



# ANAS S.p.A.

Direzione Centrale Programmazione Progettazione

## CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO –CALTANISSETTA–A19

### S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001  
Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

## PROGETTO DEFINITIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

ATI:

TECHNITAL s.p.a. (mandataria)

S.I.S. Studio di Ingegneria Stradale s.r.l.

DELTA Ingegneria s.r.l.

INFRATEC s.r.l Consulting Engineering

PROGIN s.p.a.

I RESPONSABILI DI PROGETTO

*Dott. Ing. M. Raccosta*

Ordine Ing. Verona n° A1665

*Prof. Ing. A. Bevilacqua*

Ordine Ing. Palermo n° 4058

*Dott. Ing. M. Carlino*

Ordine Ing. Agrigento n° A628

*Dott. Ing. N. Troccoli*

Ordine Ing. Potenza n° 836

*Dott. Ing. S. Esposito*

Ordine Ing. Roma n° 20837

IL GEOLOGO

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE

*Dott. Ing. M. Raccosta*

VISTO: IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

*Dott. Ing. Massimiliano Fidenzi*

VISTO: IL RESPONSABILE DEL  
SERVIZIO PROGETTAZIONE

*Dott. Ing. Antonio Valente*

DATA

PROTOCOLLO

## OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI OPERE SULL'ASSE PRINCIPALE

### VIADOTTO GIULFO

### RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO – IMPALCATO

CODICE PROGETTO		NOME FILE	REVISIONE	FOGLIO	SCALA:
L0407B D 0501		P01VIO1STRRE01A.pdf			
CODICE ELAB.		P01VIO1STRRE01	A	DI	
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	Ottobre 2006	P. Polani	F. Arciuli	C. Marro
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO RESP. TECNICO	CONTROLLATO RESP. D'ITINERARIO	APPROVATO RESP. DI SETTORE

## INDICE

### RELAZIONE TECNICA

1 Generalità.....	3
2 Criteri di calcolo .....	5
2.1 Impalcato.....	5
2.1.1 Statica longitudinale.....	5
2.1.2 Statica trasversale.....	6
3 Riferimenti normativi .....	7

### RELAZIONE SUI MATERIALI

1 Conglomerati cementizi.....	8
2 Acciaio ad aderenza migliorata.....	10
3 Acciaio da carpenteria.....	10
4 Controventi .....	11
5 Bulloni ad alta resistenza .....	11
6 Pioli con testa tipo “Nelson”.....	11
7 Saldature .....	11

### CALCOLI STATICI

#### PARTE I - IMPALCATO

1 Generalità.....	12
2 Analisi dei carichi .....	12
3 Modelli di calcolo .....	18
4 Analisi strutturale.....	18
4.1 Criteri generali .....	18
4.2 Sollecitazioni di progetto.....	19
5 Verifiche dell’ impalcato .....	25
5.1 Verifica di resistenza travi principali.....	25
5.2 Verifica di stabilità dei pannelli d’anima delle travi principali .....	31
5.3 Soletta .....	38
5.3.1 Verifica di resistenza della soletta .....	38

5.4 Verifica a fessurazione.....	41
----------------------------------	----

## **PARTE II : APPOGGI, GIUNTI E RITEGNI SISMICI**

1 Dimensionamento degli appoggi .....	47
2 Ritegni sismici .....	49
3 Giunti di dilatazione.....	50

APPENDICE A: Sollecitazioni di calcolo dell'impalcato

APPENDICE B: Modelli di calcolo dell'impalcato

# RELAZIONE TECNICA

## 1 Generalità

Nel presente elaborato sono riportati i calcoli statici del Viadotto GIULFO, inserito nei lavori per l' ammodernamento e l' adeguamento alla cat. B del D.M. 5.11.2001 della S.S. 640 "di Porto Empedocle" nel tratto dal km 44+000 allo svincolo con l' A19.

Il viadotto presenta due carreggiate separate. La sezione dell'impalcato è costituita da due travi a doppio T, collegate da traversi ad anima piena posti circa a metà altezza delle travi.

Le caratteristiche geometriche della sezione corrente sono riportate in figura 1.1.

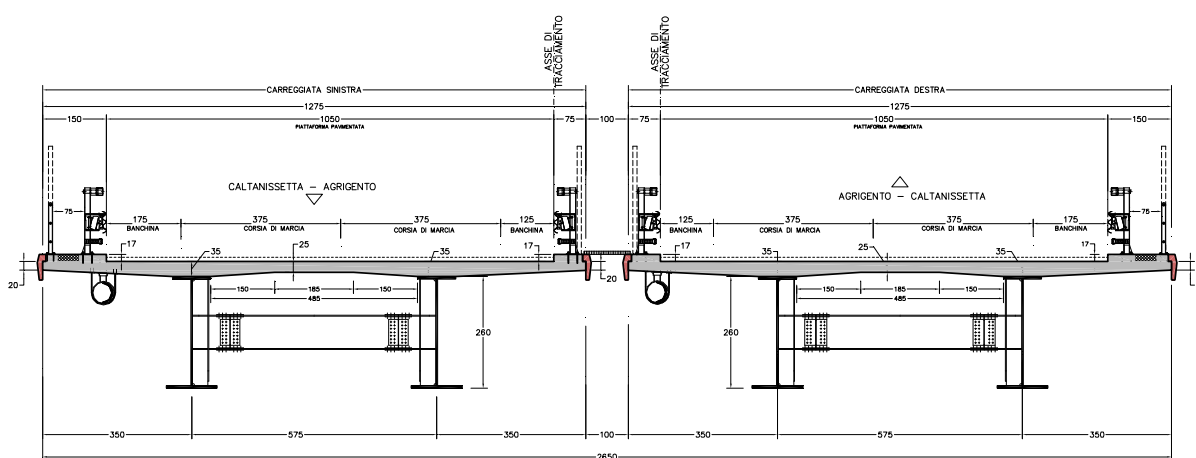


Figura 1.1 - Sezione trasversale impalcato

Ciascun impalcato ha una larghezza complessiva di 12,75 m così suddivisa:

- due corsie di marcia da 3,75 m e due banchine da 1,75 m e 1,25 m che costituiscono la sede stradale;
- un cordolo da 1,50 m per l'alloggiamento della barriera di sicurezza, del parapetto e del marciapiede di servizio di 0,75 m;
- un cordolo da 0,75 m per l'alloggiamento della barriera di sicurezza.

Le travi metalliche, poste ad interasse di 5,75 m, sono collegate da traversi ad anima piena posti ad interasse di circa 6 m. Gli sbalzi laterali hanno lunghezza di 3,50 m.

La soletta ha spessore variabile da 35 cm in corrispondenza delle travi a 25 cm in mezzzeria e 20 cm all' estremità degli sbalzi.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali del viadotto:

- Altezza max da terra: 30 m circa;
- Carreggiate SX, DX: 13 campate di luce  $42,5 + 11 \times 65 + 42,5$  m per uno sviluppo complessivo di 800 m;
- Altezza delle travi costante e pari a 2,60 m;
- Ritegni sismici costituiti da 2 dispositivi di ritegno elastico a doppio effetto da 300 t ubicati sulla spalla SA e 2 dispositivi di vincolo dinamico a comportamento elastico da 300 t ubicati sulla spalla SB, per ogni impalcato.

## 2 Criteri di calcolo

### 2.1 Impalcato

#### 2.1.1 Statica longitudinale

Lo schema statico adottato è quello di un bitrave continuo a più campate ad asse rettilineo con luci pari agli interassi delle pile misurati sull'asse stradale.

L'analisi strutturale è condotta su una singola trave composta, sottoposta al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti, alle distorsioni e all'aliquota dei carichi mobili che discende dalla ripartizione trasversale dei carichi.

La trave continua composta è discretizzata in conci di sezione costante, tenendo conto quindi delle variazioni geometriche, della fessurazione della soletta e delle azioni concentrate.

Nell'analisi strutturale si tiene conto delle fasi transitorie e di esercizio e si opera con i seguenti modelli:

*Modello 1*: ottenuto considerando le proprietà inerziali delle sole travi metalliche ed utilizzato per la valutazione degli effetti indotti dal peso proprio dell'acciaio.

*Modello 2*: ottenuto considerando le proprietà inerziali ideali della sezione composta con soletta collaborante omogeneizzata all'acciaio mediante coefficiente 6. Il modello è utilizzato per la valutazione degli effetti indotti dalle azioni di breve durata.

*Modello 3*: ottenuto considerando le proprietà inerziali ideali della sezione mista con soletta collaborante omogeneizzata all'acciaio mediante coefficiente 20. Il modello è utilizzato per la valutazione degli effetti indotti dalle azioni di lunga durata e dal ritiro.

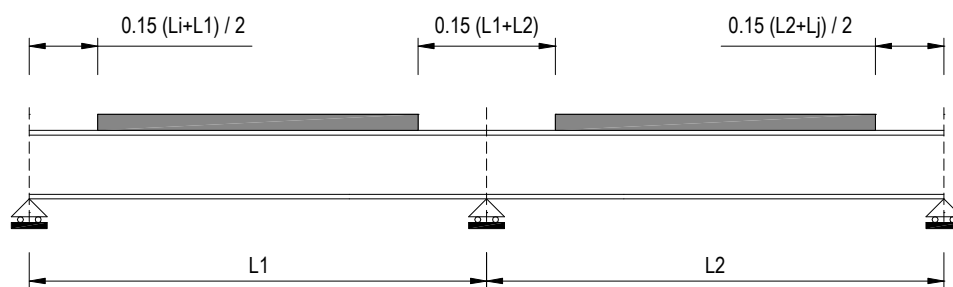


Figura 2.1 - Modellazione degli effetti dovuti alla fessurazione

Nei modelli 2 e 3 si tiene conto della riduzione di rigidità della sezione composta in prossimità degli appoggi interni per la fessurazione della soletta, trascurando il contributo inerziale del calcestruzzo su un tratto di lunghezza pari al 15 % delle luci delle due campate adiacenti e mettendo comunque in conto il contributo inerziale delle armature presenti entro la larghezza collaborante (fig. 2.1).

Per le verifiche di sicurezza, si considerano le seguenti quattro sezioni tipo:

*Sezione Tipo 1:* proprietà inerziali della sola membratura metallica soggetta alle sollecitazioni dovute al peso proprio dell'acciaio e della soletta di calcestruzzo.

*Sezione Tipo 2:* proprietà inerziali ideali della sezione mista con calcestruzzo omogeneizzato all'acciaio con coefficiente di omogeneizzazione  $n = 6$ . La sezione è utilizzata per le sollecitazioni prodotte dalle azioni di breve durata nelle regioni a momento flettente positivo.

*Sezione Tipo 3:* proprietà inerziali ideali della sezione mista con calcestruzzo omogeneizzato all'acciaio con coefficiente di omogeneizzazione  $n = 20$ . La sezione è utilizzata per le sollecitazioni prodotte dai sovraccarichi permanenti e dal ritiro nelle regioni a momento flettente positivo.

*Sezione Tipo 4:* proprietà inerziali della sezione costituita dalla membratura metallica e dalle barre di armatura con esclusione del calcestruzzo. La sezione è utilizzata nelle regioni a momento flettente negativo.

### **2.1.2 Statica trasversale**

Il calcolo della soletta è stato effettuato su un tratto di sezione di lunghezza unitaria. Le sollecitazioni dei carichi permanenti sono riferite al metro. Per i carichi da traffico è stata considerata una diffusione a  $45^\circ$  del carico fino all'appoggio. Il coefficiente di amplificazione dinamica per i carichi da traffico è pari ad 1,4.

Il dimensionamento dei traversi di campata è stato effettuato su schemi semplificati che consentono la valutazione della rigidezza necessaria a garantire la stabilità delle piattabande compresse delle travi principali, sia nelle fasi transitorie che in quelle di esercizio.

### **3 Riferimenti normativi**

Le analisi delle azioni e le verifiche di sicurezza sono state condotte facendo riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 16/01/96 “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.”
- D.M. 16/01/96 “Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.”
- D.M. 16/01/96 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.”
- D.M. 04/05/90 “Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali.”
- CNR 10011/97 “Costruzioni di Acciaio – Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e la manutenzione.”
- CNR 10016/85 “Strutture composte di acciaio e calcestruzzo istruzioni per l’impiego nelle costruzioni.”
- CNR 10018/85 “Apparecchi di appoggio in gomma e PTFE nelle costruzioni. Istruzioni per il calcolo e l’impiego.”



## RELAZIONE SUI MATERIALI

### 1 Conglomerati cementizi

I conglomerati cementizi da porre in opera saranno composti da:

- aggregato ( UNI 8520 - parti 2,11,12,14,15,20,22);
- acqua (UNI 8981/7);
- cemento (UNI/ENV 197/1);
- additivi superfluidificanti (UNI 8145 - ASTM C494/G) e ritardanti, se occorrenti per garantire le prestazioni del calcestruzzo in base al tempo di trasporto;

ed avranno le seguenti caratteristiche:

- calcestruzzo per soletta e marciapiedi:  $R_{ck} \geq 40$  MPa

Nella tabella seguente sono riportate, per ogni singola classe di esposizione ambientale (UNI EN 206-1 2001), le prescrizioni per il calcestruzzo che ne garantiscano la durabilità.

Elemento strutturale	Classe di esposizione (UNI EN 206-1)	Descrizione condizioni ambientali	Situazioni possibili per l'applicazione della classe
Calcestruzzo per opere non armate (magri)	-		-
Calcestruzzo per pali	XC2	Ambiente bagnato, raramente asciutto	Elementi strutturali le cui superfici siano a contatto con acqua per lungo tempo
Calcestruzzo per zattere di pile e spalle	XC2 - XF3	Ambiente bagnato, raramente asciutto - Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo	Elementi strutturali le cui superfici siano a contatto con acqua per lungo tempo - Superfici di calcestruzzo esposte alla pioggia ed al gelo
Calcestruzzo per elevazione spalle	XC2 - XF3	Ambiente bagnato, raramente asciutto - Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo	Elementi strutturali le cui superfici siano a contatto con acqua per lungo tempo - Superfici di calcestruzzo esposte alla pioggia ed al gelo
Calcestruzzo per elevazione pile	XC4 - XF1	Ambiente ciclicamente bagnato ed asciutto - Moderata saturazione d'acqua, senza uso di agente antigelo	Elementi strutturali le cui superfici siano a contatto con acqua - Superfici di calcestruzzo esposte alla pioggia ed al gelo
Calcestruzzo per soletta, cordoli e marciapiedi	XC4 - XD3 - XF4	Ambiente ciclicamente bagnato ed asciutto - Elevata saturazione d'acqua, con limitato uso di agente antigelo	Elementi strutturali le cui superfici siano a contatto con acqua - Parti di ponti esposte agli agenti antigelo e soggette a spruzzi contenenti cloruri
Calcestruzzo per baggioli	XC4 - XF1	Ambiente ciclicamente bagnato ed asciutto - Moderata saturazione d'acqua, senza uso di agente antigelo	Elementi strutturali le cui superfici siano a contatto con acqua per lungo tempo - Superfici di calcestruzzo esposte alla pioggia ed al gelo

Prescrizioni per il calcestruzzo in relazione alla durabilità ed alla resistenza necessaria per le verifiche strutturali					
Elemento strutturale	Rapporto massimo A/C	Dosaggio minimo di cemento	Classe di resistenza Rck (N/mm <sup>2</sup> )	Copriferro min (mm)	Informazioni aggiuntive
		(kg/m <sup>3</sup> )			
Calcestruzzo per opere non armate (magri)	-	-	15	-	
Calcestruzzo per pali	0,60	280	30	60	E' da prevedersi l'uso di additivi fluidificanti e/o superfluidificanti
Calcestruzzo per zattere di pile e spalle	0,50	320	30	40	E' da prevedersi l'uso di additivi superfluidificanti e/o aeranti - E' necessario un controllo della percentuale minima di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato - Utilizzo di aggregati resistenti al gelo
Calcestruzzo per elevazione spalle	0,50	320	35	35	E' da prevedersi l'uso di additivi superfluidificanti e/o aeranti - E' necessario un controllo della percentuale minima di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato - Utilizzo di aggregati resistenti al gelo
Calcestruzzo per elevazione pile	0,50	300	35	35	E' da prevedersi l'uso di additivi superfluidificanti e/o aeranti - E' necessario un controllo della percentuale minima di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato - Utilizzo di aggregati resistenti al gelo
Calcestruzzo per soletta, cordoli e marciapiedi	0,45	340	40	30	E' da prevedersi l'uso di additivi superfluidificanti e/o aeranti - E' necessario un controllo della percentuale minima di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato - Utilizzo di aggregati resistenti al gelo
Calcestruzzo per baggioli	0,50	300	45	30	E' da prevedersi l'uso di additivi superfluidificanti e/o aeranti - E' necessario un controllo della percentuale minima di aria in funzione del diametro massimo dell'aggregato - Utilizzo di aggregati resistenti al gelo

## 2 Acciaio ad aderenza migliorata

Le armature da porre in opera non dovranno presentare tracce di ossidazione, corrosione e di qualsiasi altra sostanza che possa ridurre l'aderenza al conglomerato; dovranno inoltre presentare sezione integra e priva di qualsiasi difetto.

Si utilizzeranno barre ad aderenza migliorata tipo FeB44 k controllato in stabilimento, aventi le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} \geq 430 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- allungamento percentuale  $A_{10} \geq 12\%$
- modulo elastico  $E_s = 206.000 \text{ MPa}$

## 3 Acciaio da carpenteria

La carpenteria metallica sarà realizzata in acciaio tipo Fe 510 (grado C), conforme alle prescrizioni del D.M. 9.1.1996 e delle Istruzioni CNR 10011, avente le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura a trazione  $f_t \geq 510 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento  $f_y \geq 355 \text{ MPa}$
- resilienza  $KV \geq 27 \text{ J a } -20 \text{ }^\circ\text{C}$
- allungamento (lamiera)  $\epsilon_t \geq 21\%$

Nei tratti a direttrice curva la carpenteria metallica dovrà presentare curvatura continua. E' esclusa la realizzazione per tratti rettilinei consecutivi (spezzata) approssimanti la curva.

Tutte le giunzioni per l'assemblaggio dei conci delle travi portanti, sia quelle da eseguire in officina che quelle in cantiere, saranno di tipo saldato a completa penetrazione.

I traversi intermedi, di pila e di spalla saranno collegati alle travi principali attraverso giunzioni bullonate.

La carpenteria metallica sarà protetta con tre mani di vernice, due applicate in officina e la terza in opera, a conferire il colore finale.

#### 4 Controventi

Le aste del controvento orizzontale ed i relativi elementi di collegamento, saranno realizzati in acciaio tipo Fe 510, conforme alle prescrizioni del D.M. 09.01.1996 e alle Istruzioni CNR 10011, avente le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura a trazione  $f_t \geq 510 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento  $f_y \geq 355 \text{ MPa}$
- resilienza  $KV \geq 27 \text{ J a } -20 \text{ }^\circ\text{C}$
- allungamento (lamiera)  $\varepsilon_t \geq 21\%$

#### 5 Bulloni ad alta resistenza

Le giunzioni bullonate saranno realizzate con bulloni ad alta resistenza aventi le seguenti caratteristiche (UNI 3740):

- vite classe 10.9 (UNI5712)
- tensione di rottura a trazione  $f_t \geq 1000 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento  $f_y \geq 900 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica  $f_{K,N} \geq 7000 \text{ MPa}$
- dado classe 10 (UNI 5713)
- rosette C50 (UNI 5714)
- forza di serraggio  $N_s = 0,8 f_{K,N} A_{res}$
- coppia di serraggio  $T_s = 0,2 N_s d$

#### 6 Pioli con testa tipo “Nelson”

- materiale base ST37-3K – DIN 17100
- tensione di snervamento  $f_{yk} \geq 355 \text{ Mpa}$
- tensione di rottura a trazione  $f_u \geq 510 \text{ Mpa}$

#### 7 Saldature

Le saldature dovranno essere realizzate secondo le indicazioni delle Norme CNR 10011/97. Tutte le giunzioni per l'unione dei conci delle travi principali e dei traversi saranno eseguite con saldature testa a testa a completa penetrazione di 1<sup>a</sup> classe.

# CALCOLI STATICI

## PARTE I - IMPALCATO

### 1 Generalità

I calcoli sono condotti con riferimento alla geometria dell'asse destro utilizzando uno schema statico a trave continua su 13 campate con luci  $42,5 + 11 \times 60 + 42,5$  m.

### 2 Analisi dei carichi

*Peso proprio della struttura (g<sub>1</sub>)*

- Carpenteria metallica (g<sub>1,1</sub>):

*trave continua* ..... = da geometria conci

*elementi secondari: traversi, controventi, pioli*..... = 4,40 kN/m

- Soletta (g<sub>1,2</sub>) .....  $25 \text{ kN/m}^3 \times 3,6650 \text{ m}^2 = 91,63 \text{ kN/m}$

*Carichi permanenti (g<sub>2</sub>)*

- Pavimentazione stradale .....  $20 \text{ kN/m}^3 \times 0,11 \text{ m} \times 10,50 \text{ m} = 23,10 \text{ kN/m}$

- Cordoli .....  $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,17 \text{ m} \times (1,50 + 0,75) \text{ m} = 9,56 \text{ kN/m}$

- Barriere, parapetti, elementi di bordo ..... = 7,80 kN/m

- Totale carichi permanenti ..... g<sub>2</sub> = 40,46 kN/m

*Ritiro del calcestruzzo (ε<sub>2</sub>)*

Il ritiro del calcestruzzo è stato schematizzato con le seguenti azioni statiche equivalenti:

- Forze assiali di estremità:  $N_{c,r\infty} = \varepsilon_{c,r,\infty} E_a A_c/n_r = -8229 \text{ kN}$

- Coppie flettenti di estremità:  $M_{c,r\infty} = N_{c,r\infty} e_r = 7176 \text{ kNm}$

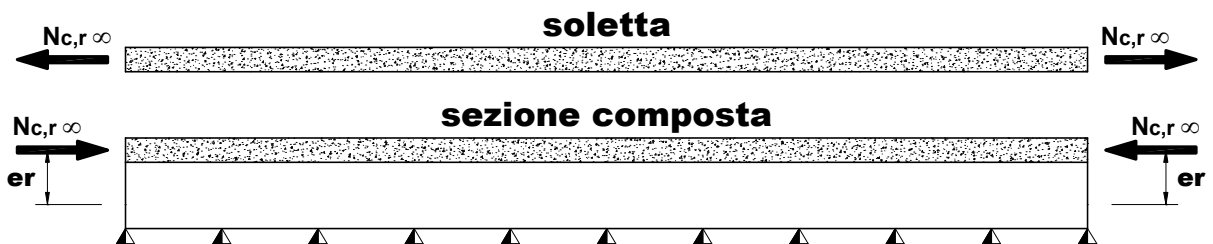


Figura 2.1 - Azioni statiche equivalenti al ritiro

avendo assunto:

deformazione finale da ritiro:  $\varepsilon_{c,r,\infty} = 0,000215$

coefficiente di omogeneizzazione a  $t_0$ :  $n_0 = E_a / E_c = 6$

coefficiente di omogeneizzazione a  $t_\infty$ :  $n_r = n_0 (1+\phi) = 20$

modulo elastico acciaio:  $E_a = 206000 \text{ N/mm}^2$

area soletta:  $A_c = 3,6990 \times 10^6 \text{ mm}^2$

distanza tra i baricentri nella sezione terminale (ossia fra il baricentro della soletta in c.a. e quello della sezione composta a  $t_\infty$ ):  $e_r = 0,872 \text{ m}$

### *Variazione termica ( $\varepsilon_3$ )*

Gli effetti prodotti dalle variazioni termiche differenziali fra soletta in c.a. e travi metalliche sono stati valutati attraverso azioni statiche equivalenti concentrate alle estremità dell'impalcato.

Si prendono in esame le seguenti variazioni termiche:

- *Variazione termica differenziale positiva:  $\Delta T = +10^\circ \text{ C}$*

- Forze assiali di estremità:  $N_{c,\Delta T} = \alpha E_a A_c \Delta T / n_0 = 12700 \text{ kN}$

- Coppie flettenti di estremità:  $M_{c,\Delta T} = N_{c,\Delta T} e_T = -5566 \text{ kNm}$

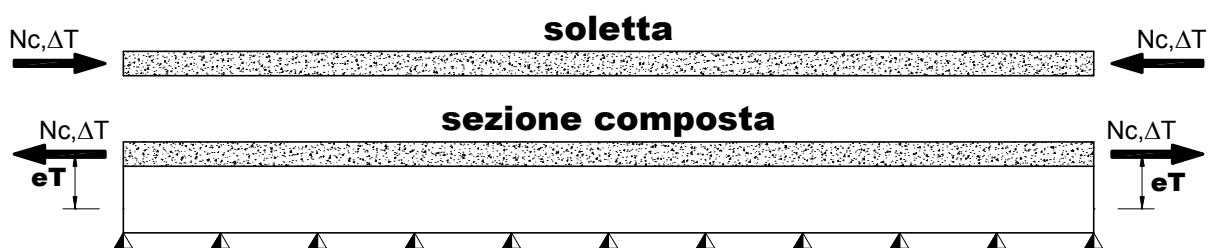


Figura 2.2 – Azioni statiche equivalenti alla variazione termica positiva

avendo assunto:

coefficiente di dilatazione termica:  $\alpha = 0.00001$

coefficiente di omogeneizzazione a  $t_0$ :  $n_0 = E_a / E_c = 6$

modulo elastico acciaio:  $E_a = 206000 \text{ N/mm}^2$

area soletta:  $A_c = 3,6990 \times 10^6 \text{ mm}^2$

distanza tra i baricentri nella sezione terminale (ossia fra il baricentro della soletta in c.a. e quello della sezione composta a  $t_0$ ):  $e_T = 0,454 \text{ m}$

- *Variazione termica differenziale negativa*:  $\Delta T = -5^\circ \text{C}$

- Forze assiali di estremità:  $N_{c,\Delta T} = \alpha E_a A_c \Delta T / n_0 = 6350 \text{ kN}$

- Coppie flettenti di estremità:  $M_{c,\Delta T} = N_{c,\Delta T} e_T = 2883 \text{ kNm}$

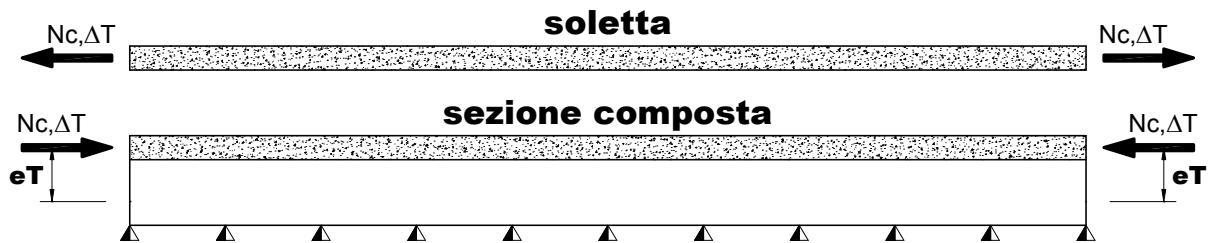


Figura 2.3 - Azioni statiche equivalenti alla variazione termica negativa

avendo assunto:

coefficiente di dilatazione termica:  $\alpha = 0.00001$

coefficiente di omogeneizzazione a  $t_0$   $n_0 = E_a / E_c = 6$

modulo elastico acciaio:  $E_a = 206000 \text{ N/mm}^2$

area soletta:  $A_c = 3,6990 \times 10^6 \text{ mm}^2$

distanza tra i baricentri nella sezione terminale (ossia fra il baricentro della soletta in c.a. e quello della sezione composta a  $t_0$ ):  $e_T = 0,454 \text{ m}$

### Carichi mobili ( $q_1$ )

Si considerano i seguenti carichi mobili:

-  $q_{1,a}$ : mezzo convenzionale da 600 kN a 3 assi avente ingombro longitudinale di 15 m

-  $q_{1,b}$ : carico di 30 kN/m uniformemente distribuito al di fuori dell'ingombro del  $q_{1,a}$

In senso trasversale i carichi  $q_{1,a}$  e  $q_{1,b}$  sono stati distribuiti su corsie convenzionali di larghezza pari a 3,50 m in modo tale da ottenere la distribuzione trasversale più gravosa per la singola trave (Figura 2.4).

Il carico sulla trave maggiormente sollecitata risulta (Figura 2.5):

carico d'asse: ..... = 292,00 kN

carico uniforme: ..... = 43,80 kN/m

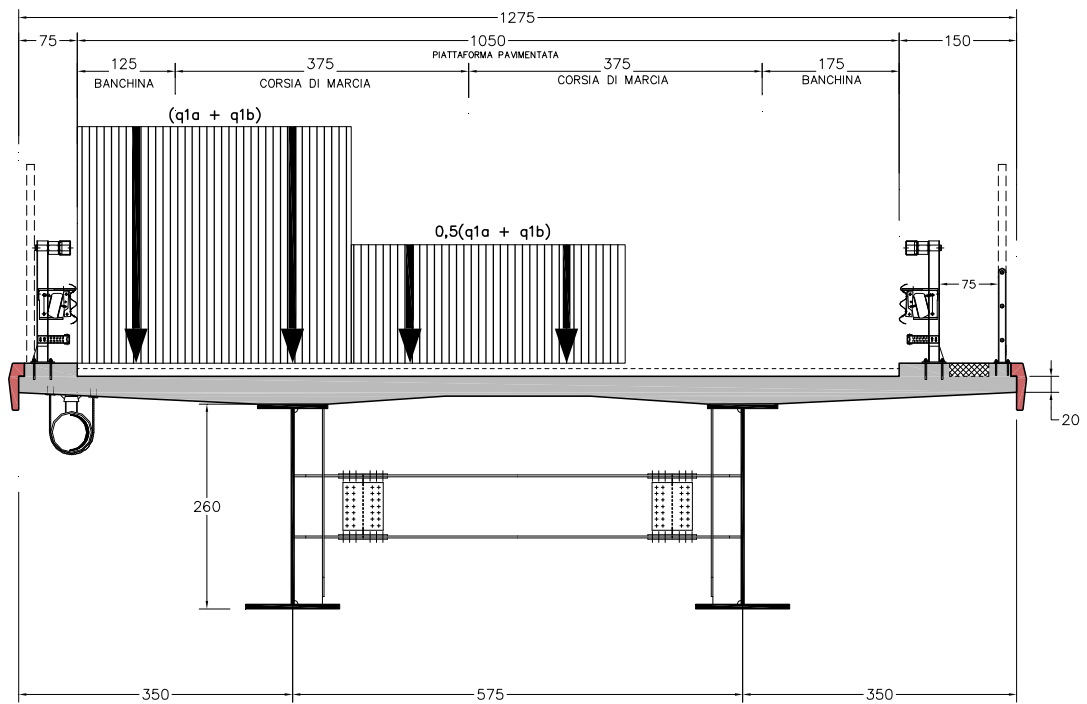


Figura 2.4 - Distribuzione trasversale dei carichi da traffico

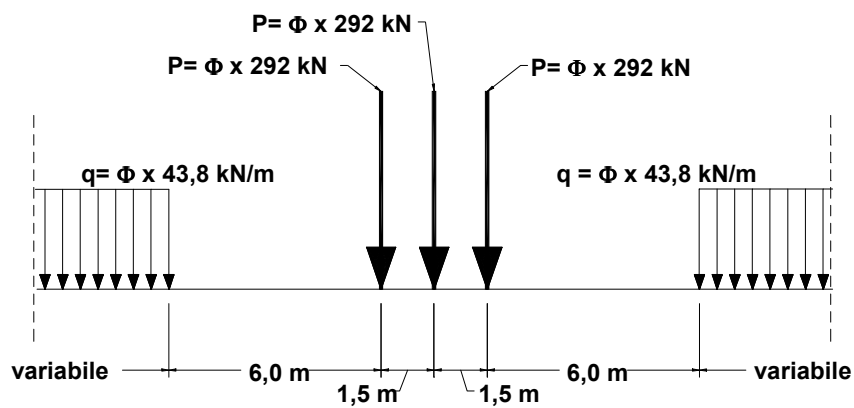


Figura 2.5 - Carico mobile agente sulla trave più sollecitata

*Effetto dinamico dei carichi mobili ( $q_2$ )*

$$\Phi = 1.4 - (L - 10) / 150 = 1,18 \quad \text{per } L = 42,5 \text{ m}$$

$$\Phi = 1.4 - (L - 10) / 150 = 1,03 \quad \text{per } L = 65 \text{ m}$$



### Azione del vento ( $q_5$ )

L'azione del vento è riconducibile ad un carico orizzontale uniforme di  $2,50 \text{ kN/m}^2$ , diretto ortogonalmente all'asse longitudinale del ponte, agente sulla proiezione, nel piano verticale, delle superfici direttamente investite dal vento. La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento è assimilata ad una parete rettangolare continua di altezza costante pari a  $3,00 \text{ m}$  dalla pavimentazione stradale.

Tale azione dà luogo ad una sollecitazione torcente che provoca una flessione differenziale dalle due travi portanti.

Con riferimento allo schema riportato in Figura 2.6, risulta:

$$q_5 = \frac{R \cdot b_v}{i} = \frac{2,50 \cdot 6,06 \cdot (6,06/2)}{5,75} = 7,98 \text{ kN/m}$$

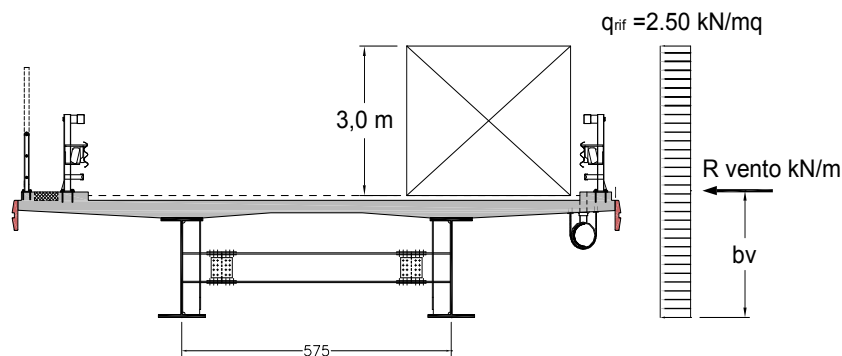


Figura 2.6 - Schematizzazione delle azioni dovute al vento

### Azione del sisma ( $q_6$ )

L'azione sismica orizzontale (longitudinale e trasversale) è valutata mediante la seguente espressione:

$$F_h = C \cdot R \cdot I \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot W$$

essendo:

$$C = (S-2)/100 = 0,07$$

coefficiente di intensità sismica

$$R = 1$$

coefficiente di risposta

$$I = 1$$

coefficiente di protezione sismica

$$\varepsilon = 1,2$$

coefficiente di fondazione

$$\beta = 2,5$$

coefficiente di struttura (appoggi e ritegni sismici)

W

peso proprio e carichi permanenti

RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLA TRAVE MAGGIORMENTE SOLLECITATA			
<b>CARPENTERIA METALLICA [g<sub>1,1</sub>]</b>			
Peso trave continua .....	=	da geometria conci	
Peso elementi secondari .....	=	2,20	kNm <sup>-1</sup>
<b>PESO DELLA SOLETTA IN C.A. [g<sub>1,2</sub>]</b> .....	=	45,81	kNm <sup>-1</sup>
<b>CARICHI PERMANENTI [g<sub>2</sub>]</b> .....	=	18,01	kNm <sup>-1</sup>
<b>RITIRO DEL CALCESTRUZZO [ε<sub>2</sub>]</b>			
Forza assiale N .....	=	-4114,74	kN
Momento flettente in corrispondenza di SA .....	=	3588,05	kNm
Momento flettente in corrispondenza di SB .....	=	3588,05	kNm
<b>VARIAZIONE TERMICA NEGATIVA [ε<sub>3</sub>]</b>			
Forza assiale N .....	=	-3174,96	kN
Momento flettente in corrispondenza di SA .....	=	1441,43	kNm
Momento flettente in corrispondenza di SB .....	=	1441,43	kNm
<b>VARIAZIONE TERMICA POSITIVA [ε<sub>3</sub>]</b>			
Forza assiale N .....	=	6349,91	kN
Momento flettente in corrispondenza di SA .....	=	-2882,86	kNm
Momento flettente in corrispondenza di SB .....	=	-2882,86	kNm
<b>AZIONE DEL VENTO [q<sub>5</sub>]</b> .....	=	7,98	kNm <sup>-1</sup>
<b>CARICHI MOBILI CON EFFETTO DINAMICO [q<sub>1</sub>+ q<sub>2</sub>]</b>			
Carico dovuto al sistema Tridem [P] .....	=	292 x φ	kN
Carico uniforme [q] .....	=	43,8 x φ	kNm <sup>-1</sup>

Figura 2.7 – Riepilogo dei carichi sulla trave più sollecitata

### **3 Modelli di calcolo**

Nelle analisi strutturali si fa riferimento alla trave maggiormente sollecitata soggetta ai carichi individuati al paragrafo precedente.

Le analisi sono eseguite per le fasi costruttive (varo e getto della soletta) e per le condizioni di esercizio della struttura (a breve termine e a lungo termine).

La larghezza collaborante della soletta per la definizione delle caratteristiche inerziali della sezione, sia per l'analisi strutturale che per la verifica, è stata valutata secondo le indicazioni della norma CNR 10016.

### **4 Analisi strutturale**

#### **4.1 Criteri generali**

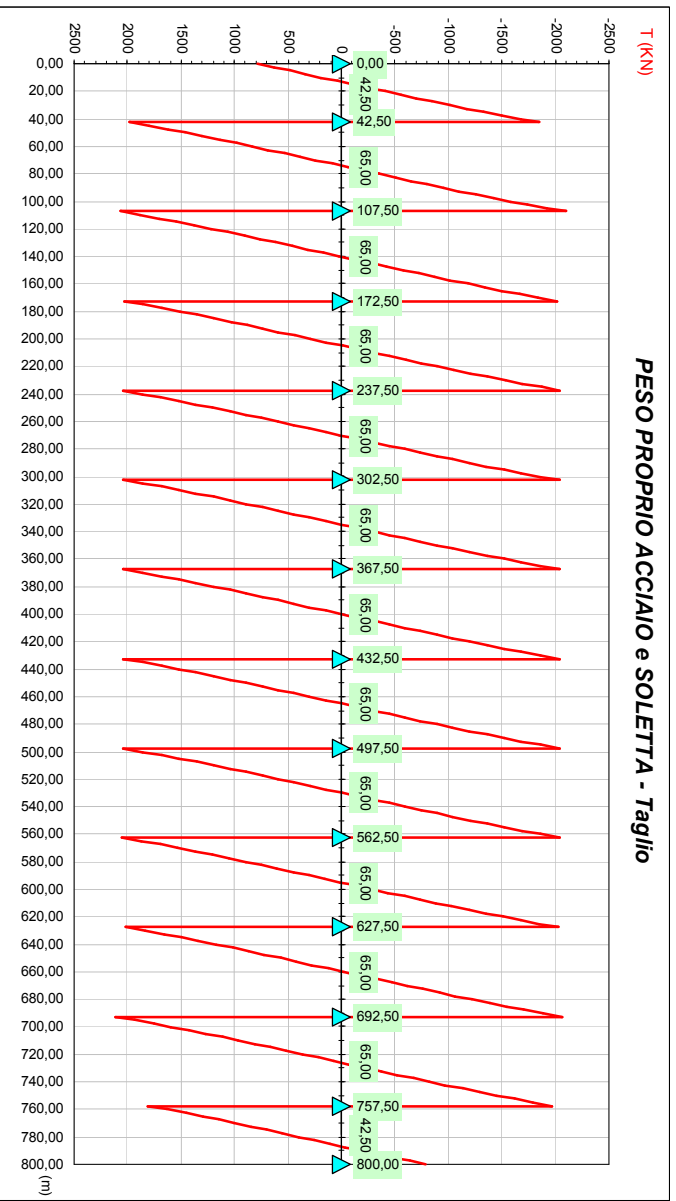
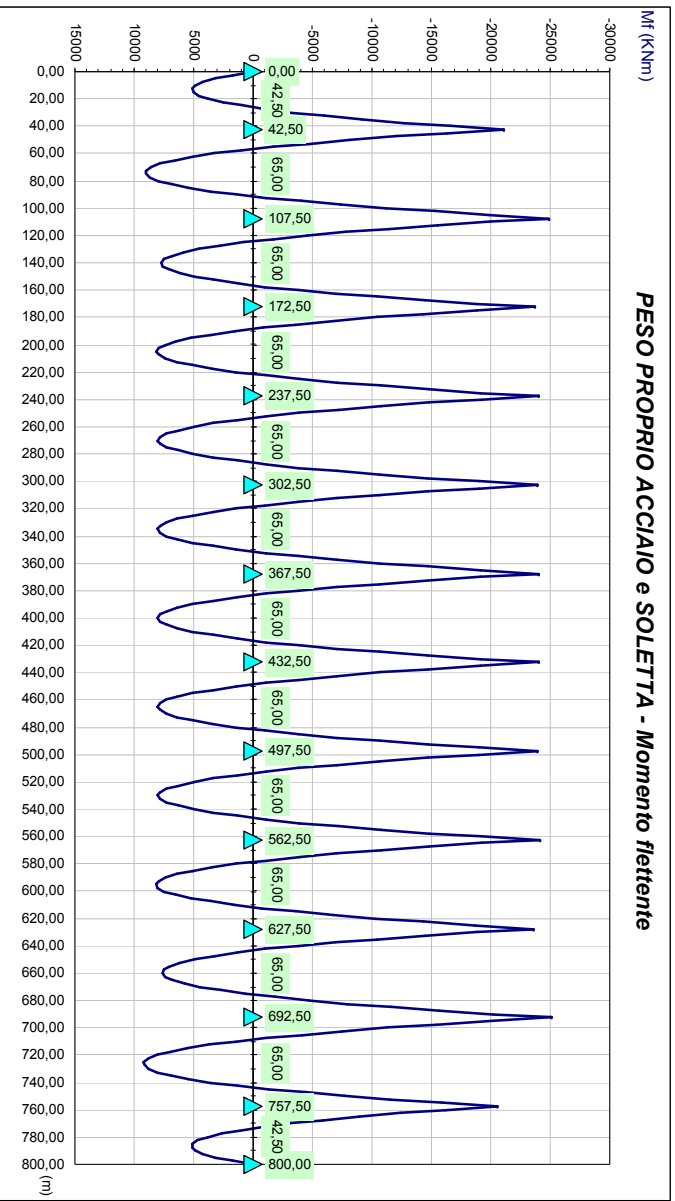
Il calcolo delle sollecitazioni è stato effettuato con riferimento alla trave maggiormente sollecitata, su un modello agli elementi finiti ottenuto discretizzando la struttura in conci di caratteristiche geometriche ed inerziali costanti. Le analisi sono state eseguite per le seguenti condizioni di carico:

- a. Peso proprio della carpenteria metallica e della soletta.
- b. Carichi permanenti.
- c. Ritiro.
- d. Variazione termica differenziale.
- e. Carichi mobili.
- f. Vento.

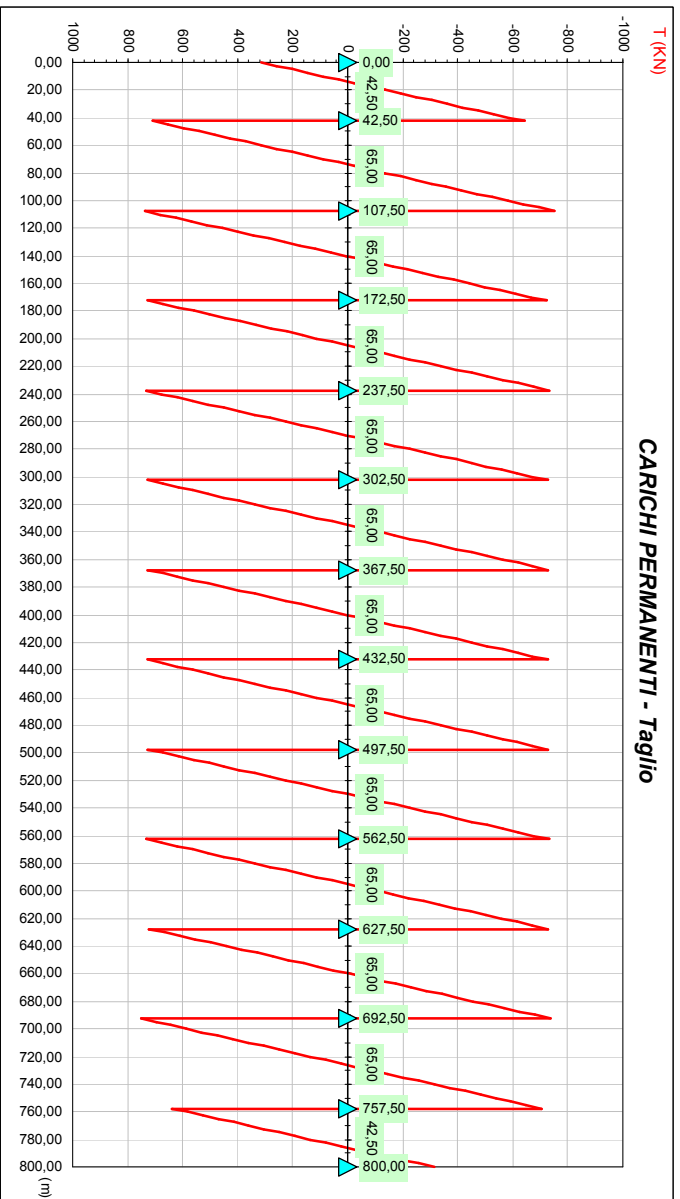
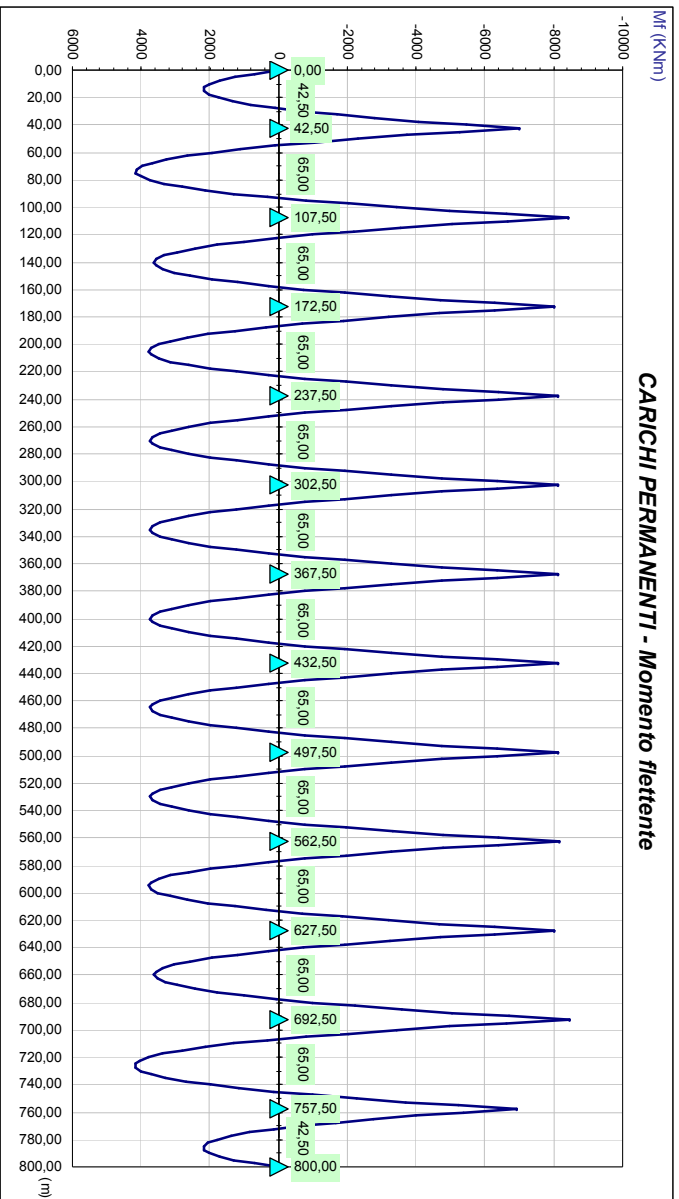
Ai fini delle verifiche di resistenza, per quanto riguarda la prima condizione di carico, la soletta è stata considerata realizzata in un unico getto. Con tale ipotesi si sovrastimano le tensioni sulle travi metalliche e quindi si perviene ad una verifica conservativa della sicurezza.

## 4.2 Sollecitazioni di progetto

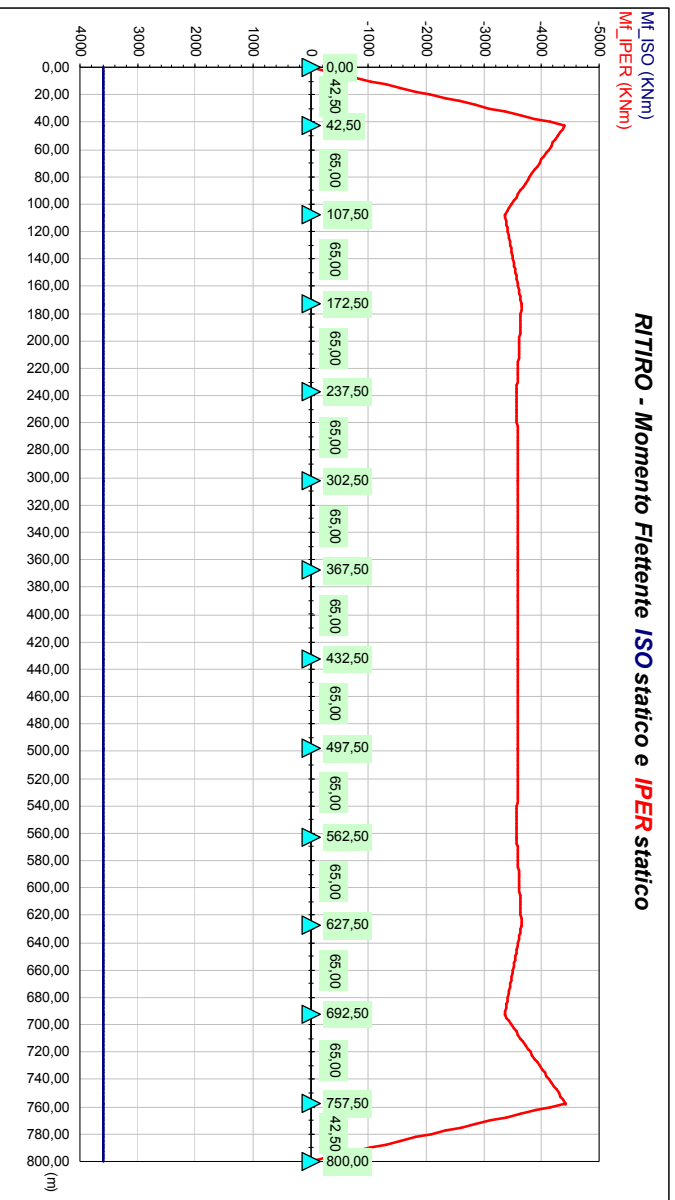
a) *Peso proprio della carpenteria metallica e della soletta (Modello 1)*



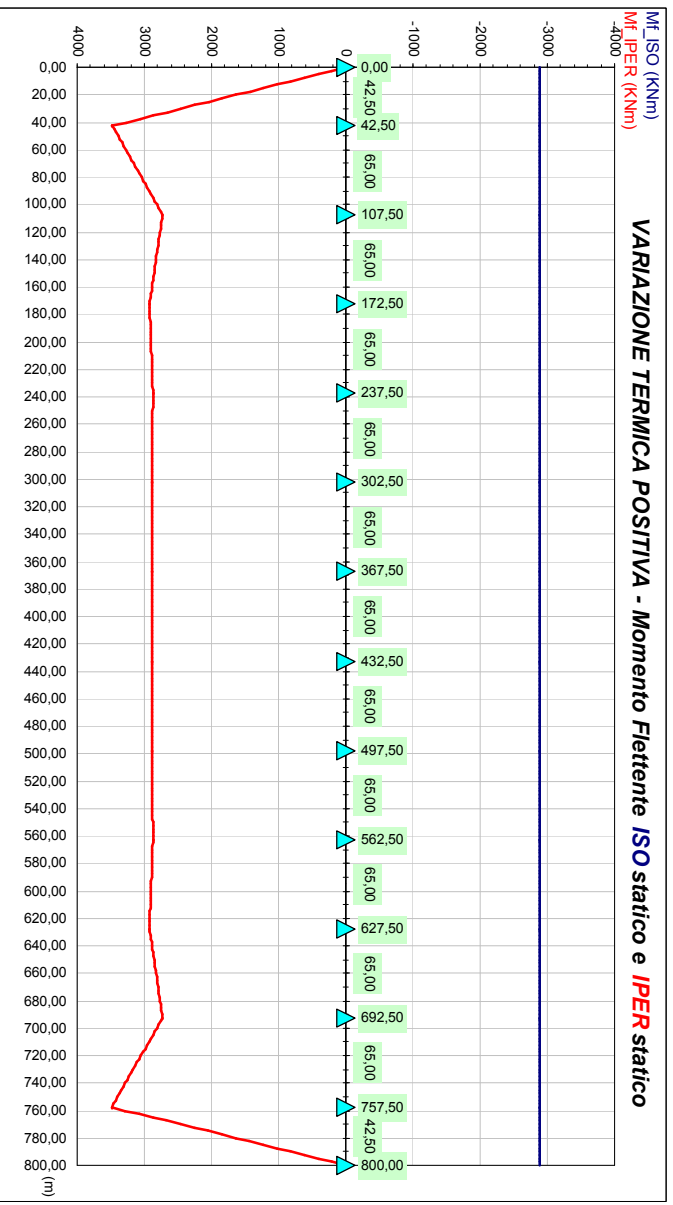
b) Carichi permanenti (Modello 3 n = 20)



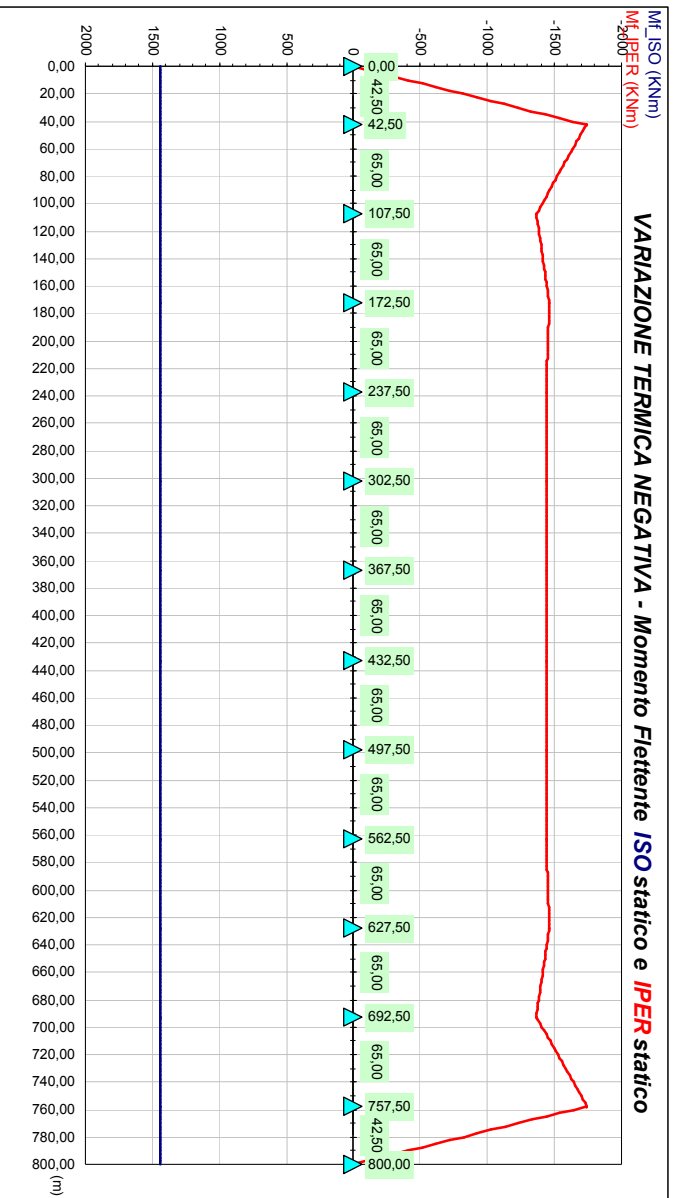
c) Ritiro (Modello 3 n = 20)



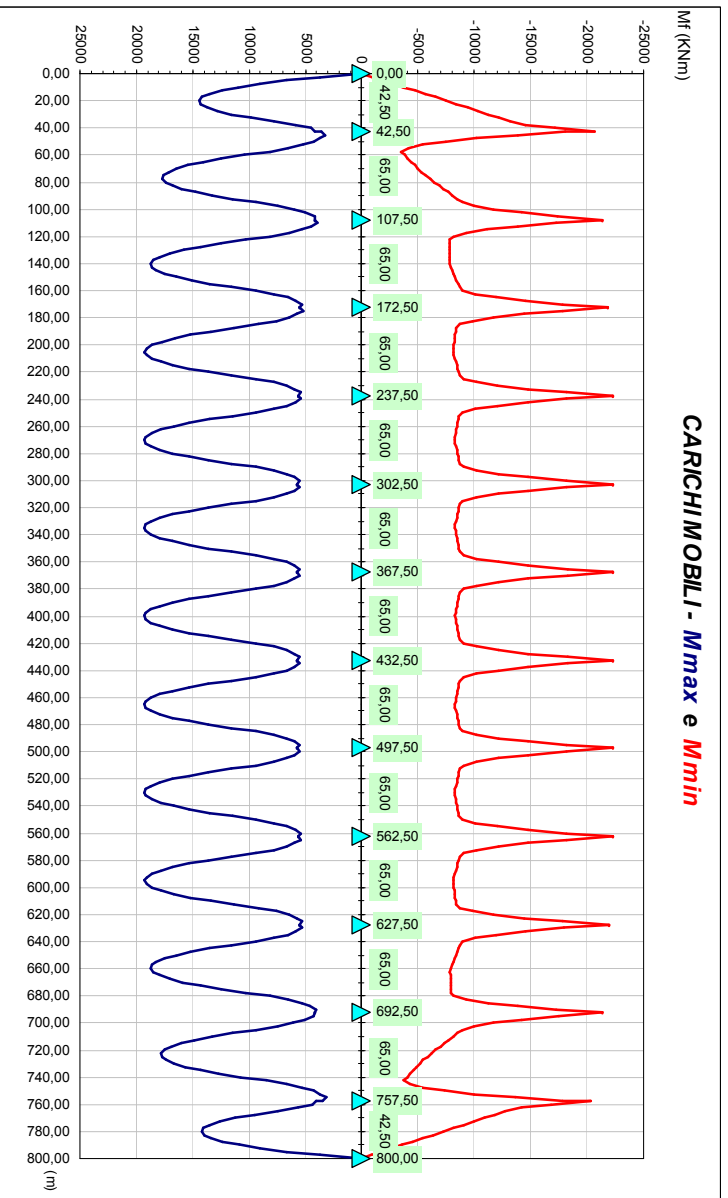
d) Variazione termica differenziale positiva  $\Delta T = +10\text{ }^\circ\text{C}$  (Modello 2 n = 6)

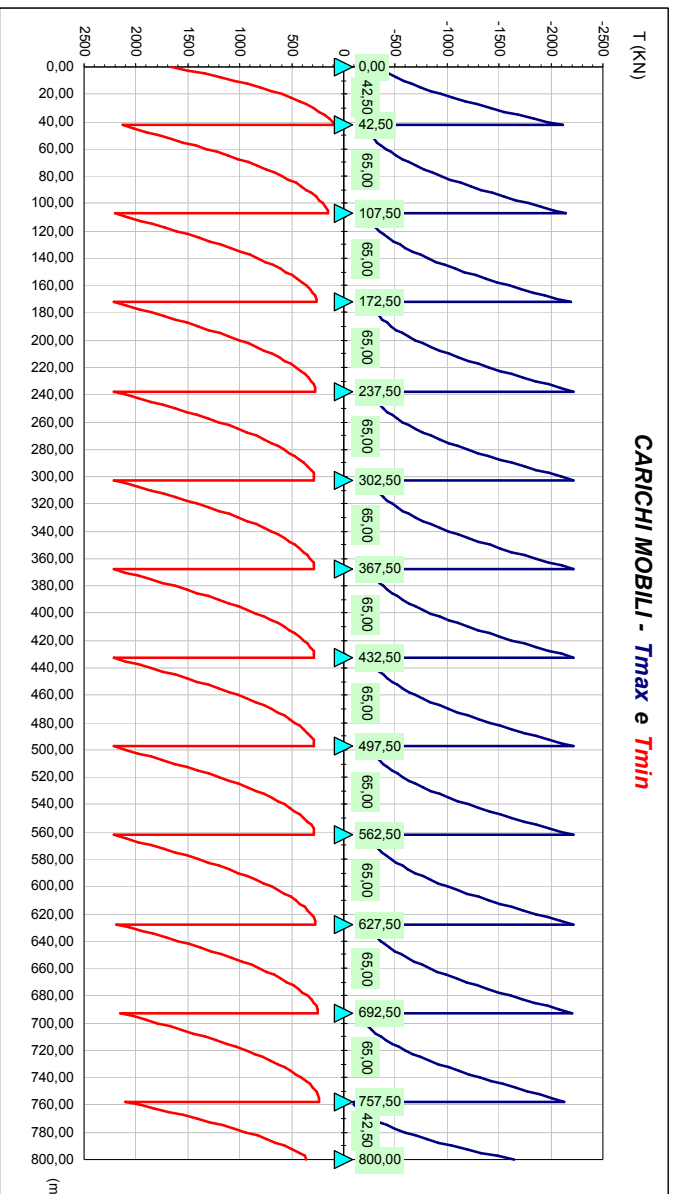


d) *Variazione termica differenziale negativa  $\Delta T = -5^\circ C$  (Modello 2 n = 6)*

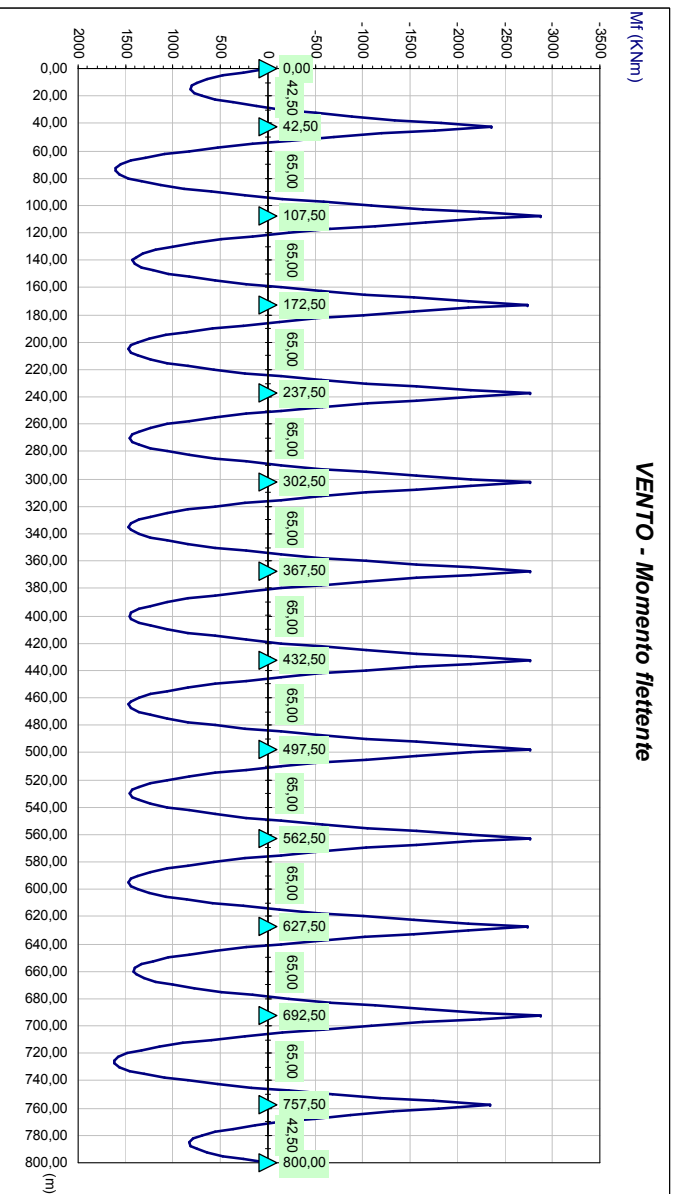


e) *Carichi mobili (Modello 2 n = 6)*



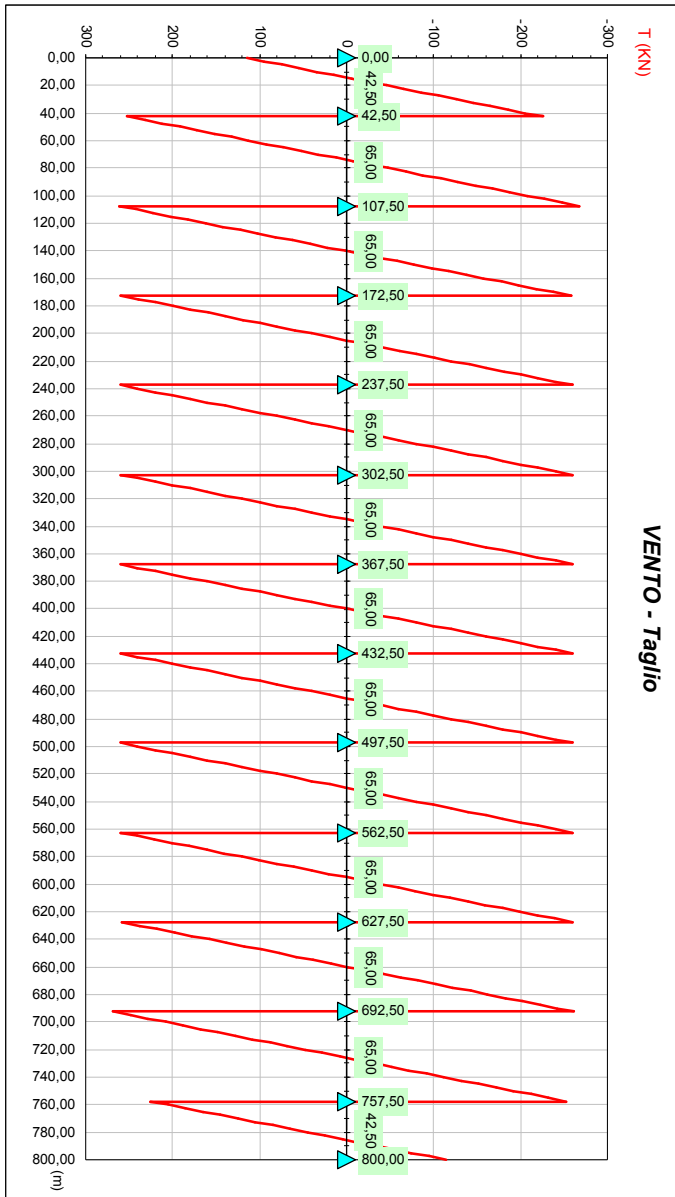


**f) Azione del vento**





VENTO - Taglio



## 5 Verifiche dell' impalcato

### 5.1 Verifica di resistenza travi principali

Le verifiche sono condotte per le seguenti combinazioni di carico:

$$I) F_d = G_k + Q_k + 0,6 Q_5 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

essendo

- $G_k$  pesi propri e carichi permanenti ( $g_1 + g_2$ )
- $Q_k$  carichi mobili ( $q_1 + q_2$ )
- $Q_5$  azione del vento ( $q_5$ )
- $\varepsilon_2$  ritiro del calcestruzzo
- $\varepsilon_3 = (-5 \text{ }^\circ\text{C})$  variazione termica differenziale negativa

$$II) F_d = G_k + Q_k + 0,6 Q_5 + \varepsilon_3$$

con

- $\varepsilon_3 = (+10 \text{ }^\circ\text{C})$  variazione termica differenziale positiva

Per quanto riguarda i carichi mobili, sezione per sezione, sono considerati i massimi e minimi del momento flettente con i valori del taglio concomitante e i tagli massimi e minimi con i concomitanti momenti flettenti, al fine di determinare la più gravosa condizione di verifica.

Nelle verifiche di resistenza è omessa (per il solo sisma verticale) la combinazione AV definita al punto 3.9 del DM 04 maggio 1990 riguardante i ponti stradali, in quanto non dimensionante e non significativa in rapporto alle combinazioni analizzate, con carichi accidentali come condizione dominante. Secondo il punto 3.9, le azioni sismiche verticali devono essere calcolate in assenza di carico accidentale, considerando le sole masse corrispondenti ai pesi propri ed ai sovraccarichi permanenti, ed in accordo con le vigenti "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica" (DM 16 gennaio 1996). Le azioni verticali da applicare alle strutture mediante analisi statica sono equivalenti ad un sistema di forze uniformemente distribuite, proporzionali alle masse presenti, con valore pari a:

$$F_v = m \cdot C \cdot I \cdot W$$

essendo

- C il coefficiente di intensità sismica (0,07 per zone di II categoria – 0,04 per zone di III categoria);
- $m = 2$ ;
- $I = 1$  il coefficiente di protezione sismica
- W peso complessivo masse.

I viadotti presentano impalcati di larghezza pari a 12,75 m ed un peso complessivo a metro lineare di 162,5 kN/m. Nella combinazione di sisma verticale andrebbe considerato un carico uniformemente distribuito che nel caso più sfavorevole (zone di II categoria) può essere pari al 14% delle masse verticali ovvero pari circa a 22,7 kN/m.

Gli impalcati sono stati calcolati considerando nell'ingombro della carreggiata due corsie convenzionali di carico, per un carico totale di 1,50 volte la singola colonna di carico nominale ( $q_{1a} + q_{1b}$ ), da maggiorare successivamente in base al coefficiente di amplificazione dinamica. Di conseguenza, il carico accidentale medio uniformemente distribuito è sicuramente uguale o superiore a 45 kN/m ovvero almeno pari al 27% delle masse della struttura. Inoltre, i carichi accidentali sono posizionati in base alle linee di influenza, in modo da ottenere le massime sollecitazioni, mentre il carico sismico uniformemente distribuito agisce sull'intera struttura così da non poter massimizzare gli effetti. Quanto già detto vale a maggior ragione per gli sbalzi della sezione trasversale, i quali vengono verificati nei confronti del carico  $q_{1a}$  per un totale di  $600 \times 1,40 = 840$  kN (1,4 è il coefficiente di amplificazione dinamica) disposto in una area di  $3,00 \times 1,50$  metri nelle posizioni più sfavorevoli. Appare quindi lecita la scelta di trascurare la combinazione AV per il sisma verticale, in rapporto alle combinazioni di verifica I) e II) sopra descritte.

Resistenze di progetto dei materiali costituenti la sezione:

Acciaio da carpenteria Fe 510:

$$\text{per elementi di spessore } t \leq 40 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{a,amm} = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{per elementi di spessore } t > 40 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{a,amm} = 210 \text{ MPa}$$

$$\text{Calcestruzzo } R_{ck} 40: \quad \Rightarrow \quad \sigma_{c,amm} = 12,25 \text{ MPa}$$

$$\text{Acciaio per armature FeB44K:} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{s,amm} = 255 \text{ MPa}$$

Nelle zone a momento negativo si trascura il contributo del calcestruzzo teso e si considera agente il solo effetto iperstatico del ritiro e/o della variazione termica.

Le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico sulle sezioni più significative dell'impalcato. Le grandezze geometriche ed inerziali delle sezioni tengono conto delle fasi costruttive e di esercizio a breve e a lungo termine.

Il calcolo delle tensioni è stato effettuato sezione per sezione, con le proprietà inerziali della sezione tipo associata all'azione presa in considerazione.

In presenza di stati di sollecitazione pluriassiali la tensione ideale di confronto è determinata mediante l'espressione indicata nella CNR - UNI 10011.

Le tensioni ideali calcolate in riferimento a ciascuna sezione tipo sono state sommate fra loro e quindi confrontate con le tensioni di progetto.

Si riportano nel seguito le rappresentazioni grafiche delle verifiche per le combinazioni di carico precedentemente individuate (confronto tra tensioni ideali di calcolo e tensioni di progetto).

Le curve di colore blu (grigio scuro) rappresentano l'involuppo delle tensioni ideali di calcolo per le combinazioni di carico precedentemente individuate, mentre quelle rosse (grigio chiaro) le tensioni resistenti di progetto.

La verifica è stata effettuata nelle 5 fibre di riferimento della sezione composta specificate nella figura seguente e sull'armatura superiore della soletta.

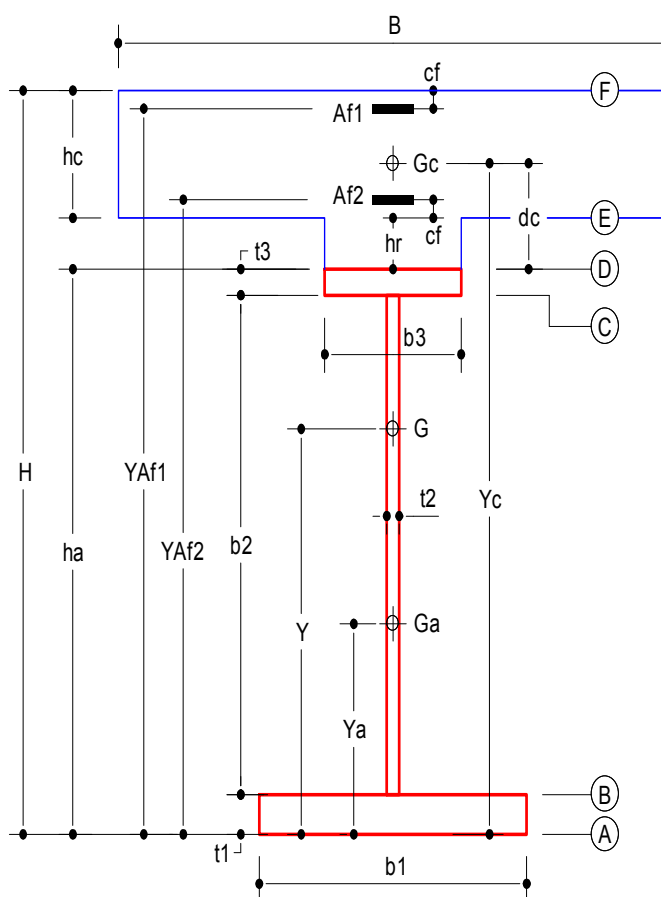
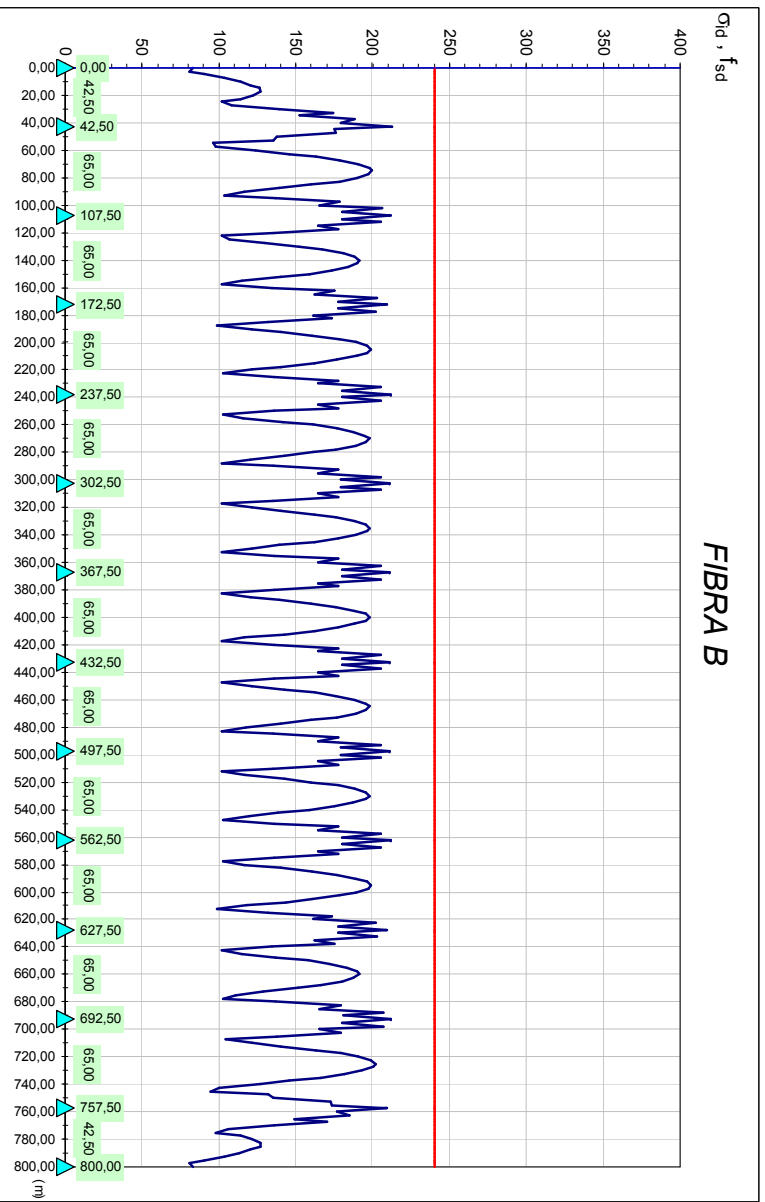
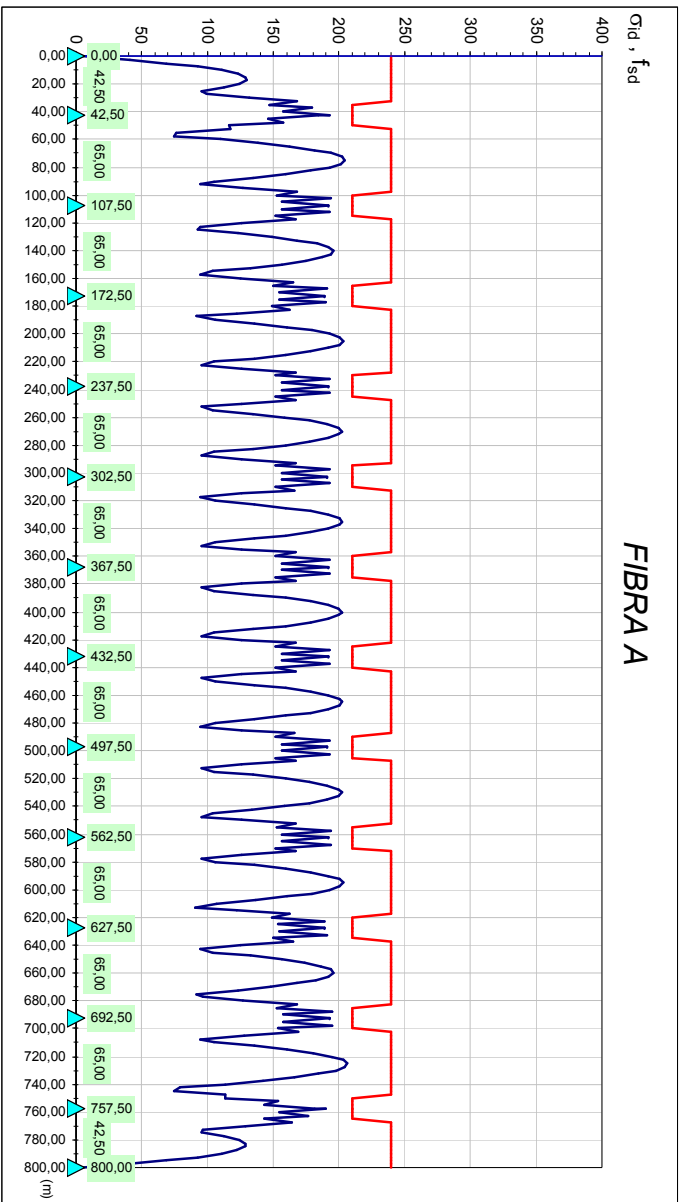
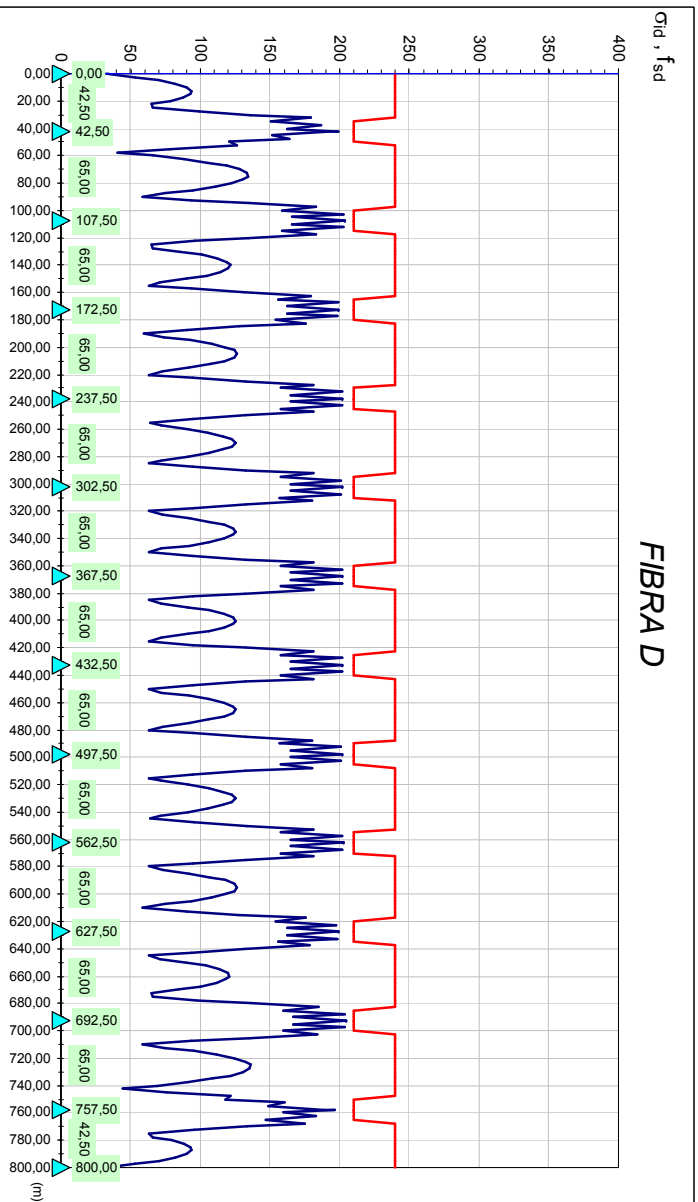
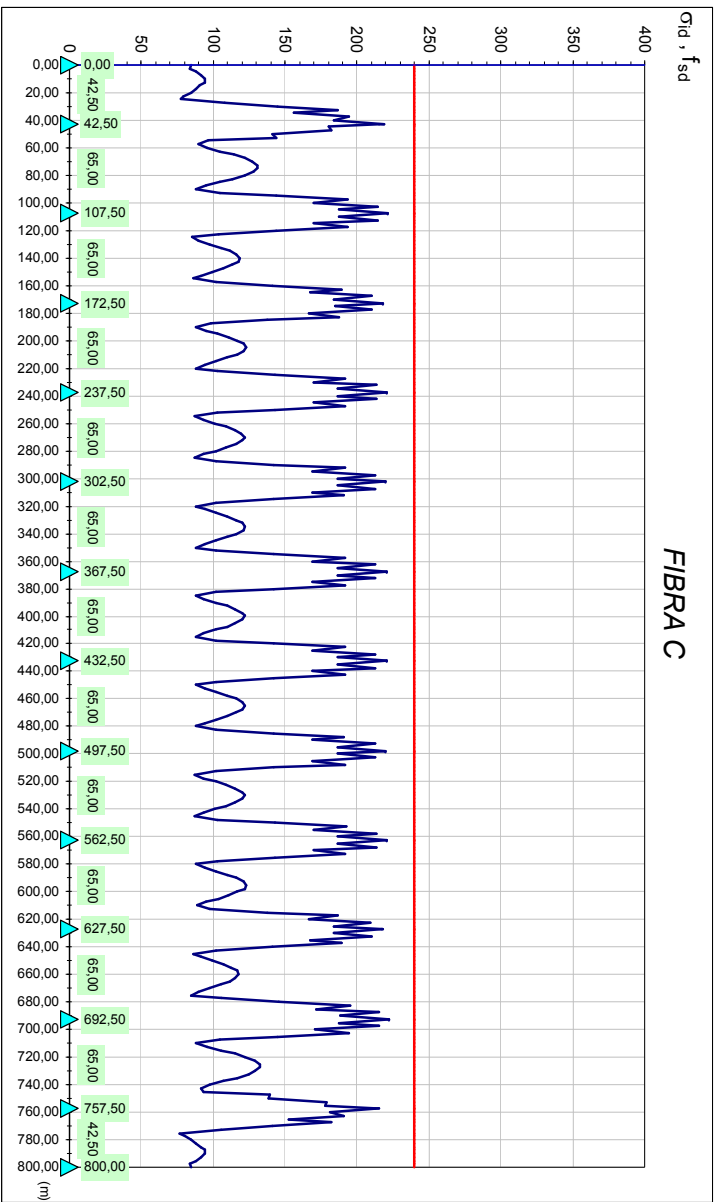
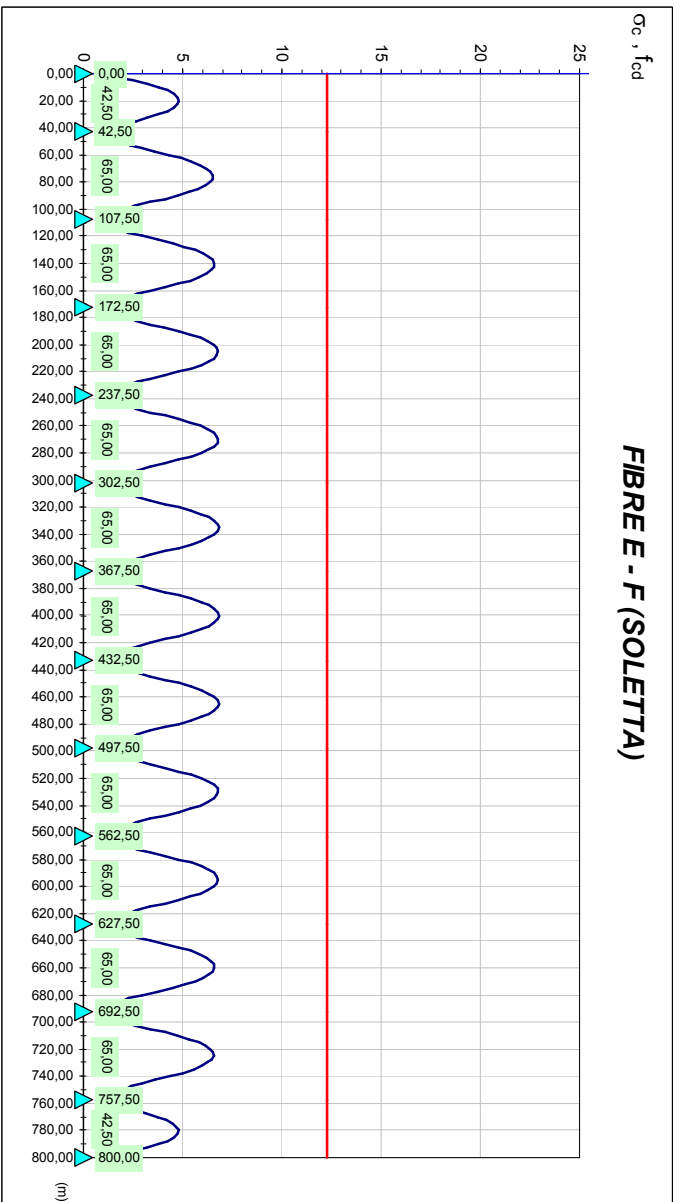
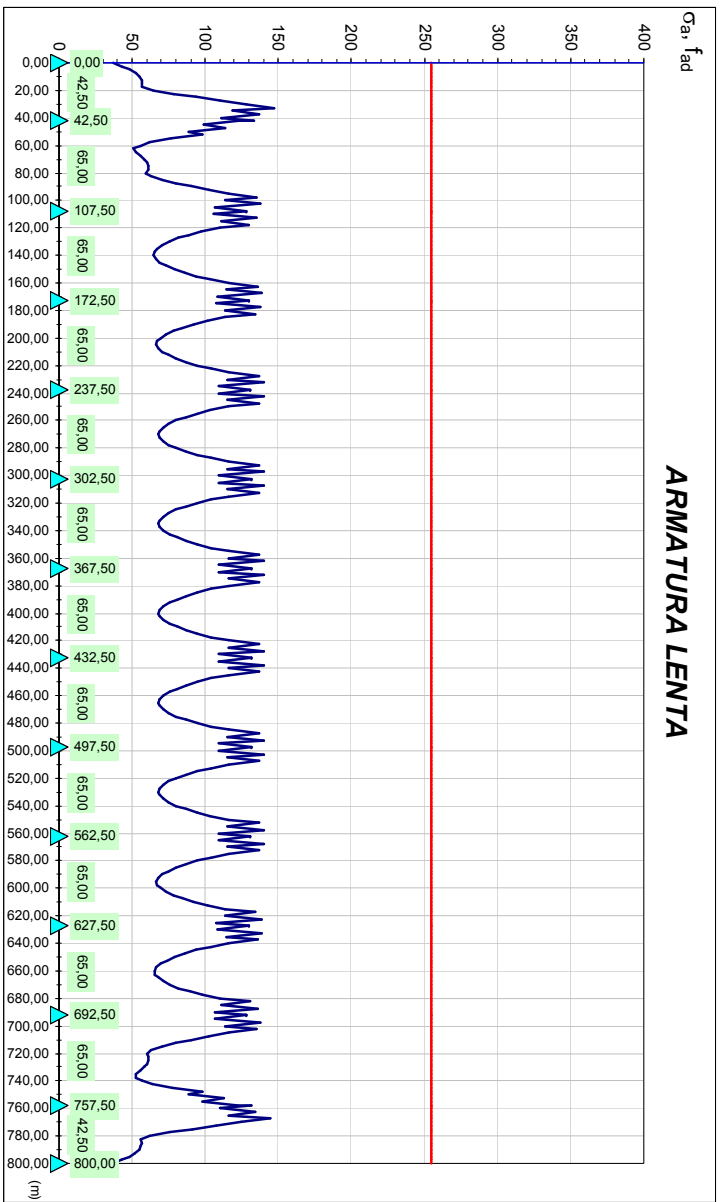


Figura 5.1 – Fibre di riferimento per le verifiche di resistenza







## 5.2 Verifica di stabilità dei pannelli d'anima delle travi principali

Le verifiche sono state effettuate per le combinazioni di carico precedentemente espone facendo riferimento ai criteri suggeriti dalle CNR 10011.

L'anima delle travi metalliche è stata considerata suddivisa in pannelli rettangolari, compresi fra due montanti verticali di irrigidimento successivi, soggetti alle tensioni normali e tangenziali di calcolo dovute alle combinazioni I e II già menzionate. La distribuzione delle tensioni è riportata in appendice. I pannelli sono stati considerati incernierati lungo i bordi.

La verifica consiste nel provare che:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{cr,id}$$

oppure nel caso risulti  $\sigma_{cr, id} > 0,8 f_d$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{cr,red}$$

dove:

$$\sigma_{cr,id} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} + \frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}}$$

e

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

con il seguente significato dei simboli:

lunghezza del pannello	a
altezza netta del pannello	h
spessore del pannello	t
rapporto fra i lati del pannello	$\alpha = a / h$
tensione normale di compressione	$\sigma$
tensione normale di trazione	$\psi\sigma$
coefficiente di distribuzione lineare delle tensioni normali	$\psi$
tensione tangenziale media	$\tau$

coefficiente di imbozzamento per le tensioni normali

$$-1 < \psi < 0 \quad K_\sigma = (1+K_1) - \psi K_2 + 10 \psi (1+\psi) \quad (K_1 = 7,636, \quad K_2 = 23,9)$$

$$\psi \leq -1 \quad K_\sigma = 23,9$$

coefficiente di imbozzamento per le tensioni tangenziali  $K_\tau = 0,8 (5,34 + 4/\alpha^2)$



tensione di riferimento

$$\sigma_{cr,0} = 186200 \text{ (t/h}^2\text{) N/mm}^2$$

tensioni ideali di imbozzamento

$$\sigma_{cr} = K_{\sigma} \sigma_{cr,0}$$

$$\tau_{cr} = K_{\tau} \sigma_{cr,0}$$

Nelle tabelle seguenti sono riportate sinteticamente le verifiche di tutti i pannelli e in dettaglio quelle relative al pannello maggiormente sollecitato.

Pann.	Campata	Ascissa iniziale	Sez	Ascissa finale	Sez	Lungh. Pannello	ALA SUPERIORE		ALA INFERIORE		ANIMA	
							b3 (cm)	t3 (cm)	b1 (cm)	t1 (cm)	b2 (cm)	t2 (cm)
1	1	0,00	1	5,31	4	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
2	1	5,31	4	10,62	7	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
3	1	10,62	7	15,93	10	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
4	1	15,93	10	21,24	13	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
5	1	21,24	13	26,55	16	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
6	1	26,55	16	31,86	19	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
7	1	31,86	19	37,17	22	5,31	90,0	5,638	120,0	5,759	248,6	2,752
8	1	37,17	22	42,50	25	5,33	90,0	8,814	120,0	8,814	242,4	2,800
9	2	42,50	26	48,41	29	5,91	90,0	8,538	120,0	8,538	242,9	2,800
10	2	48,41	29	54,32	32	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
11	2	54,32	32	60,23	36	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
12	2	60,23	36	66,14	39	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
13	2	66,14	39	72,05	42	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
14	2	72,05	42	77,96	46	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
15	2	77,96	46	83,87	49	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
16	2	83,87	49	89,78	52	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
17	2	89,78	52	95,69	56	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
18	2	95,69	56	101,60	59	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
19	2	101,60	59	107,50	62	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
20	3	107,50	63	113,41	66	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
21	3	113,41	66	119,32	69	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
22	3	119,32	69	125,23	73	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
23	3	125,23	73	131,14	76	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
24	3	131,14	76	137,05	79	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
25	3	137,05	79	142,96	83	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
26	3	142,96	83	148,87	86	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
27	3	148,87	86	154,78	89	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
28	3	154,78	89	160,69	93	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
29	3	160,69	93	166,60	96	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
30	3	166,60	96	172,50	99	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
31	4	172,50	100	178,41	103	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
32	4	178,41	103	184,32	106	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
33	4	184,32	106	190,23	110	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
34	4	190,23	110	196,14	113	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
35	4	196,14	113	202,05	116	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
36	4	202,05	116	207,96	120	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
37	4	207,96	120	213,87	123	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
38	4	213,87	123	219,78	126	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
39	4	219,78	126	225,69	130	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
40	4	225,69	130	231,60	133	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
41	4	231,60	133	237,50	136	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
42	5	237,50	137	243,41	140	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
43	5	243,41	140	249,32	143	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
44	5	249,32	143	255,23	147	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
45	5	255,23	147	261,14	150	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
46	5	261,14	150	267,05	153	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
47	5	267,05	153	272,96	157	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
48	5	272,96	157	278,87	160	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
49	5	278,87	160	284,78	163	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
50	5	284,78	163	290,69	167	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
51	5	290,69	167	296,60	170	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
52	5	296,60	170	302,50	173	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
53	6	302,50	174	308,41	177	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969

54	6	308,41	177	314,32	180	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
55	6	314,32	180	320,23	184	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
56	6	320,23	184	326,14	187	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
57	6	326,14	187	332,05	190	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
58	6	332,05	190	337,96	194	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
59	6	337,96	194	343,87	197	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
60	6	343,87	197	349,78	200	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
61	6	349,78	200	355,69	204	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
62	6	355,69	204	361,60	207	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
63	6	361,60	207	367,50	210	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
64	7	367,50	211	373,41	214	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
65	7	373,41	214	379,32	217	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
66	7	379,32	217	385,23	221	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
67	7	385,23	221	391,14	224	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
68	7	391,14	224	397,05	227	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
69	7	397,05	227	402,96	231	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
70	7	402,96	231	408,87	234	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
71	7	408,87	234	414,78	237	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
72	7	414,78	237	420,69	241	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
73	7	420,69	241	426,60	244	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
74	7	426,60	244	432,50	247	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
75	8	432,50	248	438,41	251	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
76	8	438,41	251	444,32	254	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
77	8	444,32	254	450,23	258	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
78	8	450,23	258	456,14	261	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
79	8	456,14	261	462,05	264	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
80	8	462,05	264	467,96	268	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
81	8	467,96	268	473,87	271	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
82	8	473,87	271	479,78	274	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
83	8	479,78	274	485,69	278	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
84	8	485,69	278	491,60	281	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
85	8	491,60	281	497,50	284	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
86	9	497,50	285	503,41	288	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
87	9	503,41	288	509,32	291	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
88	9	509,32	291	515,23	295	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
89	9	515,23	295	521,14	298	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
90	9	521,14	298	527,05	301	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
91	9	527,05	301	532,96	305	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
92	9	532,96	305	538,87	308	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
93	9	538,87	308	544,78	311	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
94	9	544,78	311	550,69	315	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
95	9	550,69	315	556,60	318	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
96	9	556,60	318	562,50	321	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
97	10	562,50	322	568,41	325	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
98	10	568,41	325	574,32	328	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
99	10	574,32	328	580,23	332	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
100	10	580,23	332	586,14	335	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
101	10	586,14	335	592,05	338	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
102	10	592,05	338	597,96	342	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
103	10	597,96	342	603,87	345	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
104	10	603,87	345	609,78	348	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
105	10	609,78	348	615,69	352	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
106	10	615,69	352	621,60	355	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
107	10	621,60	355	627,50	358	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
108	11	627,50	359	633,41	362	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
109	11	633,41	362	639,32	365	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
110	11	639,32	365	645,23	369	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
111	11	645,23	369	651,14	372	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
112	11	651,14	372	657,05	375	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
113	11	657,05	375	662,96	379	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
114	11	662,96	379	668,87	382	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
115	11	668,87	382	674,78	385	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
116	11	674,78	385	680,69	389	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
117	11	680,69	389	686,60	392	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
118	11	686,60	392	692,50	395	5,90	90,0	9,390	120,0	9,390	241,2	2,969
119	12	692,50	396	698,41	399	5,91	90,0	9,384	120,0	9,384	241,2	2,969
120	12	698,41	399	704,32	402	5,91	90,0	5,076	120,0	5,384	249,5	2,677
121	12	704,32	402	710,23	406	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
122	12	710,23	406	716,14	409	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
123	12	716,14	409	722,05	412	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
124	12	722,05	412	727,96	416	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
125	12	727,96	416	733,87	419	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
126	12	733,87	419	739,78	422	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400

127	12	739,78	422	745,69	426	5,91	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
128	12	745,69	426	751,60	429	5,91	90,0	5,081	120,0	5,387	249,5	2,677
129	12	751,60	429	757,50	432	5,90	90,0	8,542	120,0	8,542	242,9	2,800
130	13	757,50	433	762,81	436	5,31	90,0	8,825	120,0	8,825	242,4	2,800
131	13	762,81	436	768,12	439	5,31	90,0	5,650	120,0	5,766	248,6	2,753
132	13	768,12	439	773,43	442	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
133	13	773,43	442	778,74	445	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
134	13	778,74	445	784,05	448	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
135	13	784,05	448	789,36	451	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
136	13	789,36	451	794,67	454	5,31	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400
137	13	794,67	454	800,00	457	5,33	90,0	3,000	120,0	4,000	253,0	2,400

Tabella 5.1 - *Caratteristiche geometriche dei pannelli d'anima*

Pann. n°	$\sigma_{cr, id} / \sigma_{id}$	$\beta \cdot v$	Esito della verifica	Comb.	Condiz. Car. Mobili	Posiz. verifica	Sollecitazioni		
							N (kN)	M (kNm)	V (kN)
1	2,499	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-797	3602	2486
2	3,114	1,500	Pannello verificato	1	M min	Destra	-2519	5875	-166
3	3,525	1,500	Pannello verificato	1	M min	Sinistra	-2250	4806	-385
4	3,152	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-564	6506	-1660
5	2,207	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1941	1992	-2359
6	1,972	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1651	-8947	-3101
7	1,938	1,500	Pannello verificato	1	M min	Destra	-2571	-29009	-2798
8	1,651	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3531	-42293	-4697
9	1,642	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3280	-40334	4818
10	1,982	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1818	-19526	3963
11	1,768	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1773	-638	3146
12	2,509	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	359	7768	2363
13	2,620	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	2549	14406	1195
14	2,626	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	2744	14907	887
15	2,663	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1269	12712	-1346
16	2,327	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-947	4922	-2504
17	1,848	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1262	-7478	-3284
18	1,738	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1902	-25737	-4101
19	1,641	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3513	-47490	-4957
20	1,638	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3508	-47485	4971
21	1,738	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1856	-25685	4114
22	1,845	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1110	-7493	3298
23	2,414	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-554	4522	2517
24	2,905	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1839	12093	1356
25	2,902	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	1712	12567	-997
26	2,887	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1471	11919	-1302
27	2,384	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-864	4765	-2462
28	1,872	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1254	-7244	-3243
29	1,763	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1926	-25214	-4060
30	1,661	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3562	-46668	-4915
31	1,656	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3560	-46626	4954
32	1,764	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1902	-24935	4097
33	1,857	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1179	-6811	3281
34	2,369	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-675	5200	2500
35	2,793	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1748	12554	1340
36	2,797	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	1904	13132	-1052
37	2,797	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1636	12392	-1357
38	2,346	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-802	4899	-2518
39	1,842	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1250	-7332	-3299
40	1,738	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1946	-25598	-4115
41	1,640	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3603	-47348	-4971
42	1,639	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3603	-47351	4971
43	1,738	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1940	-25574	4114
44	1,843	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1236	-7329	3297
45	2,356	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-770	4853	2517
46	2,824	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1680	12312	1356
47	2,828	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	1925	13023	-1047
48	2,822	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1653	12302	-1352
49	2,353	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-795	4879	-2513
50	1,845	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1249	-7307	-3294
51	1,741	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1948	-25538	-4110
52	1,642	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3607	-47252	-4966
53	1,641	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3607	-47250	4969
54	1,741	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1944	-25485	4112
55	1,845	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1242	-7249	3295
56	2,352	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-780	4929	2515
57	2,811	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1673	12366	1354
58	2,816	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	1938	13080	-1052
59	2,812	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1665	12350	-1357
60	2,349	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-791	4895	-2517
61	1,842	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1249	-7312	-3298
62	1,739	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1949	-25569	-4115
63	1,640	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3610	-47309	-4970
64	1,640	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3610	-47309	4970
65	1,739	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1947	-25539	4113
66	1,844	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1246	-7296	3296
67	2,352	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-786	4894	2516
68	2,816	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1668	12337	1355

69	2,821	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	1939	13061	-1051
70	2,816	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1666	12332	-1356
71	2,350	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-790	4882	-2517
72	1,843	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1249	-7322	-3298
73	1,739	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1949	-25575	-4114
74	1,640	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3610	-47312	-4970
75	1,639	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3610	-47312	4970
76	1,739	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1947	-25537	4113
77	1,843	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1246	-7288	3297
78	2,350	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-787	4906	2516
79	2,812	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1667	12356	1356
80	2,816	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	1944	13090	-1050
81	2,811	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1671	12364	-1355
82	2,350	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-784	4922	-2516
83	1,844	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1245	-7269	-3297
84	1,741	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1947	-25514	-4113
85	1,642	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3607	-47244	-4969
86	1,641	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3608	-47247	4965
87	1,742	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1945	-25502	4108
88	1,846	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1246	-7282	3292
89	2,354	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-791	4889	2511
90	2,823	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1655	12302	1350
91	2,829	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	1926	13020	1045
92	2,825	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1678	12299	-1358
93	2,355	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-775	4828	-2518
94	1,842	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1240	-7371	-3299
95	1,737	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1943	-25629	-4116
96	1,639	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3604	-47376	-4971
97	1,638	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3604	-47372	4973
98	1,738	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1944	-25578	4116
99	1,842	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1247	-7311	3299
100	2,346	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-797	4915	2519
101	2,793	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1640	12414	1358
102	2,793	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	1908	13156	1053
103	2,788	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1744	12572	-1340
104	2,366	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-682	5221	-2501
105	1,857	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1184	-6801	-3282
106	1,765	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1905	-24929	-4098
107	1,657	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3561	-46581	-4954
108	1,661	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3564	-46625	4913
109	1,765	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1924	-25154	4056
110	1,875	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1251	-7210	3239
111	2,388	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-858	4768	2459
112	2,898	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1479	11884	1298
113	2,915	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	1720	12522	993
114	2,920	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	1823	12000	-1362
115	2,412	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-577	4384	-2523
116	1,840	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1124	-7688	-3304
117	1,729	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1866	-25925	-4121
118	1,634	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3516	-47721	-4976
119	1,633	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3522	-47713	4974
120	1,731	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1904	-25834	4117
121	1,840	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1259	-7489	3300
122	2,315	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-931	4978	2520
123	2,632	1,500	Pannello verificato	1	V min	Destra	1300	12880	1362
124	2,590	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	2762	15124	-875
125	2,581	1,500	Pannello verificato	1	V max	Sinistra	2573	14654	-1182
126	2,504	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	409	8138	-2348
127	1,741	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1708	-190	-3132
128	2,009	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-1786	-18919	-3949
129	1,660	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-3251	-39616	-4802
130	1,674	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-3502	-41606	4651
131	1,973	1,500	Pannello verificato	1	M min	Sinistra	-2527	-28429	2781
132	1,987	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1626	-8777	3079
133	2,382	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-1885	2098	2352
134	3,173	1,500	Pannello verificato	1	V min	Sinistra	-505	6607	1651
135	3,078	1,500	Pannello verificato	1	M min	Destra	-2601	5524	371
136	3,134	1,500	Pannello verificato	1	M min	Sinistra	-2477	5944	152
137	2,499	1,500	Pannello verificato	1	V max	Destra	-802	3600	-2482

Tabella 5.2 - Verifica sintetica dei pannelli d'anima

<i>Caratteristiche del pannello</i>			
Pannello	N_pan	119	
Ascissa inizio	Inizio	692,50	m
Ascissa fine	Fine	698,41	m
Lunghezza del pannello	a	591,0	cm
Campata	n°	12	

<i>Sollecitazioni di verifica</i>			
Combinazione	n°	1	
Condizione carichi mobili		V min	
Forza assiale	N	-3522	kN
Momento flettente	M	-47713	kNm
Taglio	V	4974	kN
Tensione punto C (bordo superiore)	$\sigma_c$	174,8	N/mm <sup>2</sup>
Tensione punto B (bordo inferiore)	$\sigma_b$	-164,1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione tangenziale	$\tau$	69,4	N/mm <sup>2</sup>

<i>Verifica di stabilità</i>			
Tensione di compressione massima ( $\sigma_1$ )	$\sigma_1$	-164,1	N/mm <sup>2</sup>
Tensione all'altro estremo ( $\sigma_2$ )	$\psi \cdot \sigma_1$	174,8	N/mm <sup>2</sup>
Tensione tangenziale	$\tau$	69,4	N/mm <sup>2</sup>
Tensione dovuta ad N	$\sigma_N =$	5,3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione dovuta ad M	$\sigma_M =$	-169,4	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente $\psi$ ( $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$ )	$\psi$	-1,07	
Coefficiente $\alpha$ ( $\alpha = a / b_{ani}$ )	$\alpha$	2,45	
Modulo elastico dell'acciaio	$E_{acciaio}$	206000	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di snervamento (fsy)	$f_{sy}$	355	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo fsd (fsd = fsy/ $\gamma_m$ )	$f_{sd}$	355	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di imbozzamento	$K_\sigma =$	30,11	
Coefficiente di imbozzamento	$K_\tau =$	6,05	
Coefficiente correttivo di $k_\sigma$ e $k_\tau$		1,26	
Tensione di riferimento	$\sigma_{cr,0} =$	28,2	N/mm <sup>2</sup>
	$\sigma_{cr} =$	-849,5	N/mm <sup>2</sup>
	$\tau_{cr} =$	170,8	N/mm <sup>2</sup>
Tensione critica ideale	$\sigma_{cr,id} =$	332,3	N/mm <sup>2</sup>
Tensione ideale	$\sigma_{id} =$	203,5	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente per metodo di verifica	$\nu =$	<b>1,5</b>	
	$\beta =$	1,00	
<b>VERIFICA</b>	$(\sigma_{cr,id} / \sigma_{id}) \geq \beta \times \nu$	<b>SODDISFATTA</b>	
	$\sigma_{cr,id} / \sigma_{id} =$	1,633	> 1,50

Tabella 5.3 – Verifica dettagliata del pannello n°119

### 5.3 Soletta

La soletta ha una larghezza complessiva di 12,75 m e spessore variabile da 25 cm in campata a 35 cm sugli appoggi in corrispondenza delle travi metalliche. Gli sbalzi, destro e sinistro, hanno lunghezza pari a 350 cm e l'interasse delle travi principali è di 575 cm. Il getto viene eseguito per tratti con l'utilizzo di casseri mobili seguendo uno schema di getto con sequenze ottimizzate che prevedono prima l'esecuzione dei conci in campata, poi quelli sugli appoggi.

#### 5.3.1 Verifica di resistenza della soletta

Per il getto della soletta è previsto l'utilizzo di cls con  $R_{ck}$  40 MPa e di acciaio tipo FeB44k; le caratteristiche meccaniche dei materiali sono le seguenti:

- cls  $R_{ck}$  40:  $\sigma_{c adm} = 12,25$  MPa
- acciaio Fe B 44K:  $\sigma_{s adm} = 260$  MPa

La verifica è condotta su una striscia di soletta di larghezza unitaria, avente schema statico di trave appoggiata sulle due travi metalliche, con due sbalzi laterali. Per i carichi da traffico è stata considerata:

- il carico  $q_{1,a}$  posto a 15 cm di distanza dal cordolo, per il calcolo delle sollecitazioni sui due sbalzi;
- il carico  $q_{1,a}$  posta a cavallo della mezzeria della soletta, per il calcolo delle sollecitazioni in campata.

Le sollecitazioni dei carichi permanenti sono riferite al metro lineare.

Le sollecitazioni dei carichi da traffico, trattandosi di carichi localizzati, sono state riportate al metro lineare diffondendo il carico a 45° fino all'appoggio. Il coefficiente di amplificazione dinamica per i carichi da traffico è pari ad 1,4.

### Verifica sbalzo

Le sollecitazioni per la sezione di appoggio sono:

- peso proprio soletta  $\Rightarrow M = -39,4 \text{ kNm/m} \quad T = 24,9 \text{ kN/m}$
- permanenti  $\Rightarrow M = -30,0 \text{ kNm/m} \quad T = 12,7 \text{ kN/m}$
- carichi mobili (con eff. dinamico)  $\Rightarrow \underline{M = -193,2 \text{ kNm/m} \quad T = 151,2 \text{ kN/m}}$   
 $M = -262,6 \text{ kNm/m} \quad T = 188,8 \text{ kN/m}$

Considerando un'armatura superiore di  $5\phi 20 + 5\phi 26$  al metro (area  $42,26 \text{ cm}^2$ ), una inferiore di  $5\phi 20$  al metro (area  $15,71 \text{ cm}^2$ ) ed un copriferro medio di  $4 \text{ cm}$ , si ha la seguente verifica di resistenza della sezione  $100 \times 35$ :

VERIFICA SEZIONE			
Base:	<b>B</b>	<b>100</b>	cm
Altezza:	<b>H</b>	<b>35</b>	cm
Armatura compressa:	<b>Asc</b>	<b>15,71</b>	$\text{cm}^2$
Copriferro superiore:	<b>ds</b>	<b>4</b>	cm
Armatura tesa:	<b>Ast</b>	<b>42,26</b>	$\text{cm}^2$
Copriferro inferiore:	<b>di</b>	<b>4</b>	cm
Coefficiente di omogenizzazione:	<b>n</b>	<b>15</b>	
Momento flettente:	<b>M</b>	<b>26260</b>	kgm
Forza di taglio:	<b>T</b>	<b>18880</b>	kg
Posizione asse neutro:	<b>X</b>	13,5	cm
Momento d'inerzia:	<b>J</b>	295989	$\text{cm}^4$
Momento statico per il taglio:	<b>Sx</b>	11125	$\text{cm}^3$
Tensione nel cls:		<b><math>\sigma_c =</math></b>	<b>119,3</b> $\text{kg/cm}^2$
Tensione nell'acciaio:		<b><math>\sigma_s =</math></b>	<b>2335</b> $\text{kg/cm}^2$
Tensione tangenziale:		<b><math>\tau_{max} =</math></b>	<b>7,1</b> $\text{kg/cm}^2$

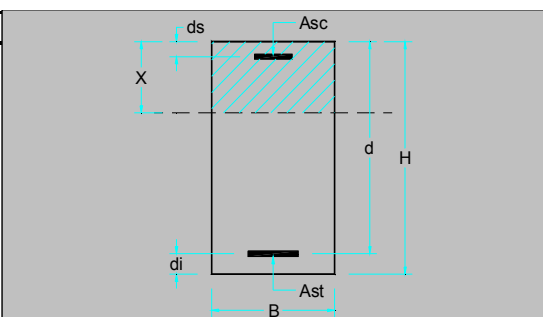


Figura 5.2 - Verifica di resistenza della sezione d'appoggio sinistra



### Verifica campata

Le sollecitazioni per la sezione di campata sono:

$$\Rightarrow M = 81,25 \text{ kNm/m} \quad T = 1,0 \text{ kN/m}$$

Considerando un'armatura superiore di  $5\phi 20$  al metro (area  $15,71 \text{ cm}^2$ ) e inferiore di  $5\phi 20 + 2,5\phi 26$  al metro (area  $28,98 \text{ cm}^2$ ), una ed un copriferro medio di  $4 \text{ cm}$ , si ha la seguente verifica di resistenza della sezione  $100 \times 25$ :

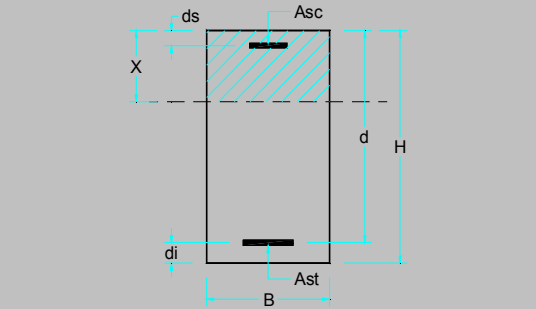
VERIFICA SEZIONE			
Base:	<b>B</b>	<b>100</b>	cm
Altezza:	<b>H</b>	<b>25</b>	cm
Armatura compressa:	<b>Asc</b>	<b>15,71</b>	$\text{cm}^2$
Copriferro superiore:	<b>ds</b>	<b>4</b>	cm
Armatura tesa:	<b>Ast</b>	<b>28,98</b>	$\text{cm}^2$
Copriferro inferiore:	<b>di</b>	<b>4</b>	cm
Coefficiente di omogenizzazione:	<b>n</b>	<b>15</b>	
Momento flettente:	<b>M</b>	<b>8125</b>	kgm
Forza di taglio:	<b>T</b>	<b>100</b>	kg
Posizione asse neutro:	<b>X</b>	<b>9,0</b>	cm
Momento d' inerzia:	<b>J</b>	<b>92392</b>	$\text{cm}^4$
Momento statico per il taglio:	<b>Sx</b>	<b>5198</b>	$\text{cm}^3$
			
Tensione nel cls:		<b><math>\sigma_c =</math></b>	<b>79,5</b> $\text{kg/cm}^2$
Tensione nell' acciaio:		<b><math>\sigma_s =</math></b>	<b>1577</b> $\text{kg/cm}^2$
Tensione tangenziale:		<b><math>\tau_{max} =</math></b>	<b>0,1</b> $\text{kg/cm}^2$

Figura 5.3 - Verifica di resistenza della sezione di campata

## 5.4 Verifica a fessurazione

Nel presente capitolo si riportano le verifiche a fessurazione per la soletta in c.a. effettuate in direzione longitudinale e trasversale in accordo con le normative:

- D.M. 4-5-1990 Norme tecniche per i ponti stradali
- CNR 10016/85 Travi composte in acciaio calcestruzzo
- D.M. 9-01-1996 Norme tecniche per il calcolo delle strutture in c.a.
- Circolare Ministeriale 15-10-96 n. 252

Il valore caratteristico di apertura delle fessure nell'area di efficacia delle armature non deve superare i seguenti limiti:

- $w_k = 0,2$  mm per la combinazione di carico FII;
- $w_k = 0,1$  mm per la combinazione di carico FIII.

Il valore caratteristico è dato da:

$$w_k = 1,7 w_m$$

in cui  $w_m$ , che rappresenta il valor medio dell'apertura calcolata in base alla deformazione media  $\varepsilon_{am}$  del tratto  $s_{rm}$  pari alla distanza media fra le fessure vale:

$$w_m = 1,7 \varepsilon_{am} s_{rm}.$$

La distanza media fra le fessure può essere calcolata attraverso l'espressione:

$$s_{rm} = 2 \left( c + \frac{s}{10} \right) + k_1 k_2 \frac{\phi}{\rho_t}$$

nella quale:

- $c$  è il ricoprimento dell'armatura;
- $s$  è la distanza fra le barre;
- $\phi$  il diametro delle barre;
- $k_2$  è il coefficiente che caratterizza l'aderenza del calcestruzzo alle barre che vale 0,4 nel caso di barre ad aderenza migliorata;
- $k_3$  è il coefficiente della forma del diagramma delle tensioni prima della fessurazione, da assumersi pari a: 0,125 nel caso in cui l'asse neutro sia interno alla soletta,

$0,125(1+\sigma_1/\sigma_2)$  nel caso in cui l'asse neutro sia esterno, essendo  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  le tensioni nominali ai lembi estremi della soletta;

- $\rho_t$  è il rapporto  $A_a/A_{cef}$  ;
- $A_{cef}$  è l'area di calcestruzzo entro la quale la barre di acciaio possono effettivamente influenzare l'apertura delle fessure;
- $A_a$  è l'area di acciaio contenuta nell'area  $A_{cef}$  .

La deformazione unitaria media  $\varepsilon_{am}$  può valutarsi invece con la formula:

$$\varepsilon_{am} = \frac{\sigma_o}{E_a} \left[ 1 - \beta_1 \beta_2 \left( \frac{\sigma_{ar}}{\sigma_o} \right)^2 \right] \quad (\varepsilon_{am} \geq 0,4 \frac{\sigma_o}{E_a})$$

essendo:

- $\sigma_o$  la tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la combinazione di carico considerata, tenuto conto del ritiro;
- $\sigma_{ar}$  la tensione nell'acciaio calcolata nella sezione fessurata per la sollecitazione corrispondente al raggiungimento della resistenza a trazione  $f_{ctm}$  nella fibra di calcestruzzo più sollecitata in sezione interamente reagente, compresa nell'area efficace;
- $\beta_1$  il coefficiente rappresentativo dell'aderenza acciaio calcestruzzo che assume il valore unitario nel caso di barre ad aderenza migliorata;
- $\beta_2$  il coefficiente che tiene conto delle condizioni di sollecitazione: 1,0 nel caso di prima applicazione di un azione di breve durata, 0,5 nel caso di azioni di lunga durata o nel caso di azioni ripetute.

### Verifica in direzione longitudinale

La verifica a fessurazione della soletta in direzione longitudinale è stata condotta per le sezioni soggette a momento negativo nelle zone a cavallo degli appoggi interni.

Nella tabella seguente è riportato in dettaglio il calcolo effettuato per la sezione maggiormente sollecitata.

Combinazione FII

<b>Verifica a fessurazione secondo CNR 10016/85 e DM 04/05/90</b>			
	Sezione n.	<b>18</b>	Ascissa (m) <b>42,5</b>
Combinazione di carico (DM 04/05/90)			<b>F II</b>
Luce campata		<b>42,5</b>	m
Coefficienti $\psi_1$	$\psi_1$	0,64	
Coefficienti $\psi_2$	$\psi_2$	0,43	
Valore limite di apertura fessure $w_{limite}$	$w_{limite}$	0,3	mm
Ricoprimento armatura c	c	6,3	cm
Diametro barre $\phi$	$\phi$	26	mm
Interasse barre s	s	20	cm
Larghezza efficace $b_{c\_ef}$	$b_{c\_ef}$	20	cm
Larghezza efficace $d_{c\_ef}$	$d_{c\_ef}$	14	cm
Tipo di barre		<b>am</b>	
Coefficiente $k_2$	$k_2$	0,4	
Tensione $\sigma_1$	$\sigma_1$	60,57	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione $\sigma_2$	$\sigma_2$	49,81	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente $k_3$	$k_3$	0,23	
Area efficace $A_{c\_ef}$	$A_{c\_ef}$	280	cm <sup>2</sup>
Area acciaio $A_a$	$A_a$	5,31	cm <sup>2</sup>
Coefficiente $\rho_t$	$\rho_t$	0,02	
Distanza media tra le fessure $s_{rm}$	$s_{rm}$	29,09	cm
Tensione $\sigma_0$	$\sigma_0$	999,2	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione di trazione media nel cls $f_{cfm}$	$f_{cfm}$	37,78	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente $\beta_1$	$\beta_1$	1	
Coefficiente $\beta_2$	$\beta_2$	<b>0,5</b>	
Tensione $\sigma_{ar}$	$\sigma_{ar}$	730,4	kg/cm <sup>2</sup>
Deformazione media unitaria $\varepsilon_{am}$	$\varepsilon_{am}$	0,00035	
Distanza media tra le fessure $w_m$	$w_m$	0,10150	mm
Distanza caratteristica di apertura delle fessure $w_k$	$w_k$	0,17255	mm
<b>Esito della verifica</b>			<b>Verificato</b>

Combinazione FIII

<b>Verifica a fessurazione secondo CNR 10016/85 e DM 04/05/90</b>			
	Sezione n.	<b>18</b>	Ascissa (m) <b>42,5</b>
Combinazione di carico (DM 04/05/90)			<b>F III</b>
Luce campata		<b>42,5</b>	m
Coefficienti $\psi_1$	$\psi_1$	0,64	
Coefficienti $\psi_2$	$\psi_2$	0,43	
Valore limite di apertura fessure $w_{limite}$	$w_{limite}$	0,15	mm
Ricoprimento armatura c	c	6,3	cm
Diametro barre $\phi$	$\phi$	26	mm
Interasse barre s	s	20	cm
Larghezza efficace $b_{c\_ef}$	$b_{c\_ef}$	20	cm
Larghezza efficace $d_{c\_ef}$	$d_{c\_ef}$	14	cm
Tipo di barre		<b>am</b>	
Coefficiente $k_2$	$k_2$	0,4	
Tensione $\sigma_1$	$\sigma_1$	52,06	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione $\sigma_2$	$\sigma_2$	44,11	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente $k_3$	$k_3$	0,23	
Area efficace $A_{c\_ef}$	$A_{c\_ef}$	280	cm <sup>2</sup>
Area acciaio $A_a$	$A_a$	5,31	cm <sup>2</sup>
Coefficiente $\rho_t$	$\rho_t$	0,02	
Distanza media tra le fessure $s_{rm}$	$s_{rm}$	29,27	cm
Tensione $\sigma_0$	$\sigma_0$	834,8	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione di trazione media nel cls $f_{cfm}$	$f_{cfm}$	37,78	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente $\beta_1$	$\beta_1$	1	
Coefficiente $\beta_2$	$\beta_2$	<b>0,5</b>	
Tensione $\sigma_{ar}$	$\sigma_{ar}$	730,4	kg/cm <sup>2</sup>
Deformazione media unitaria $\varepsilon_{am}$	$\varepsilon_{am}$	0,00025	
Distanza media tra le fessure $w_m$	$w_m$	0,07183	mm
Distanza caratteristica di apertura delle fessure $w_k$	$w_k$	0,12212	mm
<b>Esito della verifica</b>			<b>Verificato</b>

Verifica in direzione trasversale

La verifica a fessurazione della soletta in direzione trasversale è stata effettuata per la zona di appoggio sulle travi metalliche. I carichi considerati sono: il peso della soletta, i carichi permanenti ed i carichi mobili. Nelle tabelle seguenti sono riportate in dettaglio le verifiche relative agli sbalzi destro e sinistro, nel caso in cui il carico accidentale  $q_{1a}$  sia posizionato in modo tale da massimizzare il momento flettente.

--- **Verifica a fessurazione secondo D.M. 09/01/1996** ---

GEOMETRIA DELLA SEZIONE E CARATTERISTICHE MATERIALI

Calcestruzzo $R_{ck}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	400
Tipo acciaio	FeB44k
Modulo elastico acciaio [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	2100000
Tensione ammissibile cls $\sigma_{camm}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	122,5
Resistenza a trazione del cls $f_{ctk}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	26,53
Tensione ammissibile acciaio $\sigma_{samm}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	2600
Altezza della sezione $h$ [cm]	35
Larghezza della sezione $b$ [cm]	100
Spaziatura verticale delle barre $S$ [cm]	0,00
Spaziatura orizzontale delle barre $s$ [cm]	10,00
Ricoprimento dell'armatura $c$ [cm]	2,70

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Forza assiale di progetto [daN]	0
Momento flettente di progetto [daN]	26260

CALCOLO DISTANZA MEDIA FRA LE FESSURE

Coefficiente $k_2$	0,4
Coefficiente $k_3$	0,125
Altezza efficace $deff$ [cm]	8,13
Larghezza efficace $beff$ [cm]	100,00
Area efficace $A_{c,eff}$ [ $\text{cm}^2$ ]	813,49
Area efficace $A_s$ [ $\text{cm}^2$ ]	42,25
Coefficiente $\rho_r$	0,052
	9,61

CALCOLO DELLA DEFORMAZIONE MEDIA DELL'ARMATURA

Tensione $\sigma_s$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	2340,06
Tensione $\sigma_r$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	880,61
Coefficiente $\beta_1$	1
Coefficiente $\beta_2$	0,5
Deformazione unitaria media $\epsilon_{sm}$	1,04E-03

CALCOLO AMPIEZZA FESSURE

Ampiezza delle fessure $w_k$ [mm]	0,169
Coefficiente di riduzione	0,74
Ampiezza delle fessure ridotta $w_{rid}$ [mm]	0,125
Ampiezza massima ammissibile $w$ [mm]	0,200

--- **Verifica a fessurazione secondo D.M. 09/01/1996** ---

GEOMETRIA DELLA SEZIONE E CARATTERISTICHE MATERIALI

Calcestruzzo $R_{ck}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	400
Tipo acciaio	FeB44k
Modulo elastico acciaio [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	2100000
Tensione ammissibile cls $\sigma_{camm}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	122,5
Resistenza a trazione del cls $f_{ctk}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	26,53
Tensione ammissibile acciaio $\sigma_{samm}$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	2600
Altezza della sezione $h$ [cm]	35
Larghezza della sezione $b$ [cm]	100
Spaziatura verticale delle barre $S$ [cm]	0,00
Spaziatura orizzontale delle barre $s$ [cm]	10,00
Ricoprimento dell'armatura $c$ [cm]	2,70

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Forza assiale di progetto [daN]	0
Momento flettente di progetto [daN]	20462

CALCOLO DISTANZA MEDIA FRA LE FESSURE

Coefficiente $k_2$	0,4
Coefficiente $k_3$	0,125
Altezza efficace $d_{eff}$ [cm]	8,13
Larghezza efficace $b_{eff}$ [cm]	100,00
Area efficace $A_{c,eff}$ [ $\text{cm}^2$ ]	813,49
Area efficace $A_s$ [ $\text{cm}^2$ ]	42,25
Coefficiente $\rho_r$	0,052
	9,61

CALCOLO DELLA DEFORMAZIONE MEDIA DELL'ARMATURA

Tensione $\sigma_s$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	1823,40
Tensione $\sigma_r$ [ $\text{daNcm}^{-2}$ ]	880,61
Coefficiente $\beta_1$	1
Coefficiente $\beta_2$	0,5
Deformazione unitaria media $\epsilon_{sm}$	7,67E-04

CALCOLO AMPIEZZA FESSURE

Ampiezza delle fessure $w_k$ [mm]	0,125
Coefficiente di riduzione	0,74
Ampiezza delle fessure ridotta $w_{rid}$ [mm]	0,093
Ampiezza massima ammissibile $w$ [mm]	0,100

## PARTE II : APPOGGI, GIUNTI E RITEGNI SISMICI

### 1 Dimensionamento degli appoggi

Nelle tabelle seguenti è riportato il dettaglio delle reazioni verticali per ogni singolo appoggio ed il calcolo dell'azione sismica in direzione trasversale; con queste azioni è stata dimensionata la capacità orizzontale e verticale di ogni appoggio in PTFE (fissi, unidirezionali e multidirezionali), come riportato anche nelle tavole progettuali. Nella determinazione delle reazioni verticali degli appoggi verranno considerate due condizioni di carico:

- 1) P.p. acciaio + p.p. soletta + permanenti + ritiro + vento +  $\Delta T_{neg}$  + carichi mobili;
- 2) P.p. acciaio + p.p. soletta + permanenti + vento +  $\Delta T_{pos}$  + carichi mobili.

	Acciaio	Soletta	Perm.	Ritiro	Vento	$\Delta t$ Neg.	$\Delta t$ Pos.	Mobili	Coeff. Din.	Rv Comb. 1	Rv Comb. 2	V
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
Spalla A	180	601	313	-104	115	-41	82	1654	1,18	2718	2944	3500
Pila 1	1043	2789	1349	120	478	47	-93	3677	1,18	9502	9243	10000
Pila 2	1121	3038	1488	-21	530	-7	14	3570	1,03	9719	9761	10000
Pila 3	1096	2958	1451	6	517	2	-4	3624	1,03	9654	9643	10000
Pila 4	1104	2984	1461	-2	521	0	1	3659	1,03	9727	9730	10000
Pila 5	1101	2976	1459	0	520	0	0	3664	1,03	9720	9719	10000
Pila 6	1102	2978	1459	0	520	0	0	3666	1,03	9725	9725	10000
Pila 7	1102	2978	1459	0	520	0	0	3666	1,03	9726	9726	10000
Pila 8	1101	2975	1459	0	520	0	0	3664	1,03	9719	9718	10000
Pila 9	1105	2985	1462	-2	521	0	1	3660	1,03	9730	9733	10000
Pila 10	1094	2955	1451	6	517	2	-4	3626	1,03	9651	9639	10000
Pila 11	1127	3046	1489	-21	530	-7	15	3577	1,03	9741	9784	10000
Pila 12	1005	2776	1346	120	477	47	-94	3667	1,18	9438	9177	10000
Spalla B	175	608	314	-104	115	-41	82	1645	1,18	2713	2940	3500

- Reazioni (Rv) e capacità verticale (V) appoggi carreggiata destra -



	W (massa appoggio)	C	R	$\varepsilon$	Rh (sisma)	HT
	(kN)				(kN)	(kN)
Spalla A	2188	0,04	1	1,2	263	500
Pila 1	10362	0,04	1	1,2	1243	1500
Pila 2	11293	0,04	1	1,2	1355	1500
Pila 3	11010	0,04	1	1,2	1321	1500
Pila 4	11099	0,04	1	1,2	1332	1500
Pila 5	11071	0,04	1	1,2	1329	1500
Pila 6	11079	0,04	1	1,2	1329	1500
Pila 7	11080	0,04	1	1,2	1330	1500
Pila 8	11070	0,04	1	1,2	1328	1500
Pila 9	11103	0,04	1	1,2	1332	1500
Pila 10	10999	0,04	1	1,2	1320	1500
Pila 11	11325	0,04	1	1,2	1359	1500
Pila 12	10255	0,04	1	1,2	1231	1500
Spalla B	2196	0,04	1	1,2	264	500

- Azione sismica trasversale (Rh) e capacità orizzontale (HT) appoggi carreggiata destra –

I valori delle capacità verticali e orizzontali degli appoggi della carreggiata sinistra sono stati estrapolati per analogia dal calcolo dalla carreggiata destra in quanto le luci delle campate delle due carreggiate sono simili.

## 2 Ritegni sismici

L'azione sismica longitudinale del viadotto è riportata alla spalla SA mediante dispositivi di ritegno elastico e alla spalla SB mediante dispositivi di vincolo dinamico a comportamento elastico. La forza sul ritegno è stata calcolata schematizzando il viadotto come un oscillatore semplice in cui la massa è rappresentata dall'impalcato e la molla dal ritegno elastico.

Per determinare la forza sismica longitudinale da affidare al ritegno è stato calcolato il periodo

proprio di oscillazione mediante la formula  $t = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ .

Nella tabella seguente viene riportato il calcolo della forza sismica longitudinale da affidare ad ogni ritegno e il relativo spostamento:

<b>CALCOLO RITEGNI SISMICI VIADOTTO:</b>		<b>VIADOTTO 1</b>	
Peso Viadotto	136129	(kN)	
Massa	13877		
N° Ritegni	4		
Periodo	1,745	sec	
<b>COEFFICIENTI SISMICI</b>			
Categoria zona sismica	3°		
Grado di sismicità S =	6		
Coefficiente di intensità C =	0,04		
Coefficiente di fondazione ε =	1,2		
Coefficiente di protezione I =	1		
Coefficiente di struttura β =	2,5		
Coefficiente di risposta R =	0,595		
Coeff. Sismico totale C • ε • I • β • R =	0,071		
Azione su un ritegno	2430	(kN)	
Spostamento	± 60	(mm)	

### **3 Giunti di dilatazione**

I giunti di dilatazione in gomma armata sono dimensionati considerando, a favore di sicurezza, una variazione termica di  $\pm 40$  °C sull'intero impalcato. Con tale valore si intendono inglobati anche gli effetti del ritiro della soletta in cls.

L'escursione del giunto sulla spalla SA è stata dimensionata in modo tale da consentire lo spostamento elastico del viadotto sotto l'effetto del sisma.

L'escursione del giunto sulla spalla SB è stata dimensionata in modo tale da consentire lo spostamento elastico del viadotto sotto l'effetto del sisma + una variazione termica di  $\pm 40$  °C.

Le caratteristiche geometriche dei giunti adottati sono riportate nelle tavole di progetto.

## **APPENDICE A: Sollecitazioni di Calcolo dell'Impalcato**



