{1,e} = 4 \text{ kN/m}$.

Tutti i carichi mobili ($q_{1,a}$, $q_{1,b}$, e $q_{1,e}$) sono stati moltiplicati per il coefficiente di amplificazione dinamica $\phi = 1.07$.

7.2. Azione del vento (q_5)

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

Vento a ponte scarico

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

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

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:

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

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 calcolare la forza sviluppata dalla soletta a causa del ritiro sia secondo la relazione

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

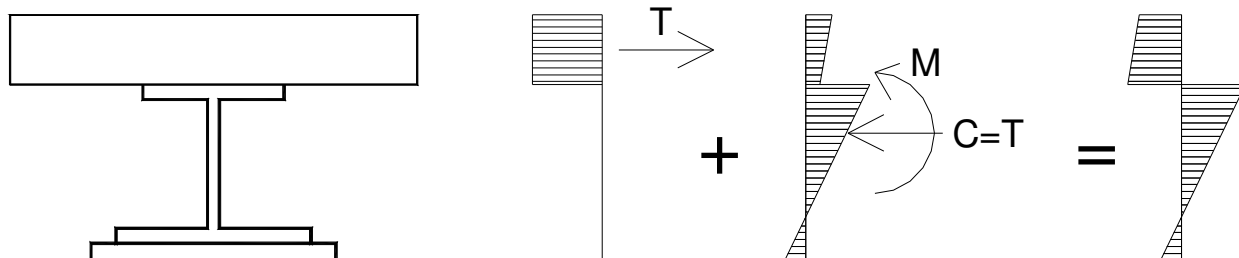
dove è stata considerata, in accordo con l'EC2, una resistenza media del calcestruzzo al momento dell'insorgere della fessurazione per ritiro pari a 25 kg/cm^2 .

Questa forza è applicata al baricentro della soletta, e dà luogo ad un momento pari a

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

dove Y_G è la distanza tra il baricentro della sezione omogeneizzata 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 omogeneizzata, sommandone poi gli effetti.

7.5. Termica (ϵ_3)

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

$$\frac{\Delta T}{h} = \frac{10}{2.73} = 3.7^\circ\text{C/m}$$

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 $\Delta T^\circ = \pm 30^\circ\text{C}$.

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.

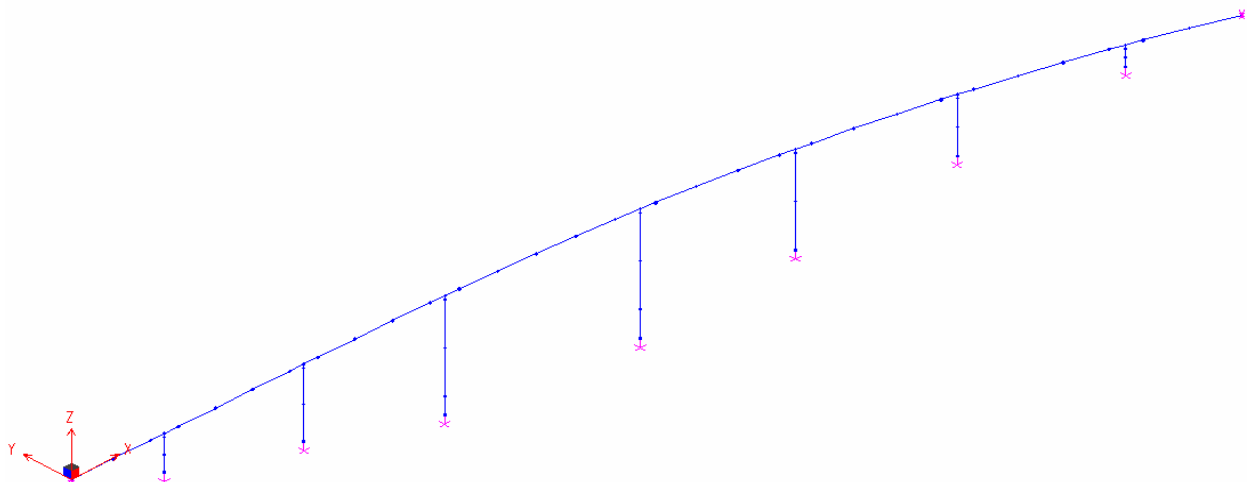
La presente relazione è stata redatta per mezzo del programma WORD©, sempre della Microsoft. Per semplicità di esposizione nominiamo le travi longitudinali come "trave SX", "trave CE" e "trave DX" a partire da sinistra verso destra, guardando le progressive crescenti. Allo stesso modo definiamo, di conseguenza, come "lato SX" il lato sinistro del ponte (esterno della curva) e come "lato DX" quello destro (interno 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 7, 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^* .



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 67 elementi tipo "frame", per un totale di 105 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 rigidità 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 3 e della pila 4, mentre tutti gli altri appoggi, incluse le spalle, sono stati modellato 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 rigidzze. Tali rigidzze sono state calcolate come segue:

- plinto a 6 pali (pile 1 e 7):

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
K_v	6000000 kN/m	rigidezza assiale
$K_{\theta x}$	77440000 kN m	rigidezza flessionale asse x
$K_{\theta z}$	50460000 kN m	rigidezza flessionale asse y
K_{hp}	737605.3 kN/m	rigidezza orizzontale

- plinto a 8 pali (pile 2 e 6)

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 (pila 5)

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

- plinto a 12 pali (pile 3 e pila 4)

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}	2.5 m	altezza plinto
n_{pali}	12	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	12000000 kN/m	rigidezza assiale
$K_{\theta x}$	3.04E+ 08 kN m	rigidezza flessionale asse x
$K_{\theta z}$	1.62E+ 08 kN m	rigidezza flessionale asse y
K_{hp}	2179950 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 rigidità),
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 33 diversi tipi di sezione:

- 1 trave da 40m concio 1 in acciaio,
- 2 trave da 40m concio 2 in acciaio,
- 3 trave da 40m concio 3 in acciaio,
- 4 trave da 60m concio 1 in acciaio,
- 5 trave da 60m concio 2 in acciaio,
- 6 trave da 60m concio 3 in acciaio,
- 7 trave da 80m concio 1 in acciaio,
- 8 trave da 80m concio 2 in acciaio,
- 9 trave da 80m concio 3 in acciaio,
- 10 trave da 40m concio 1 in acciaio-c.a. (n=18),
- 11 trave da 40m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
- 12 trave da 40m concio 3 in acciaio-c.a. (n=18),
- 13 trave da 60m concio 1 in acciaio-c.a. (n=18),
- 14 trave da 60m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
- 15 trave da 60m concio 3 in acciaio-c.a. (n=18),
- 16 trave da 80m concio 1 in acciaio-c.a. (n=18),
- 17 trave da 80m concio 2 in acciaio-c.a. (n=18),
- 18 trave da 80m concio 3 in acciaio-c.a. (n=18),
- 19 trave da 40m concio 1 in acciaio-c.a. (n=6),
- 20 trave da 40m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
- 21 trave da 40m concio 3 in acciaio-c.a. (n=6),
- 22 trave da 60m concio 1 in acciaio-c.a. (n=6),
- 23 trave da 60m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
- 24 trave da 60m concio 3 in acciaio-c.a. (n=6),
- 25 trave da 80m concio 1 in acciaio-c.a. (n=6),
- 26 trave da 80m concio 2 in acciaio-c.a. (n=6),
- 27 trave da 80m concio 3 in acciaio-c.a. (n=6),
- 28 sezione pile 1, 2 e 6, e parte superiore pile 3, 4 e 5,
- 29 sezione pila 7,
- 30 sezione parte inferiore pile 3, 4 e 5,
- 31 fondazione pile,
- 32 appoggi fissi,
- 33 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:

$$a_g = 0.35 \text{ g}$$

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:

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

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

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

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

S è un fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione, che nel caso in esame (argille di media 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 $S_d(T) \geq 0.2a_g$.

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:

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

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

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

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

dove: $S = 1.0$

$q = 1.0$

$$\begin{aligned} T_B &= 0.05 \\ T_C &= 0.15 \\ T_D &= 1.0. \end{aligned}$$

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 $t_{r0}=475$ anni, e $t_{rc}=95$ anni (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:

$$\begin{aligned} S_d(T) &= \frac{a_{gc} S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta 2.5 - 1) \right]}{2.5} & 0 \leq T < T_B \\ S_d(T) &= \frac{a_{gc} S \eta 2.5}{2.5} & T_B \leq T < T_C \\ S_d(T) &= \frac{a_{gc} S \eta 2.5 \left(\frac{T_C}{T} \right)}{2.5} & T_C \leq T < T_D \\ S_d(T) &= \frac{a_{gc} S \eta 2.5 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)}{2.5} & T_D \leq T \end{aligned}$$

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:

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

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:

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

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

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

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

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)	5.36	2.67	1.90	1.39	1.35	1.28	1.21	1.14	1.08	1.01	
Coefficiente di partecipazione	x	73.79	0.33	0.24	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
	y	0.98	39.35	0.10	18.23	0.05	0.07	0.06	0.01	0.46	0.00

Il primo modo di vibrare è longitudinale, il secondo ed il quarto sono invece trasversali; il quinto modo è associato ad un comportamento flessionale 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 secondo e il quarto in caso di sisma trasversale.

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

$$S_d(T) = 0.76 \quad \text{per lo SLU}$$

$$S_d(T) = 0.17 \quad \text{per lo SLE}$$

che corrisponde ad un incremento dei pesi pari rispettivamente al 7.6% e al 1.7%. 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:

$$S_d(T) = 3.09 \quad \text{per lo SLU}$$

$$S_d(T) = 1.76 \quad \text{per lo SLE}$$

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. 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)
- Frenatura (positiva)
- Vento (verso l'interno)
- Gradiente termico (positivo)

Tipo Campata (m)	Concio	N° Campata	Peso Proprio	Permanente + Ritiro	Accidentali	Totale	M sulla trave più sollecitata
40	2	1	5555.0	4738.0	36588.5	46881.5	17347
40	3	1	5555.0	4738.0	36588.5	46881.5	17347
60	2	2	15143.5	4946.1	63077.3	83166.9	29818
60	3	2	20073.8	6363.7	64919.8	91357.4	32863
80	2	4	14913.1	5858.3	39279.8	60051.3	22092
80	3	4	22350.3	8555.2	43903.1	74808.6	27330

2 valori più sfavorevoli all'appoggio (momento negativo) dovuti alla combinazione di:

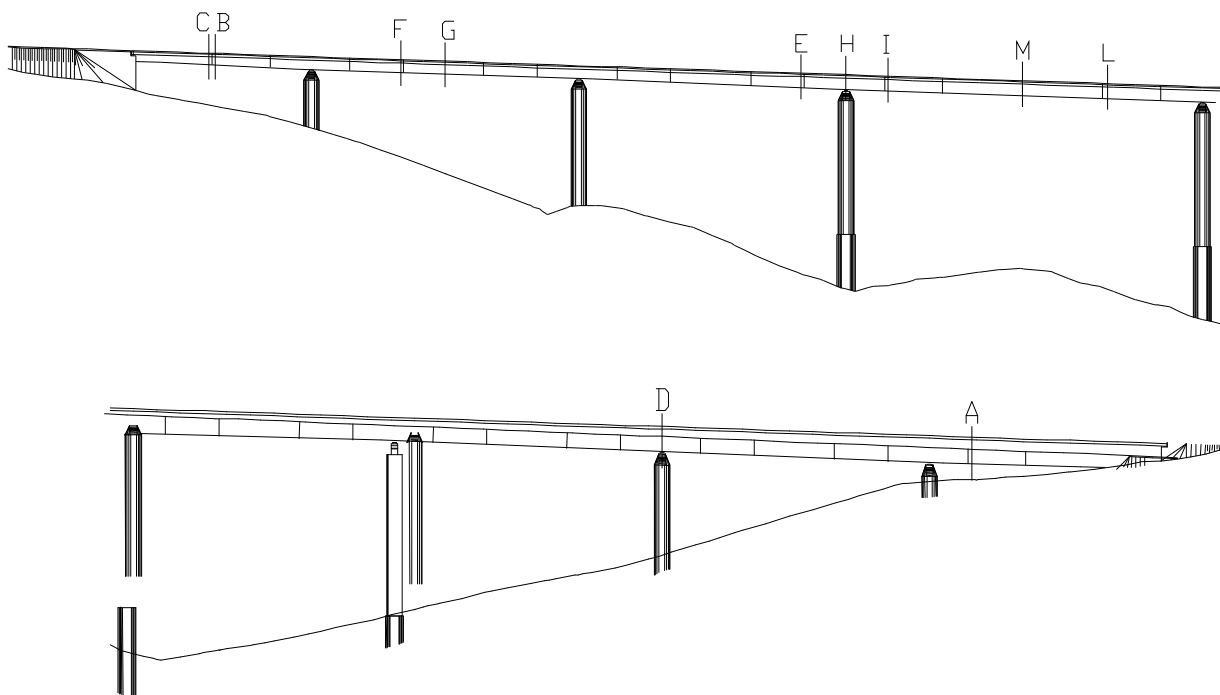
- Peso proprio
- Pesi permanenti portati
- Ritiro
- Carico mobile (valori minimi)
- Frenatura (negativa)
- Vento (verso l'esterno)
- Gradiente termico (negativo)

Tipo Campata (m)	Concio	N° Pila	Peso Proprio	Permanente + Ritiro	Accidentali	Totale	M sulla trave più sollecitata
40	2	7	-10882.2	-3041.0	-37580.9	-51504.0	-11936
60	1	6	-50015.9	-14518.0	-32024.3	-96558.3	-35732
60	2	3	-40896.3	-11535.2	-46296.1	-98727.6	-30598
80	1	3	-72883.2	-21612.7	-67750.1	-162246.1	-50374
80	2	3	-35762.7	-9875.9	-47568.5	-93207.1	-25617

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 mezzzeria, le sezioni di appoggio sulle pile e le sezioni di giunto.



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.

Poiché la larghezza della soletta collaborante risulta maggiore rispetto alla larghezza complessiva della soletta di c.l.s., per il calcolo della sezione omogeneizzata è stato utilizzato quest'ultimo valore.

Nel presente paragrafo si procederà alla determinazione della tensioni calcolate considerando un valore del rapporto (E_a/E_c) pari a 6 per i carichi accidentali e pari a 18 per i carichi permanenti portati.

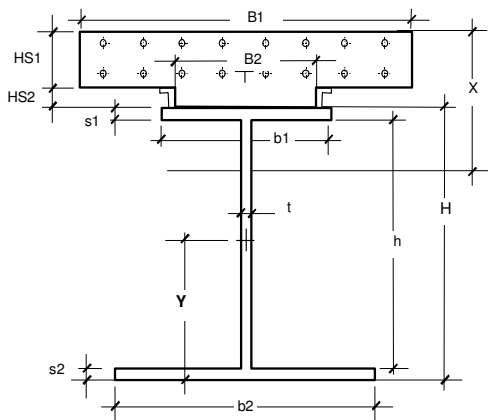
I valori delle sollecitazioni di seguito tabellate fanno riferimento alle combinazioni di carico, già descritte in precedenza, depurate dei pesi propri delle travi metalliche e della soletta.

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. Sezione A - Campata da 40m - concio 2

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	2,00	80,00	3,20	214,5	2,50	220,0	883	5253347	87.5	60 039	46 696

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.1.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -1790.3 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	132,50 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	2319 tm Momento plastico
Taglio	205,7 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	998 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	2319 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	1790,3 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,30

11.1.1.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -1193.6 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	-364.0	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	-77.95	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	60.63	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-102.7	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}	-19.38	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-16.70	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-15.64	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	15.45	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-726.9	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}	-137.19	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-118.25	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-110.77	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	109.42	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

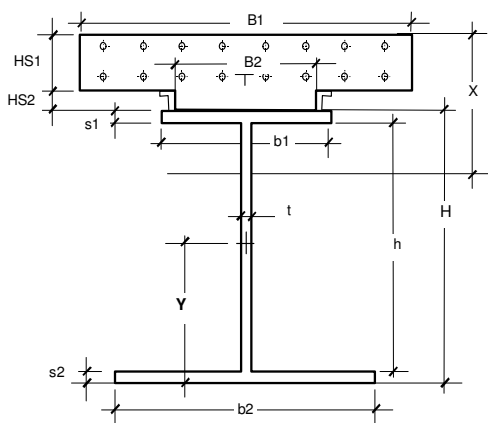
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.37	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-6.61	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	12.71	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	12.71	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-163.18	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-16.70	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-191.65	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	198.21	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.2. Sezione B - Campata da 40m - concio 2

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	2,00	80,00	3,20	214,5	2,50	200,0	883	5253347	87.5	60 039	46 696

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.2.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 2602.0 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	29,54 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	3283 tm Momento plastico
Taglio	45,8 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	878 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	3283 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	2602,0 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,26

11.1.2.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 1734.7 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	180.7	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	40.52	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-30.92	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	155.3	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)
σ_{csup}	0.65	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	11.17	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	8.78	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	7.84	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-19.90	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	1398.7	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)
σ_{csup}	8.44	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	46.81	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	30.37	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	23.87	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-167.24	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

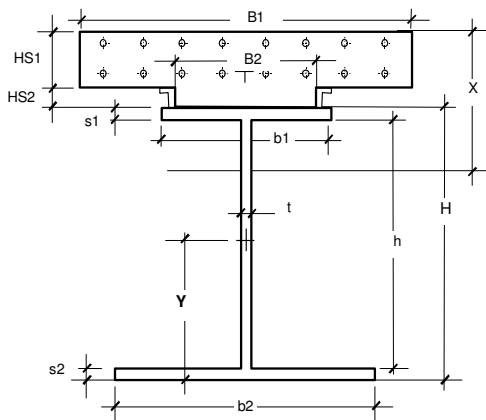
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.60	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-10.87	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	8.45	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	8.45	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	8.49	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	47.10	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	8.78	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	80.68	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-209.62	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.3. Sezione C - Campata da 40m - concio 3

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	2,00	80,00	2,60	214,5	2,00	200,0	739	4583931	91.1	50 300	42 105

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.3.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 2602.0 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	28,23 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	2871 tm Momento plastico
Taglio	45,8 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	801 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	2871 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	2602,0 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,10

11.1.3.2. *Verifica allo S.L.E.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 1734.7 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	180.7	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	42.91	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-35.92	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	155.3	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)
σ_{csup}	0.68	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	11.54	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	8.88	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	7.83	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-23.15	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	1398.7	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)
σ_{csup}	8.80	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	48.46	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	29.76	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	22.36	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-195.10	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

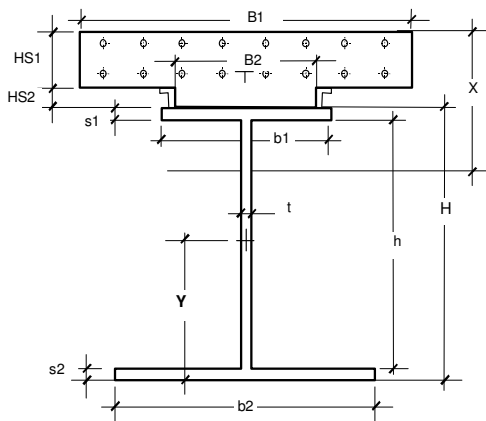
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.57	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-10.35	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	8.97	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	8.97	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	8.90	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	49.65	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	8.88	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	82.07	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-245.20	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.4. Sezione D - Campata da 60m - concio 1

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b_1	s_1	b_2	s_2	h	t	H	A	J_x	Y	W_{inf}	W_{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	4,50	90,00	4,00	236,5	2,20	245,0	1591	16227041	94.5	171 635	105 744

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

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	115,9	4	115,9	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 20/20$ e uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.4.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -5359.8 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	111,57 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	6390 tm Momento plastico
Taglio	411,3 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1.161 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	6350 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio

Verifica allo S.L.U.		
Mu	5359,8 tm <	Mpr
coeff.di sicurezza		1,18

11.1.4.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -3573.2 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	-1667.7	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	-157.71	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	97.16	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-484.3	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}	-34.32	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-30.53	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-29.04	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	25.52	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-1421.2	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}	-100.70	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-89.60	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-85.21	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	74.90	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

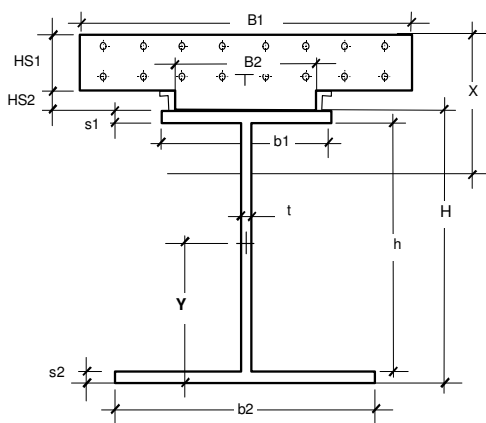
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.50	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-9.04	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	6.79	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	6.79	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-144.06	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-30.53	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-265.17	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	204.37	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.5. Sezione E - Campata da 60m - concio 2

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b_1	s_1	b_2	s_2	h	t	H	A	J_x	Y	W_{inf}	W_{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	4,00	90,00	5,00	236,5	2,20	245,0	1494	14618677	89.6	163 116	94 084

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

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

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.5.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$M = -4589.7 \text{ tm}$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo		
x	134,69	cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	5815	tm Momento plastico
Taglio	201,3	t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1053	t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	4815	tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio

Verifica allo S.L.U.		
Mu	4589,7 tm <	Mpr
coeff.di sicurezza		1,27

11.1.5.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -3059.8 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	-1363.7	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	-144.94	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	83.60	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-384.7	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}	-29.37	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-26.14	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-24.86	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	21.13	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-1311.4	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}	-100.13	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-89.12	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-84.77	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	72.05	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

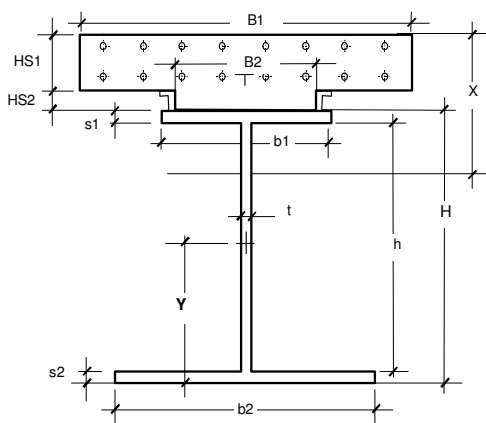
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.48	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-8.66	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	7.17	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	7.17	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-138.15	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-26.14	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-247.40	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	183.96	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.6. Sezione F - Campata da 60m - concio 2

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	4,00	90,00	5,00	236,5	2,20	245,0	1276	12506978	110,9	112.784	93.261

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.6.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 4472.7 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	50,24 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	5739 tm Momento plastico
Taglio	39,3 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1064 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	5739 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	4472,7 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,28

11.1.6.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 2981.8 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	500.3	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	54.84	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-42.16	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	162.0	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)
σ_{csup}	0.45	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	7.78	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	6.56	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	6.08	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-11.27	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	2319.4	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)
σ_{csup}	9.71	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	55.18	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	42.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	36.79	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-150.89	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

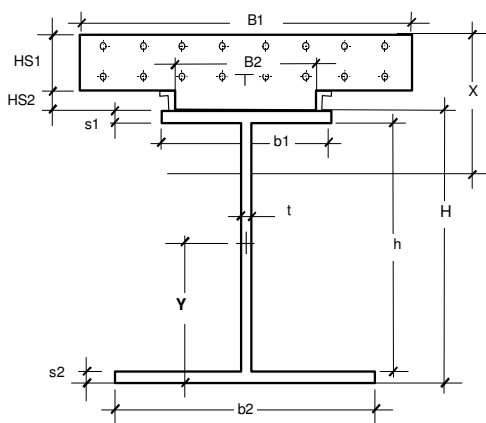
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.71	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-12.77	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	6.55	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	6.55	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	9.44	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	50.18	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	6.56	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	104.26	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-197.77	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.7. Sezione G - Campata da 60m - concio 3

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	3,00	90,00	5,00	237,0	2,00	245,0	1134	11077756	97,7	113.378	75.209

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.7.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 4929.5 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	57,26 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	5544 tm Momento plastico
Taglio	61,7 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	972 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	5544 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	4929,5 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,12

11.1.7.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 3286.3 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	666.7	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	88.64	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-58.80	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	210.3	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)
σ_{csup}	0.61	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	10.65	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	9.02	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	8.37	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-14.92	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	2409.3	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)
σ_{csup}	10.27	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	58.37	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	44.40	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	38.87	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-160.10	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

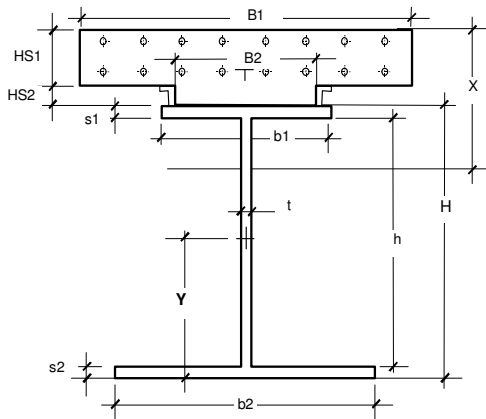
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.69	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-12.35	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	6.97	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	6.97	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	10.20	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	56.67	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	9.02	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	142.86	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-226.85	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.8. Sezione H - Campata da 80m - concio 1

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b_1	s_1	b_2	s_2	h	t	H	A	J_x	Y	W_{inf}	W_{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
80,00	5,00	90,00	4,00	291,5	2,40	304,0	1839	28626579	127,4	224.711	162.092

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

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	130,8	4	130,8	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 22/20$ e uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.8.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -7556.2 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo		
x	115,93	cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	8701	tm Momento plastico
Taglio	521,8	t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1434	t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	8621	tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio

Verifica allo S.L.U.			
Mu	7556,2	tm <	Mpr
coeff.di sicurezza			1,14

11.1.8.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -5037.4 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	-2430.7	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	-151.50	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	108.67	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-721.0	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}	-34.55	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-31.19	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-29.86	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	29.57	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-1885.8	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}	-90.36	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-81.57	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-78.09	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	77.35	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

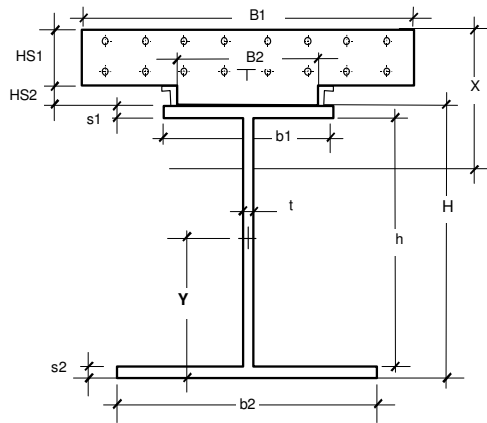
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.52	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-9.27	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	5.97	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	5.97	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-134.18	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-31.19	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-253.48	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	221.57	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.9. Sezione I - Campata da 80m - concio 2

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
80,00	3,00	90,00	4,00	293,0	2,20	300,0	1245	17549360	136,1	128.958	107.064

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.9.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -3842.5 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	184,21 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	4787 tm Momento plastico
Taglio	407,5 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1321 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	4787 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	3842,5 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,25

11.1.9.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = -2561.7 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	-1193.3	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	-115.54	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	93.32	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-329.7	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}	-29.38	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-26.53	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-25.41	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	24.24	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	-1038.7	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}	-92.56	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-83.60	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-80.05	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	76.38	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

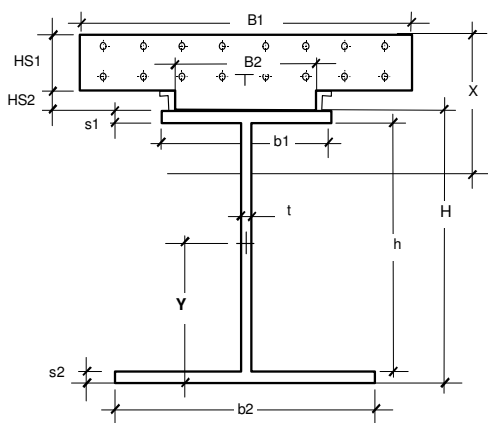
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.55	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-9.94	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	9.38	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	9.38	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	0.00	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-131.89	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	-26.53	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	-211.61	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	203.33	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.10. Sezione L - Campata da 80m - concio 2

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
80,00	3,00	90,00	4,00	293,0	2,20	300,0	1245	17549360	136,1	128.958	107.064

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.10.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 3313.8 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	66,37 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	6665 tm Momento plastico
Taglio	207,3 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1321 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	6665 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	3313,8 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	2,01

11.1.10.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 2209.2 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	496.3	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	48.05	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-38.81	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	195.0	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)
σ_{csup}	0.46	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	7.95	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	6.88	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	6.45	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-12.28	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	1517.9	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)
σ_{csup}	5.31	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	30.42	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	24.10	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	21.60	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-88.65	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

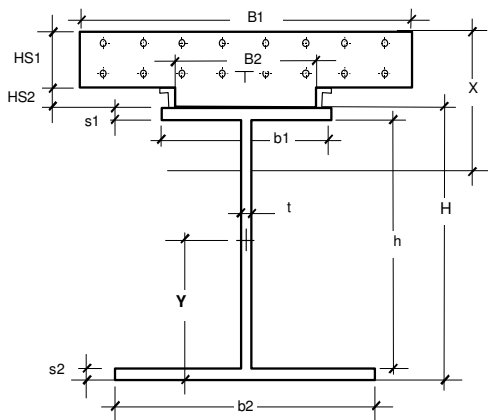
Tensioni dovute a	Nrit=	2475	kN
σ_{csup}	-0.71	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	-12.70	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	6.62	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	6.62	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

σ_{csup}	5.06	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	25.67	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	6.88	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	82.72	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-133.12	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

11.1.11. Sezione M - Campata da 80m - concio 3

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



Caratteristiche geometriche trave metallica											
b ₁	s ₁	b ₂	s ₂	h	t	H	A	J _x	Y	W _{inf}	W _{sup}
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
70,00	2,00	90,00	3,00	293,5	2,00	300,0	1000	12982650	131.1	99 059	76 848

Caratteristiche geometriche 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	450	6	0	45,2	4	45,2	21

La soletta è stata armata sia superiormente che inferiormente con uno strato di $\phi 16/20$.

11.1.11.1. *Verifica allo S.L.U.*

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 4099.5 \text{ tm}$$

Momento plastico della sezione mista acciaio-calcestruzzo	
x	71,26 cm l'asse neutro taglia l'anima della trave metallica (Posizione asse neutro calcolata rispetto l'estradosso della soletta)
Mp	6.376 tm Momento plastico
Taglio	45,2 t Sforzo di taglio di calcolo incrementato con γ_f
Tp	1.203 t Taglio che produce la completa plasticizzazione dell'anima
Mpr	6.376 tm Momento plastico ridotto per la presenza del taglio
Verifica allo S.L.U.	
Mu	4099,5 tm < Mpr
coeff.di sicurezza	1,56

11.1.11.2. Verifica allo S.L.E.

La sollecitazione flettente massima di riferimento vale:

$$M = 2733.0 \text{ tm}$$

Verifica delle tensioni in esercizio

Mt,a =	744.3	tm	Momento flettente agente sulla sola trave metallica (soletta fresca)
$\sigma_{a,sup}$	96.86	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-75.14	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	284.7	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=18)
σ_{csup}	0.74	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	12.95	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	11.10	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	10.37	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-21.89	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Mt,m =	1704.0	tm	Momento flettente sulla trave composta (soletta indurita n=6)
σ_{csup}	6.40	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	36.47	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	28.10	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	24.79	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-121.30	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}	-11.78	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	0.00	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	7.54	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	7.54	Mpa	Tensione al lembo inferiore della trave metallica

Tensioni risultanti

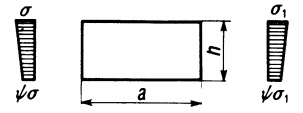
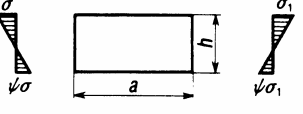
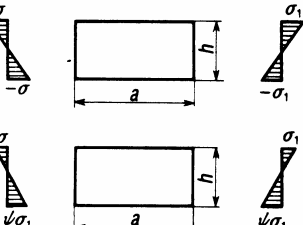
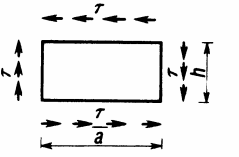
σ_{csup}	6.49	Mpa	Tensione nel cls al lembo superiore della soletta
σ_{abs}	37.64	Mpa	Tensione nelle barre superiori
σ_{abi}	11.10	Mpa	Tensione nelle barre inferiori
$\sigma_{a,sup}$	139.56	Mpa	Tensione al lembo superiore della trave metallica
$\sigma_{a,inf}$	-210.78	Mpa	Tensione al lembo inferiore 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 4 e 5.

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 verifica.

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 $0 \leq \psi \leq 1$		$\alpha \geq 1$	$k_\sigma = \frac{8,4}{\psi + 1,1}$
			$\alpha < 1$	$k_\sigma = \left(\alpha + \frac{1}{\alpha}\right)^2 \frac{2,1}{\psi + 1,1}$
II	Tensione di compressione e trazione variabili linearmente, ma preponderante la tensione di compressione $-1 < \psi < 0$		$\sigma_{cr} = k_\sigma \sigma_{cr,0}$	$k_\sigma = 1 + \psi k_1 - \psi k_3 + 10 \psi (1 + \psi)$ 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 $\psi < -1$		$\alpha \geq \frac{2}{3}$	$k_\sigma = 23,9$
			$\alpha < \frac{2}{3}$	$k_\sigma = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6 \alpha^2$
IV	Tensione tangenziale uniformemente distribuita		$\alpha \geq 1$	$k_\tau = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$
			$\alpha < 1$	$k_\tau = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$

* Per i valori della tensione di riferimento $\sigma_{cr,0}$ 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:

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

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:

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

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

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

ν è il coefficiente definito al punto 7.1;

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

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 di 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. Sezione A - Campata da 40m - concio 2

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

T	117,1	t	sforzo di taglio
i	550,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	2,50		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	-0,62		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	15,43		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	4,78		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,0}$	24	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	371,0	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	115,0	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	217	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	21	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	21	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	357,2	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	1,6		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

11.2.2. Sezione D - Campata da 60m - concio 1

Le indicazioni di dettaglio della geometria della sezione sono riportate al paragrafo 4.1. Vengono eseguite due verifiche in corrispondenza del 1° campo, compreso tra la pila ed il primo trasverso, e del secondo campo, tra il primo ed il secondo trasverso.

Campo1:

T	274.2	t	sforzo di taglio
i	300.0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	1.21		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	-1.10		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	23.90		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	8.07		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,0}$	17	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	416.8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	140.8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	223	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	46	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	46	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	378.9	Mpa	tensione di confronto
β_v	1.2		
	1.6		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Campo2:

T	231,8	t	sforzo di taglio
i	400,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	1,61		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	-0,95		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	22,51		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	5,50		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,0}$	17	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	392,5	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	95,9	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	169	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	39	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	39	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	306,6	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	1,7		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

11.2.3. Sezione E - Campata da 60m - concio 2

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

T	134.2	<i>t</i>	<i>sforzo di taglio</i>
i	300.0	<i>cm</i>	<i>interasse irrigidimenti longitudinali</i>
α	1.22		<i>rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima</i>
ψ	-1.11		<i>coeff. che definisce la legge di variazione della σ</i>
kσ	23.90		<i>coefficiente d'imbozzamento</i>
kτ	8.01		<i>coefficiente d'imbozzamento</i>
σ_{cr,0}	15	<i>Mpa</i>	<i>tensione di riferimento</i>
σ_{cr}	358.8	<i>Mpa</i>	<i>tensione ideale d'imbozzamento</i>
τ_{cr}	120.2	<i>Mpa</i>	<i>tensione ideale d'imbozzamento</i>
σ₁	204	<i>Mpa</i>	<i>tensione massima normale nell'anima</i>
τ₁	25	<i>Mpa</i>	<i>tensione media di taglio nell'anima</i>
τ₂	0	<i>Mpa</i>	<i>tensione di taglio derivante dalla torsione</i>
τ_{tot}	25	<i>Mpa</i>	<i>tensione di taglio complessiva</i>
σ_{cr,id}	345.1	<i>Mpa</i>	<i>tensione di confronto</i>
β_v	1.2		
	1.7		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

11.2.4. Sezione H - Campata da 80m - concio 1

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

Vengono eseguite due verifiche in corrispondenza del 1° campo, compreso tra la pila ed il primo trasverso, e del secondo campo, tra il primo ed il secondo trasverso.

Campo1:

Poiché la sezione non verifica, è necessario progettare un rinforzo longitudinale, che viene inserito ad una distanza dalla piattabanda compressa pari a 80cm. L'anima della trave viene quindi divisa in due pannelli, che devono essere anch'essi verificati all'imbozzamento. Affinchè il comportamento reale sia effettivamente questo, l'irrigidimento deve possedere una rigidità adeguata. Il suo dimensionamento e la sua verifica sono riportati nel paragrafo 9.4.

Pannello inferiore:

$\sigma_1 (+)$	=	238,23	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	113,22	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-236,81	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	347,9	t	sforzo di taglio
i	300,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	3,75		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	0,48		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	5,33		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	4,50		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,o}$	168	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	893,6	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	754,0	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	238	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	48	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	48	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	906,7	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	3,6		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Pannello superiore:

$\sigma_1 (+)$	=	238,23	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	113,22	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-236,81	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	347,9	t	sforzo di taglio
i	300,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	1,34		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	-2,09		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	23,90		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	7,57		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,0}$	21	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	510,9	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	161,8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	113	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	48	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	48	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	403,3	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,2		
	2,9		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Campo2:

Poiché la sezione non verifica, è necessario progettare un rinforzo longitudinale, che viene inserito ad una distanza dalla piattabanda compressa pari a 80cm. L'anima della trave viene quindi divisa in due pannelli, che devono essere anch'essi verificati all'imbozzamento. Affinchè il comportamento reale sia effettivamente questo, l'irrigidimento deve possedere una rigidità adeguata. Il suo dimensionamento e la sua verifica sono riportati nel paragrafo 9.4.

Pannello inferiore:

$\sigma_1 (+)$	=	180,73	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	89,13	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-167,34	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	308,4	t	sforzo di taglio
i	300,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	3,75		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	0,49		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	5,27		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	4,50		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,0}$	168	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	883,6	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	754,0	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	181	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
τ_{tot}	42	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	901,6	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	4,6		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Pannello superiore:

$\sigma_1 (+)$	=	180,73	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	89,13	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-167,34	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	308,4	t	sforzo di taglio
i	300,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	1,34		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	-1,88		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	23,90		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	7,57		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,o}$	21	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	510,9	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	161,8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	89	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
τ_{tot}	42	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	386,2	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,2		
	3,3		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

11.2.5. Sezione I - Campata da 80m - concio 2

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

Campo1:

Poiché la sezione non verifica, è necessario progettare un rinforzo longitudinale, che viene inserito ad una distanza dalla piattabanda compressa pari a 80cm. L'anima della trave viene quindi divisa in due pannelli, che devono essere anch'essi verificati all'imbozzamento. Affinchè il comportamento reale sia effettivamente questo, l'irrigidimento deve possedere una rigidità adeguata. Il suo dimensionamento e la sua verifica sono riportati nel paragrafo 9.4.

Pannello inferiore:

$\sigma_1 (+)$	=	175,97	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	96,82	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-120,84	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	248,3	t	sforzo di taglio
i	450,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	5,63		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	0,55		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	5,09		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	4,37		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,o}$	141	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	716,8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	615,8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	176	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	38	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	38	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	728,9	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	3,9		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Pannello superiore:

$\sigma_1 (+)$	=	175,97	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	96,82	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-120,84	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	248,3	t	sforzo di taglio
i	450,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	2,05		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	-1,25		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	23,90		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	5,04		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,o}$	19	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	445,0	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	93,8	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	97	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	38	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	38	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	259,7	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	2,2		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Campo2:

Poiché la sezione non verifica, è necessario progettare un rinforzo longitudinale, che viene inserito ad una distanza dalla piattabanda compressa pari a 80cm. L'anima della trave viene quindi divisa in due pannelli, che devono essere anch'essi verificati all'imbozzamento. Affinchè il comportamento reale sia effettivamente questo, l'irrigidimento deve possedere una rigidità adeguata. Il suo dimensionamento e la sua verifica sono riportati nel paragrafo 9.4.

Pannello inferiore:

$\sigma_1 (+)$	=	238,23	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	111,56	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-236,81	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	347,9	t	sforzo di taglio
i	300,0	cm	interasse irrigidimenti longitudinali
α	3,75		rapporto tra l'interasse degli irrigidimenti e l'altezza dell'anima
ψ	0,47		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	5,36		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	4,50		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,o}$	141	Mpa	tensione di riferimento
σ_{cr}	754,2	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
τ_{cr}	633,6	Mpa	tensione ideale d'imbozzamento
σ_1	238	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	53	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	53	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	767,3	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,5		
	3,0		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v se verificato

Pannello superiore:

$\sigma_1 (+)$	=	238,23	tensione di compressione all'intradosso dell'ala inferiore
$\sigma (+)$	=	111,56	tensione di compressione in corrispondenza dell'irrigidimento
$\sigma_2 (-)$	=	-236,81	tensione di trazione all'estradosso dell'ala superiore

T	347,9	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	-2,12		coeff. che definisce la legge di variazione della σ
$k\sigma$	23,90		coefficiente d'imbozzamento
$k\tau$	7,49		coefficiente d'imbozzamento
$\sigma_{cr,0}$	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	112	Mpa	tensione massima normale nell'anima
τ_1	53	Mpa	tensione media di taglio nell'anima
τ_2	0	Mpa	tensione di taglio derivante dalla torsione
τ_{tot}	53	Mpa	tensione di taglio complessiva
$\sigma_{cr,id}$	338,8	Mpa	tensione di confronto
β_v	1,2		
	2,4		valore di riferimento per la verifica all'imbozzamento maggiore di β_v 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

Appoggio:

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 \gamma_T^* h_w t_w^3 =$	27216288 mm⁴
Irrigidimento:		
$b_a =$	299 mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20 mm	spessore anima irrigidimento
$b_f =$	300 mm	larghezza flangia irrigidimento
$s_f =$	20 mm	spessore flangia irrigidimento
$I =$	813197793 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,41	coefficiente
$\gamma_T^* =$	8	coefficiente di rigidità flessionale
	VERIFICATO	

Campata:

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 \gamma_T^* h_w t_w^3 =$	27216288 mm⁴
Irrigidimento:		
$b_a =$	300 mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20 mm	spessore anima irrigidimento
$\lambda =$	15,0	rapporto tra larghezza e spessore irrigidimento
$I =$	200526000 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,41	coefficiente
$\gamma_T^* =$	8	coefficiente di rigidità flessionale
	VERIFICATO	

11.3.1.2. Campata da 60m

Appoggio:

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 \gamma_T^* h_w t_w^3 =$	39232512 mm⁴
Irrigidimento:		
$b_a =$	298 mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	20 mm	spessore anima irrigidimento
$b_f =$	300 mm	larghezza flangia irrigidimento
$s_f =$	20 mm	spessore flangia irrigidimento
$I =$	813195147 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,27	coefficiente
$\gamma_T^* =$	8	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		

Campata:

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 \gamma_T^* h_w t_w^3 =$	39232512 mm⁴
Irrigidimento:		
$b_a =$	300 mm	larghezza anima irrigidimento
$s_a =$	25 mm	spessore anima irrigidimento
$\lambda =$	12,0	rapporto tra larghezza e spessore irrigidimento
$I =$	253080000 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,27	coefficiente
$\gamma_T^* =$	8	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		

11.3.1.3. Campata da 80m

Appoggio e campata:

Deve risultare:		
	$I > 0.15 \gamma_T^* h_w t_w^3 =$	345752064 mm⁴
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 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$\gamma_T^* =$	57	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		

11.3.2. Irrigidimenti longitudinali

11.3.2.1. *Campata da 80m*

Concio1 (campo1):

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 m_L \gamma_L^* h_w t_w^3 =$	91369854 mm⁴
Sezione aperta		
$h_w =$	2915 mm	altezza anima
$t_w =$	24 mm	spessore anima
Irrigidimento:		
Profilato	HE 200 A	
$b =$	200 mm	larghezza irrigidimento
$A_L =$	5380 mm²	area irrigidimento
$I_0 =$	36920000 mm⁴	momento Inerzia baricentrico irrigidimento
$e =$	112 mm	distanza anima trave-baricentro irrigidimento
$I =$	104406720 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$m_L =$	1,00	coefficiente
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,03	coefficiente
$\sigma_1 =$	238,235 Mpa	tensione piattabanda compressa
$\sigma_2 =$	-236,808 Mpa	tensione piattabanda tesa
$\tau =$	48 Mpa	tensione tangenziale media
$\psi =$	-1,006	
$\delta =$	0,077	coefficiente
$h_1 =$	800 mm	distanza irrigidimento-piattabanda compressa
$\eta_1 =$	0,274	coefficiente
$W =$	0,799	coefficiente
$\gamma_{L,\sigma}^* =$	15,116	
$\gamma_{L,\tau}^* =$	6,821	
$\gamma_{L}^* =$	15,116	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		

Concio1 (campo2):

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 m_L \gamma_L^* h_w t_w^3 =$	91369854 mm⁴
Sezione aperta		
$h_w =$	2915 mm	altezza anima
$t_w =$	24 mm	spessore anima
Irrigidimento:		
Profilato	HE 200 A	
$b =$	200 mm	larghezza irrigidimento
$A_L =$	5380 mm²	area irrigidimento
$I_0 =$	36920000 mm⁴	momento Inerzia baricentrico irrigidimento
$e =$	112 mm	distanza anima trave-baricentro irrigidimento
$I =$	104406720 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$m_L =$	1,00	coefficiente
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,03	coefficiente
$\sigma_1 =$	180,728 Mpa	tensione piattabanda compressa
$\sigma_2 =$	-167,345 Mpa	tensione piattabanda tesa
$\tau =$	42 Mpa	tensione tangenziale media
$\psi =$	-1,080	
$\delta =$	0,077	coefficiente
$h_1 =$	800 mm	distanza irrigidimento-piattabanda compressa
$\eta_1 =$	0,274	coefficiente
$W =$	0,799	coefficiente
$\gamma_{L,\sigma}^* =$	15,116	
$\gamma_{L,\tau}^* =$	6,821	
$\gamma_L^* =$	15,116	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		

Concio2 (campo1):

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 m_L \gamma_L^* h_w t_w^3 =$	71123738 mm⁴
Sezione aperta		
$h_w =$	2930 mm	altezza anima
$t_w =$	22 mm	spessore anima
Irrigidimento:		
Profilato HE 200 A		
$b =$	200 mm	larghezza irrigidimento
$A_L =$	5380 mm²	area irrigidimento
$I_0 =$	36920000 mm⁴	momento Inerzia baricentrico irrigidimento
$e =$	111 mm	distanza anima trave-baricentro irrigidimento
$I =$	103206980 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$m_L =$	1,00	coefficiente
$a =$	3000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,02	coefficiente
$\sigma_1 =$	238,235 Mpa	tensione piattabanda compressa
$\sigma_2 =$	-236,808 Mpa	tensione piattabanda tesa
$\tau =$	48 Mpa	tensione tangenziale media
$\psi =$	-1,006	
$\delta =$	0,083	coefficiente
$h_1 =$	800 mm	distanza irrigidimento-piattabanda compressa
$\eta_1 =$	0,273	coefficiente
$W =$	0,699	coefficiente
$\gamma_{L,\sigma}^* =$	15,198	
$\gamma_{L,\tau}^* =$	6,560	
$\gamma_L^* =$	15,198	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		

Concio2 (campo2):

Deve risultare:		
	$I >= 0.15 m_L \gamma_L^* h_w t_w^3 =$	14039388 mm⁴
Sezione aperta		
$h_w =$	2930 mm	altezza anima
$t_w =$	22 mm	spessore anima
Irrigidimento:		
Profilato	HE 200 A	
$b =$	200 mm	larghezza irrigidimento
$A_L =$	5380 mm²	area irrigidimento
$I_0 =$	36920000 mm⁴	momento Inerzia baricentrico irrigidimento
$e =$	111 mm	distanza anima trave-baricentro irrigidimento
$I =$	103206980 mm⁴	momento inerzia irrigidimento
$m_L =$	1,00	coefficiente
$a =$	4000 mm	interasse irrigidimenti trasversali
$\alpha =$	1,37	coefficiente
$\sigma_1 =$	175,971 Mpa	tensione piattabanda compressa
$\sigma_2 =$	-120,845 Mpa	tensione piattabanda tesa
$\tau =$	38 Mpa	tensione tangenziale media
$\psi =$	-1,456	
$\delta =$	0,083	coefficiente
$h_1 =$	800 mm	distanza irrigidimento-piattabanda compressa
$\eta_1 =$	0,273	coefficiente
$W =$	1,800	coefficiente
$\gamma_{L,\sigma}^* =$	3,000	
$\gamma_{L,\tau}^* =$	2,000	
$\gamma_L^* =$	3,000	coefficiente di rigidezza flessionale
VERIFICATO		