



PROVINCIA DI CHIETI

PROGETTO DEFINITIVO

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

LOTTO I

RESPONSABILE PROGETTAZIONE:

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

I PROGETTISTI:

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

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

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

COORDINAMENTO ATTIVITA' IN LOCO:

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

PROGETTAZIONE:

A.T.I.

mandataria

SILEC S.p.A.

Divisione Progettazione e Studi

mandanti



SELPRO

TECNOPROJECT

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

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Viadotti

Impalcato in CAP

Relazione tecnica e di predimensionamento

SCALA : -

CODICE IDENTIFICATIVO :

FASE/LOTTO

D 1

DOC.

C L

OPERA/DISCIPLINA

V I O O

PROGR.

0 0 3

REV.

A

INDICE

<u>1</u>	<u>GENERALITÀ</u>	<u>5</u>
<u>2</u>	<u>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</u>	<u>9</u>
<u>3</u>	<u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</u>	<u>10</u>
<u>4</u>	<u>TENSIONI DI CALCOLO</u>	<u>10</u>
<u>5</u>	<u>CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED INERZIALI DELLE TRAVI</u>	<u>12</u>
5.1	CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI DELLE TRAVI DA 29.4 M.	14
5.1.1	SEZIONE C	14
5.1.2	SEZIONE D	16
5.1.3	SEZIONE E	18
<u>6</u>	<u>ANALISI DEI CARICHI</u>	<u>20</u>
6.1	PESI PROPRI STRUTTURALI (G_1)	20
6.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI (G_2)	20
6.3	OSSERVAZIONI SUI PESI PROPRI ED I PERMANENTI PORTATI DELL'IMPALCATO DA 25 M.	21
6.4	INCREMENTO DINAMICO DEI CARICHI MOBILI (Φ)	21
6.5	CARICHI MOBILI + FOLLA($Q_{1,A}$, $Q_{1,B}$, $Q_{1,E}$)	21
6.5.1	DETERMINAZIONE DEI COEFF. DI RIPARTIZIONE TRASVERSALE, CAMPATA DA 30 M.	22
6.5.2	DETERMINAZIONE DEI COEFF. DI RIPARTIZIONE TRASVERSALE, CAMPATA DA 25 M.	24
6.6	AZIONI TERMICHE UNIFORMI E DIFFERENZIALI (ϵ_3)	25
6.7	AZIONE LONGITUDINALE DI FRENAMENTO (Q_3)	25
6.8	AZIONE LONGITUDINALE DI ATTRITO (Q_7)	25

6.9	AZIONE DEL VENTO (Q_5)	25
6.10	VARO DEL CASSONE (Q_9)	26
6.11	URTO DI VEICOLO IN SVIO (Q_8)	26
6.12	AZIONE SISMICA (Q_6)	26
<u>7</u>	<u>CARATTERISTICHE DI PRECOMPRESSIONE.</u>	<u>27</u>
7.1	DISPOSIZIONE DELLE ARMATURE DI PRECOMPRESSIONE.	27
7.2	CADUTE DI TENSIONE	28
7.2.1	IL CALCESTRUZZO:	28
7.2.2	L'ACCIAIO ARMONICO :	31
<u>8</u>	<u>COMBINAZIONI DI CARICO E CARATTERISTICHE GLOBALI DI SOLLECITAZIONE.</u>	<u>33</u>
8.1	CARATTERISTICHE GLOBALI DI SOLLECITAZIONE.	33
<u>9</u>	<u>VERIFICHE STATICHE DELLE TRAVI.</u>	<u>35</u>
9.1	VERIFICHE AGLI S.L.E IMPALCATO DA 30 M.	36
9.1.1	SEZIONE 10 (TIPO E)	37
9.1.2	VERIFICA DELLE TENSIONI NEL CLS LUNGO LA TRAVE	43
9.1.3	TENSIONE NEI CAVI DI PRECOMPRESSIONE	59
9.2	VERIFICHE AGLI SLU IMPALCATO DA 30 M	60
9.2.1	SEZIONE A 3.5 M	62
9.2.2	SEZIONE A 7.7M.	62
9.2.3	SEZIONE A 14.2 M.	63
9.3	VERIFICHE AGLI SLU IMPALCATO DA 25 M	63
9.4	VERIFICA A TAGLIO SEZIONE AD X = 1.8 M	64
9.4.1	METODO S.L.U.	64
<u>10</u>	<u>VERIFICA DEI TRASVERSI IN FASE DI SOLLEVAMENTO DELL'IMPALCATO</u>	<u>65</u>
10.1	VERIFICA SCORRIMENTO TRA LA PARETE DEL CASSONE E IL TRASVERSO GETTATO IN UN SECONDO MOMENTO	65

<u>11</u>	<u>VERIFICHE PREDALLES E SOLETTA.</u>	<u>67</u>
11.1	VERIFICA DELLE DALLE PREFABBRICATE A PERDERE IN FASE DI GETTO	67
11.2	VERIFICA DELLA SOLETTA	68
11.2.1	CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI	68
11.2.2	AZIONI	69
11.2.3	DIAGRAMMA INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI.	72
11.2.4	VERIFICHE DI SEZIONE AI MOMENTI FLETTENTI.	73
11.2.5	VERIFICHE A TAGLIO DELLE SEZIONI.	76
11.3	LA SOLETTA DELL'IMPALCATO DA 25 M.	77
<u>12</u>	<u>REAZIONI VINCOLARI</u>	<u>78</u>
12.1	SOLLECITAZIONI SUGLI APPOGGI, IMPALCATO DA 25 M.	81
<u>13</u>	<u>MODELLO DI CALCOLO PER L'IMPALCATO DA 30 M.</u>	<u>82</u>
13.1	PREMESSA	82
13.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO AGLI E.F.	82
13.2.1	LA TIPOLOGIA DI ELEMENTI FINITI UTILIZZATI	83
13.3	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI ELEMENTI.	84
13.3.1	MATERIALI	84
13.3.2	SEZIONI.	84

1 Generalità

La presente relazione riguarda le analisi e le verifiche di tutti gli impalcati in c.a.p. del I Stralcio Funzionale della Transcollinare PICENO-APRUTINA..

Nel tratto in esame gli impalcati in c.a.p. sono stati utilizzati per campate da 30 m e da 25 m, nel primo caso la sezione trasversale è costituita da 4 vasche prefabbricate a trefoli aderenti, aventi altezza di 1.6 m e larghezza di 2.0 m, posizionate ad interasse di 2.75 m, mentre nel secondo è realizzata con tre vasche come le precedenti ad interasse di 4 m, tutte sono ruotate su baggioli di altezza variabile in modo da ottenere una soletta, gettata su "dalles" prefabbricate, di spessore costante pari a 30 cm.

Per le campate da 30 m si fa uso di dalles tralicciate solo sugli sbalzi, mentre per quelle da 25 m in cui le travi sono posizionate trasversalmente ad interasse maggiore tutte le dalles sono tralicciate.

La piattaforma stradale è in ogni caso la TIPO C1-codice della strada (ex tipo IV C.N.R), con un bitumato da 10.50 e due marciapiedi laterali per complessivi 13.50 m.

Nei casi in cui sono presenti più campate dei tipi descritti che si susseguono in senso longitudinale esse vengono rese continue, per quanto riguarda le forze longitudinali, realizzando la soletta continua in corrispondenza delle pile, così facendo si riescono ad unire fino ad un massimo di 5 campate le quali avranno quindi bisogno di appoggi fissi solamente su una pila.

Il vantaggio maggiore che si ottiene realizzando la continuità sugli impalcati è quella di eliminare i giunti tra le campate che procurano sempre disagi agli utenti ed inoltre creano non pochi problemi di durabilità, legati alla percolazione delle acque meteoriche, su vari elementi del viadotto.

Trasversalmente le travi sono collegate oltre che dalla soletta gettata in opera anche da due traversi per campata posizionati in corrispondenza degli assi appoggi, essi hanno altezza pari a quella delle travi, spessore di 40 cm e sono precompressi.

Nelle pagine seguenti sono riportate le sezioni trasversali degli impalcati descritti e le carpenterie delle due travi, 30 m e 25 m, utili a comprendere meglio quanto illustrato.

Nel seguito si effettueranno i calcoli relativi ai due tipi di impalcati, in particolare quelli relativi alle campate da 30 m verranno sviluppati integralmente, anche tramite la realizzazione di un modello agli elementi finiti, mentre per quelle da 25 m si utilizzeranno calcoli semplificati basandosi anche sul raffronto con i risultati ottenuti per quelle da 30 m.

Le due analisi verranno sviluppate in parallelo all'interno della relazione, per le verifiche delle travi da 25 m si effettuerà quella agli S.L.U. sulla sezione di mezzzeria.

Si fa notare che essendo i valori delle forze orizzontali legate in maniera stretta al comportamento delle sottostrutture e alla disposizione dei vincoli fissi nel caso della solidarizzazione longitudinale di più campate, in questa relazione si determineranno i valori dei carichi sugli appoggi solamente per i carichi verticali e per quelli trasversali all'asse dell'impalcato non legati alla sismica, mentre per i valori completi dei carichi sugli appoggi si rimanda alle relazioni delle sottostrutture di ogni singola opera, in cui i valori forniti in questa relazione verranno riportati ed integrati con quelli mancanti.

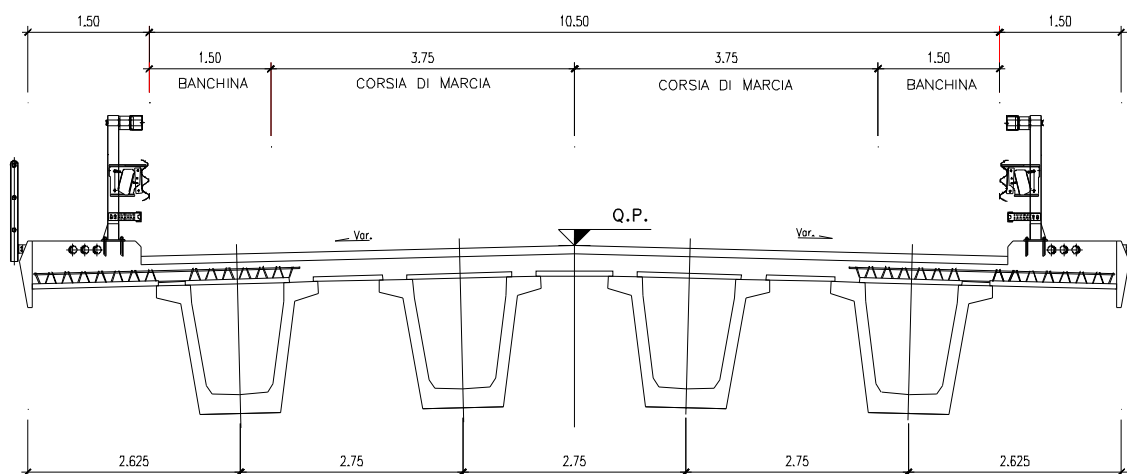


Figura 1 – Sezione trasversale corrente impalcati da 30 m.

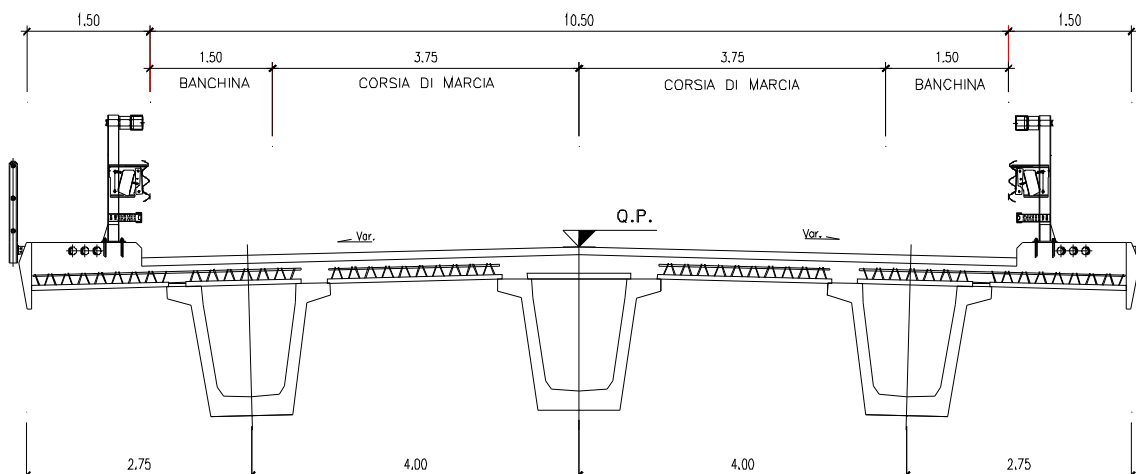
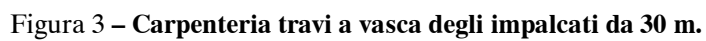
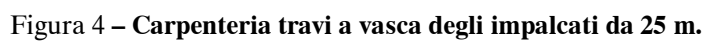


Figura 2 – Sezione trasversale corrente impalcati da 25 m.





2 Normative di riferimento

- Legge 5-1-1971 n° 1086: "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- 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. 16 gennaio 1996 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 3274 del 20-03-2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- DM 4 Maggio 1990: "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e il collaudo dei ponti stradali.
- Circolare del 25-2-1991 contenente le "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali" di cui al D.M. del 4-5-1990
- CNR 10024/86 "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione della relazioni di calcolo".
- CNR 10018/99 "Apparecchi di appoggio per le costruzioni. Istruzioni per l'impiego".

Nella redazione dei progetti e nelle verifiche strutturali si è inoltre fatto riferimento alle seguenti normative ed istruzioni:

- EC2 – UNI-ENV-1992- – Progettazione Strutture in Cemento Armato
- EC8 – UNI-ENV-1998- – Progettazione Strutture in Zona sismica
- Model Code '98

Le unità di misura usate sono:

- lunghezze (m)
- forze (KN)
- tensioni (Mpa - N/mm²)

3 Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo per vasche in c.a.p.

$$R_{ck} = 55 \text{ MPa}$$

$$E = 5700 \sqrt{R_{ck}} = 42\,272 \text{ MPa}$$

Calcestruzzo per soletta, trasverso gettato in opera e dalle prefabbricate

$$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$E = 5700 \sqrt{R_{ck}} = 36\,050 \text{ MPa}$$

Acciaio ordinario per armature

$$\text{Acciaio FeB 44k}$$

$$E = 210\,000 \text{ MPa}$$

Acciaio armonico in trefoli da 0.6" super (per la precompressione delle vasche e dei trasversi)

$$f_{ptk} = 1\,860 \text{ MPa}$$

$$f_{p(0.1)k} = 1\,600 \text{ MPa}$$

$$E = 195\,000 \text{ MPa}$$

4 Tensioni di calcolo

Calcestruzzo per vasche in c.a.p. ($R_{ck} = 55 \text{ MPa}$)

Stato limite ultimo SLU:

$$f_{cd} = 0.83 \cdot R_{ck} / 1.5 = 30.43 \text{ MPa}$$

Stato limite di esercizio SLE:

- Tensioni iniziali ($R_{ckj} = 45 \text{ MPa}$)
 - $\sigma_c = 0.60 f_{ckj} = 22.41 \text{ MPa}$ (compressione)
 - $\sigma_c = 0.10 f_{ckj} = 3.735 \text{ MPa}$ (trazione)
- Tensioni iniziali ($R_{ckj} = 55 \text{ MPa}$)
 - $\sigma_c = 0.60 f_{ckj} = 27.39 \text{ MPa}$ (compressione)
 - $\sigma_c = 0.10 f_{ckj} = 4.565 \text{ MPa}$ (trazione)
- Tensioni di esercizio ($R_{ck} = 55 \text{ MPa}$), in ambiente moderatamente aggressivo
 - $\sigma_c = 0.60 f_{ck} = 27.39 \text{ MPa}$ (compressione), combinazione di carico rara
 - $\sigma_c = 0.45 f_{ck} = 20.54 \text{ MPa}$ (compressione), combinazione di carico quasi permanente
 - $\sigma_c = 0.07 f_{ck} = 3.2 \text{ MPa}$ (trazione), combinazione di carico rara

Cls per: soletta, trasverso e dalle prefabbricate ($R_{ck} = 40$ MPa)

Stato limite ultimo SLU:

$$f_{cd} = 0.83 \cdot R_{ck} / 1.6 = 20.75 \text{ Mpa}$$

Stato limite di esercizio SLE:

C.A.P.

- Tensioni iniziali ($R_{ckj} = 35$ MPa)
 - $\sigma_c = 0.60 f_{ckj} = 17.43 \text{ MPa}$ (compressione)
 - $\sigma_c = 0.10 f_{ckj} = 2.91 \text{ MPa}$ (trazione)
- Tensioni di esercizio ($R_{ck} = 40$ MPa), in ambiente moderatamente aggressivo
 - $\sigma_c = 0.60 f_{ck} = 19.92 \text{ Mpa}$ (compressione), combinazione di carico rara
 - $\sigma_c = 0.45 f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$ (compressione), combinazione di carico quasi permanente
 - $\sigma_c = 0.07 f_{ck} = 2.32 \text{ Mpa}$ (trazione), combinazione di carico rara

C.A.

- Tensioni di esercizio ($R_{ck} = 40$ MPa), in ambiente moderatamente aggressivo
 - $\sigma_c = 0.60 f_{ck} = 19.92 \text{ Mpa}$ (compressione), combinazione di carico rara
 - $\sigma_c = 0.45 f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$ (compressione), combinazione di carico quasi permanente

Acciaio ordinario per armature (FeB 44k)

Stato limite ultimo SLU:

$$f_d = 373.9 \text{ Mpa}$$

Stato limite di esercizio SLE:

$$\sigma_{s \text{ SLE}} = 0.7 \cdot f_{yk} = 301 \text{ MPa}$$

Acciaio armonico pre-teso in trefoli da 0.6" super ($f_{ptk} = 1860$ MPa; $f_{p(1)k} = 1600$ MPa)

$$\sigma_{spi} \leq 0.90 f_{p(1)k} \geq 1440 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{sp} \leq 0.60 f_{ptk} \geq 1116 \text{ Mpa}$$

Acciaio armonico post-teso in trefoli da 0.6" super ($f_{ptk} = 1860$ MPa; $f_{p(1)k} = 1600$ MPa)

$$\sigma_{spi} \leq 0.85 f_{p(1)k} \geq 1360 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{sp} \leq 0.60 f_{ptk} \geq 1116 \text{ Mpa}$$

5 Caratteristiche geometriche ed inerziali delle travi

Nel presente capitolo si riportano le caratteristiche geometriche (luce di calcolo e lunghezza travi) ed inerziali (A , J , W , y_G) delle diverse sezioni dei cassoncini, sia in solo cls che con armature omogeneizzate, con e senza soletta collaborante.

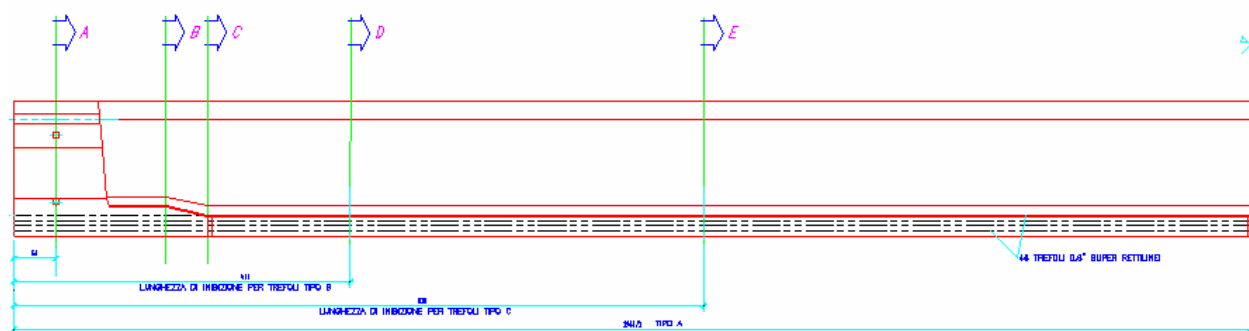
- Per le campate da 30 m la lunghezza delle travi è di 29.4 m e la luce di calcolo è 28.4 m.

Le sezioni considerate nelle verifiche che seguiranno sono:

C- sezione al termine del raccordo ($X=1.8$ m dall'asse appoggi)

D- sezione con 1° variazione di trefoli ($X=3.5$ m dall'asse appoggi)

E- sezione con 2° variazione di trefoli ($X=7.7$ m dall'asse appoggi)



- Per le campate da 25 m la lunghezza delle travi è di 24.4 m e la luce di calcolo è 23.4 m.

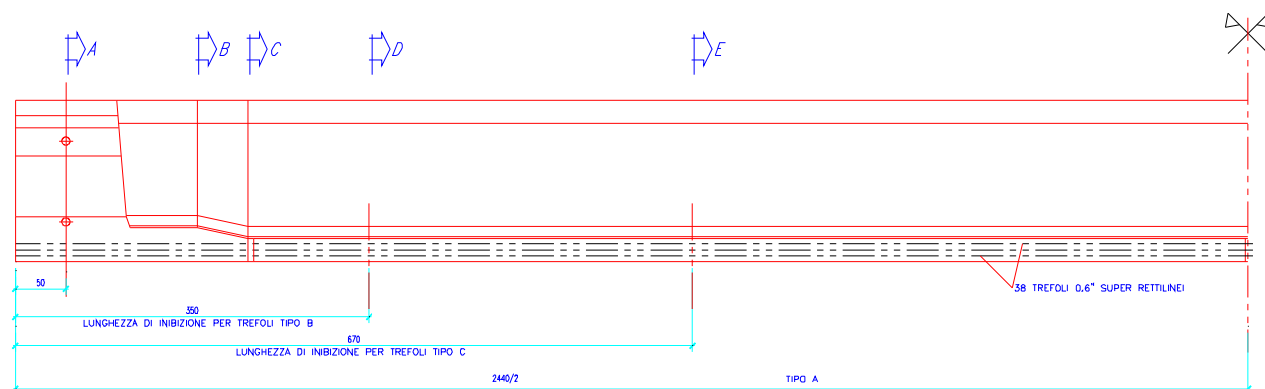
Le sezioni correnti sono:

C- sezione al termine del raccordo ($X=1.8$ m dall'asse appoggi)

D- sezione con 1° variazione di trefoli ($X=3.0$ m dall'asse appoggi)

E- sezione con 2° variazione di trefoli ($X=6.2$ m dall'asse appoggi)

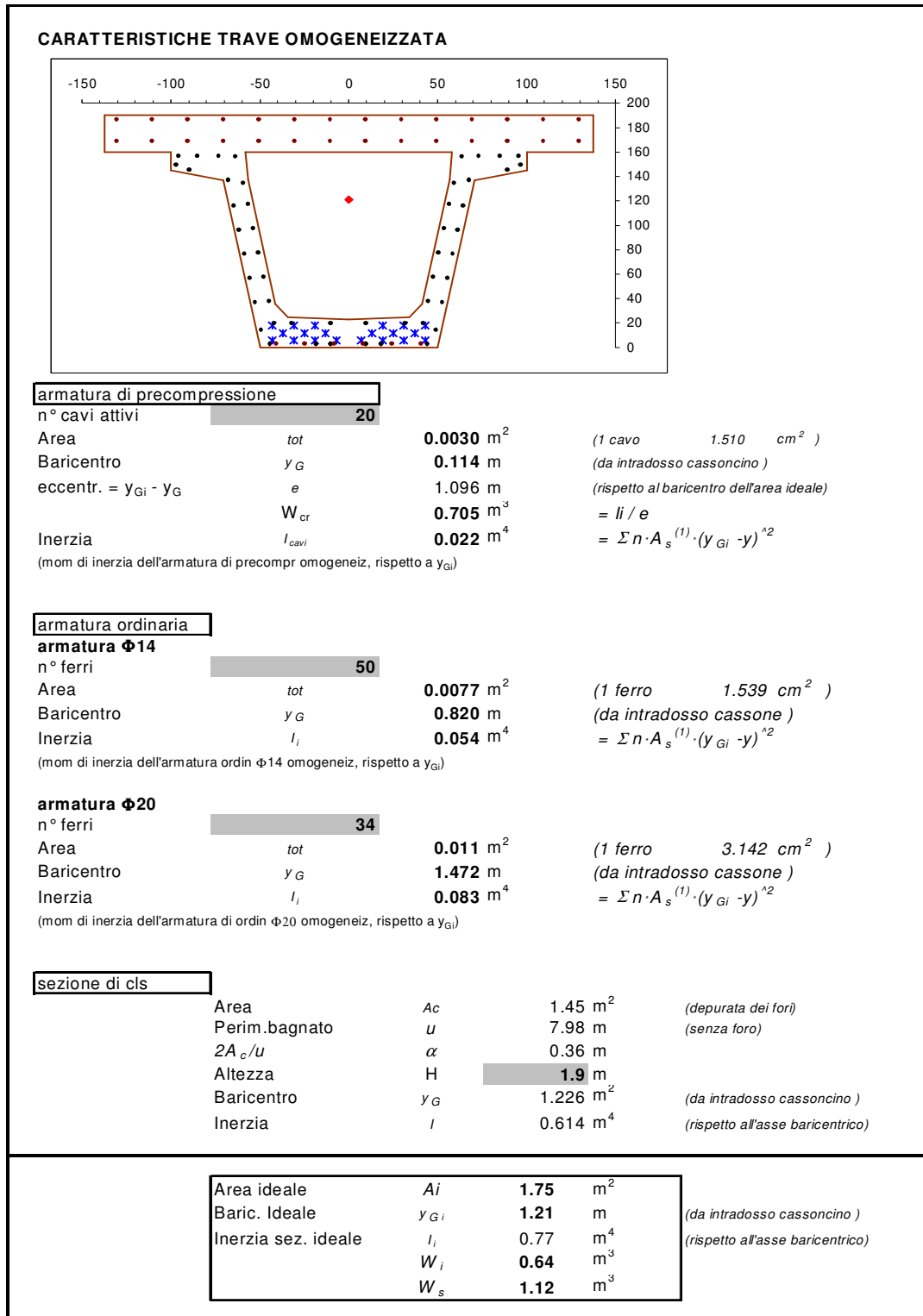
Nelle verifiche che seguiranno sarà considerata la sola sezione E, per le verifiche in mezzzeria agli S.L.U., quindi non verranno di seguito riportate le caratteristiche inerziali elastiche, comunque le sezioni delle due travi si differenziano solamente per i diverso numero dei trefoli di precompressione presenti.



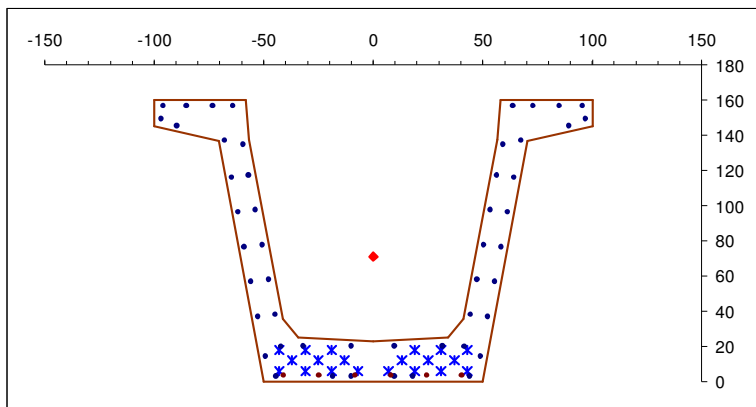
Le caratteristiche meccaniche delle sezioni con soletta, sono valutate (come accade per le travi composte acciaio-clt) omogeneizzando la soletta al modulo elastico della vasca.

5.1 Caratteristiche delle sezioni delle travi da 29.4 m.

5.1.1 Sezione C



CARATTERISTICHE CASSONCINO OMOGENEIZZATO



armatura di precompressione

n° cavi attivi **20**

Area *tot* **0.0030 m²**

(1 ferro 1.510 cm²)

Baricentro *y_G* **0.114 m**

(da intradosso cassoncino)

eccentr. = *y_{Gi2}* - *y_G* *e* **0.596 m**

(rispetto al baricentro dell'area ideale)

W_{cr} **0.488 m³**

= *l_{i2}* / *e*

Inerzia *I_{cavi}* **0.006 m⁴**

= $\sum n \cdot A_s^{(1)} \cdot (y_{Gi} - y)^2$

(mom di inerzia dell'armatura di precomp omogeneiz, rispetto a *y_{Gi}*)

armatura ordinaria

armatura Φ14

n° ferri **50**

Area *tot* **0.0077 m²**

(1 ferro 1.539 cm²)

Baricentro *y_G* **0.820 m**

(da intradosso cassone)

Inerzia *I_i* **0.038 m⁴**

= $\sum n \cdot A_s^{(1)} \cdot (y_{Gi} - y)^2$

(mom di inerzia dell'armatura ordin Φ14 omogeneiz, rispetto a *y_{Gi}*)

armatura Φ20

n° ferri **6**

Area *tot* **0.00188 m²**

(1 ferro 3.142 cm²)

Baricentro *y_G* **0.0340 m**

(da intradosso cassone)

Inerzia *I_i* **0.013 m⁴**

= $\sum n \cdot A_s^{(1)} \cdot (y_{Gi} - y)^2$

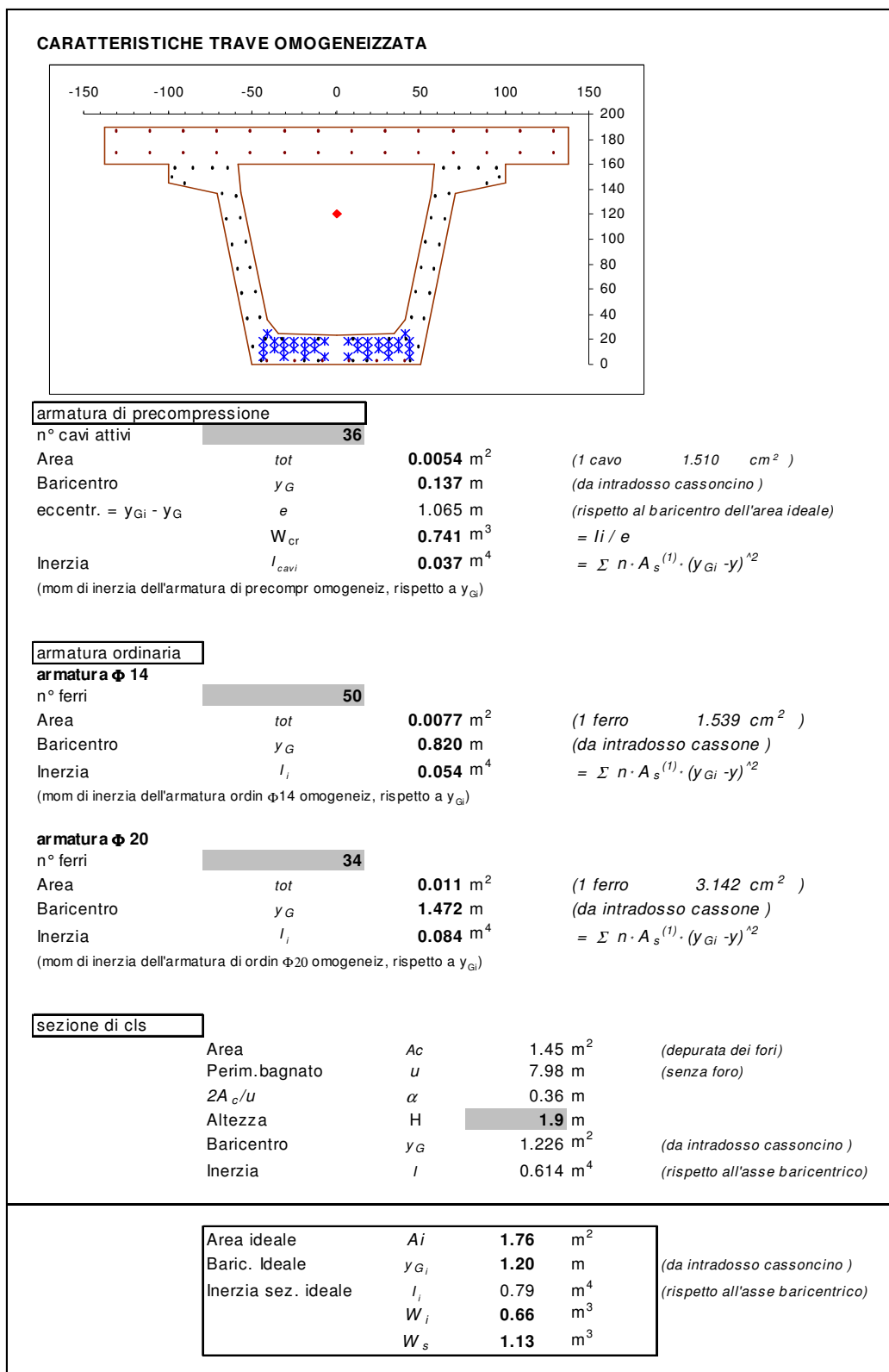
(mom di inerzia dell'armatura di ordin Φ20 omogeneiz, rispetto a *y_{Gi}*)

sezione di cls

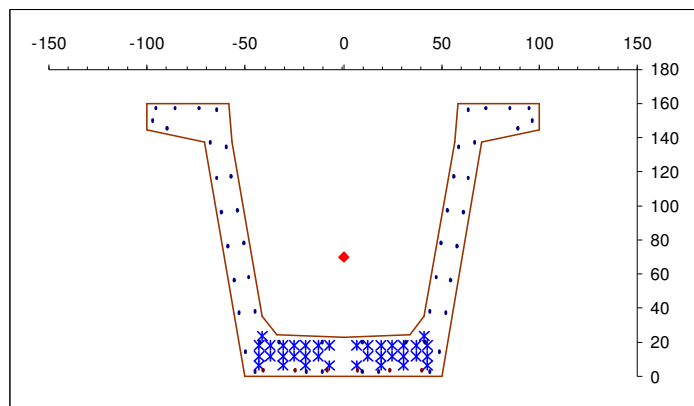
Area	<i>A_c</i>	0.75 m ²	(depurata dei fori)
Perim.bagnato	<i>u</i>	8.97 m	(senza foro)
$2A_c/u$	α	0.17 m	
Altezza	<i>H</i>	1.6 m	
Baricentro	<i>y_G</i>	0.733 m ²	(da intradosso cassoncino)
Inerzia	<i>I</i>	0.233 m ⁴	(rispetto all'asse baricentrico)

Area ideale	<i>A_i</i>	0.91 m²	
Baric. Ideale	<i>y_{Gi2}</i>	0.71 m	(da intradosso cassoncino)
Inerzia sez. ideale	<i>I_{i2}</i>	0.29 m ⁴	(rispetto all'asse baricentrico)
	<i>W_i</i>	0.41 m³	
	<i>W_s</i>	0.33 m³	

5.1.2 Sezione D



CARATTERISTICHE CASSONCINO OMOGENEIZZATO



armatura di precompressione

n° cavi attivi	36		
Area	tot	0.0054 m ²	(1 ferro 1.510 cm ²)
Baricentro	y _G	0.137 m	(da intradosso cassoncino)
eccentr. = y _{G12} - y _G	e	0.565 m	(rispetto al baricentro dell'area ideale)
	W _{cr}	0.522 m ³	= I _{i2} / e
Inerzia	I _{cavi}	0.010 m ⁴	= Σ n · A _s ⁽¹⁾ · (y _{Gi} - y) ²
(mom di inerzia dell'armatura di precompr omogeneiz, rispetto a y _{Gi})			

armatura ordinaria

armatura Φ 14

n° ferri	50		
Area	tot	0.0077 m ²	(1 ferro 1.539 cm ²)
Baricentro	y _G	0.820 m	(da intradosso cassone)
Inerzia	I _i	0.038 m ⁴	= Σ n · A _s ⁽¹⁾ · (y _{Gi} - y) ²
(mom di inerzia dell'armatura ordin Φ14 omogeneiz, rispetto a y _{Gi})			

armatura Φ 20

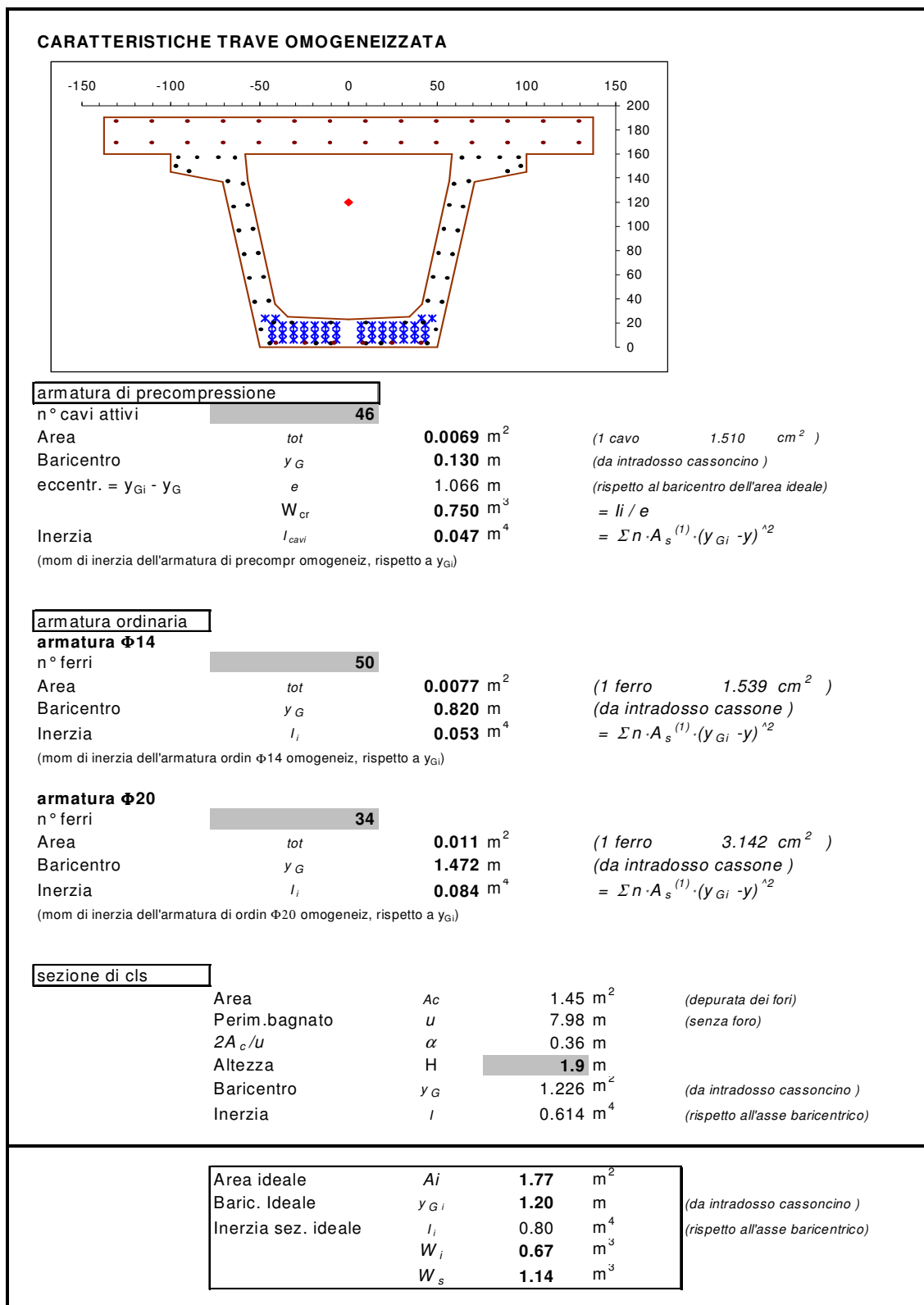
n° ferri	6		
Area	tot	0.00188 m ²	(1 ferro 3.142 cm ²)
Baricentro	y _G	0.0340 m	(da intradosso cassone)
Inerzia	I _i	0.013 m ⁴	= Σ n · A _s ⁽¹⁾ · (y _{Gi} - y) ²
(mom di inerzia dell'armatura di ordin Φ20 omogeneiz, rispetto a y _{Gi})			

sezione di cls

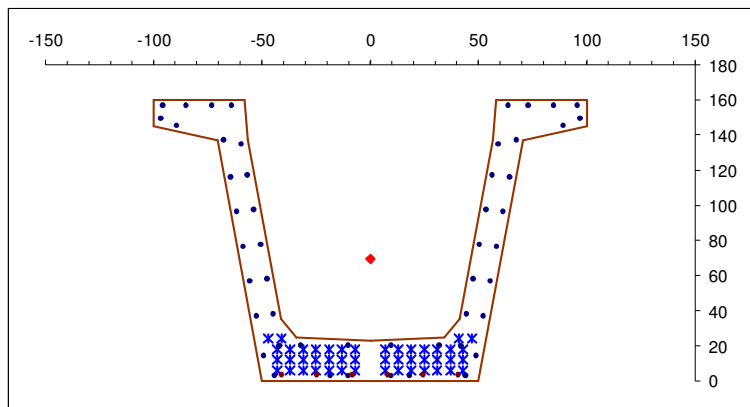
Area	A _c	0.75 m ²	(depurata dei fori)
Perim.bagnato	u	8.97 m	(senza foro)
2A _c /u	α	0.17 m	
Altezza	H	1.6 m	
Baricentro	y _G	0.733 m ²	(da intradosso cassoncino)
Inerzia	I	0.233 m ⁴	(rispetto all'asse baricentrico)

Area ideale	A _i	0.92 m ²	
Baric. Ideale	y _{G12}	0.70 m	(da intradosso cassoncino)
Inerzia sez. ideale	I _{i2}	0.29 m ⁴	(rispetto all'asse baricentrico)
	W _i	0.42 m ³	
	W _s	0.33 m ³	

5.1.3 Sezione E



CARATTERISTICHE CASSONCINO OMOGENEIZZATO



armatura di precompressione

n° cavi attivi **46**

Area	tot	0.0069 m ²	(1 ferro 1.510 cm ²)
Baricentro	y _G	0.130 m	(da intradosso cassoncino)
eccentr. = y _{Gi2} - y _G	e	0.565 m	(rispetto al baricentro dell'area ideale)
	W _{cr}	0.528 m ³	= I _{i2} / e
Inerzia	I _{cavi}	0.013 m ⁴	= Σ n · A _s ⁽¹⁾ · (y _{Gi} - y) ²

(mom di inerzia dell'armatura di precompr omogeneiz, rispetto a y_{Gi})

armatura ordinaria

armatura Φ14

n° ferri **50**

Area	tot	0.0077 m ²	(1 ferro 1.539 cm ²)
Baricentro	y _G	0.820 m	(da intradosso cassone)
Inerzia	I _i	0.039 m ⁴	= Σ n · A _s ⁽¹⁾ · (y _{Gi} - y) ²

(mom di inerzia dell'armatura ordin Φ14 omogeneiz, rispetto a y_{Gi})

armatura Φ20

n° ferri **6**

Area	tot	0.00188 m ²	(1 ferro 3.142 cm ²)
Baricentro	y _G	0.0340 m	(da intradosso cassone)
Inerzia	I _i	0.012 m ⁴	= Σ n · A _s ⁽¹⁾ · (y _{Gi} - y) ²

(mom di inerzia dell'armatura di ordin Φ20 omogeneiz, rispetto a y_{Gi})

sezione di cls

Area	A _c	0.75 m ²	(depurata dei fori)
Perim.bagnato	u	8.97 m	(senza foro)
2A _c /u	α	0.17 m	
Altezza	H	1.6 m	
Baricentro	y _G	0.733 m ²	(da intradosso cassoncino)
Inerzia	I	0.233 m ⁴	(rispetto all'asse baricentrico)

Area ideale	A _i	0.93 m ²	
Baric. Ideale	y _{Gi2}	0.70 m	(da intradosso cassoncino)
Inerzia sez. ideale	I _{i2}	0.30 m ⁴	(rispetto all'asse baricentrico)
	W _i	0.43 m ³	
	W _s	0.33 m ³	

6 Analisi dei carichi

Nel seguito viene svolta per esteso l'analisi dei carichi per l'impalcato da 30 m, mentre per quello da 25 m vengono trattati solamente i punti in cui essa si differenzia dalla precedente trattandoli in parallelo.

6.1 *Pesi propri strutturali (g_1)*

Avendo utilizzato nel seguito una procedura agli elementi finiti (vedere il modello a graticcio piano di travi descritto nel capitolo 13 della presente relazione) per il calcolo delle sollecitazioni, i pesi propri strutturali sono stati valutati automaticamente e tenuti in conto per mezzo di tale procedura.

Per tale scopo è stato sufficiente fornire nei dati di input le corrette dimensioni degli elementi strutturali e le relative densità di peso:

c.a.: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Per quanto riguarda in particolare i trasversi di testata il loro peso è stato assegnato invece come carico distribuito uniforme di 8.37 KN/m, data la differenza tra la lunghezza di questi elementi nel modello ($L^*=2.75\text{m}$) e la lunghezza del tratto deformabile ($L=1.70\text{m}$: assunta da asse ad asse anime di due cassoncini contigui, lungo l'allineamento congiungente i loro baricentri).

Analogamente è stato assegnato un carico di 2.5 KN/m per tener conto dei 30 cm di sbalzo longitudinale della soletta.

Inoltre, siccome il baricentro delle masse del generico cassoncino coincide con l'asse appoggio, non si hanno effetti di eccentricità dovuti ai pesi propri.

6.2 *Sovraccarichi permanenti portati (g_2)*

I carichi permanenti portati sono i pesi propri della pavimentazione, dei marciapiedi, delle velette di finitura, dei sicurvia metallici, come di seguito dettagliato:

Elemento	Peso per unità di misura	Quantità	Peso per unità di lung. longitud. dell'impalcato [kN/m]	Eccentricità (m)*
Pavimentazione	2.5 kN/m ²	2.5 x 10.5 =	26.25	-
Sicurvia metallico	2 kN/m	2 x 2 =	4.00	1.40
Veletta in c.a. + ringhiera	-	2 x 3.25 =	6.5	2.60
Marciapiede in c.a.	25 kN/m ³	2 x 0.4 x 25 =	20	1.90
Tot permanenti correnti			56.75	

*l'eccentricità è valutata rispetto al baricentro del primo cassoncino (ossia quello più esterno)

La pavimentazione è stata assegnata agli elementi che schematizzano i cassoncini, come carichi uniformemente distribuiti da 6.56 KN/m.

Gli altri carichi invece sono stati assegnati ai soli cassoncini esterni, come carichi distribuiti uniformemente di 15.25KN/m ed associati ad un momento torcente distribuito di 30.25 KNm/m dovuto all'eccentricità di questi.

6.3 Osservazioni sui pesi propri ed i permanenti portati dell'impalcato da 25 m.

Essendo gli impalcato in esame delle travi semplicemente poggiate il rapporto tra i loro momenti in mezzzeria per carichi uniformemente distribuiti, come sono sia i pesi propri che i permanenti portati, è pari:

$$r = (l_{25})^2 / (l_{30})^2 = 23.4^2 / 28.4^2 = 0.68$$

Quindi per il peso proprio delle travi per determinare il momento in mezzzeria su quelle da 25 m basta prendere quello di quelle da 30 m e moltiplicarlo per 0.68.

Per il peso proprio della soletta e per i permanenti portati poiché le travi da 25 m sono 3 e non 4 come quelle da 30 m, bisogna prendere il momento di quelle da 30 m e moltiplicarlo per il seguente coefficiente:

$$c = (4 / 3) \times r = 0.91$$

6.4 Incremento dinamico dei carichi mobili (Φ)

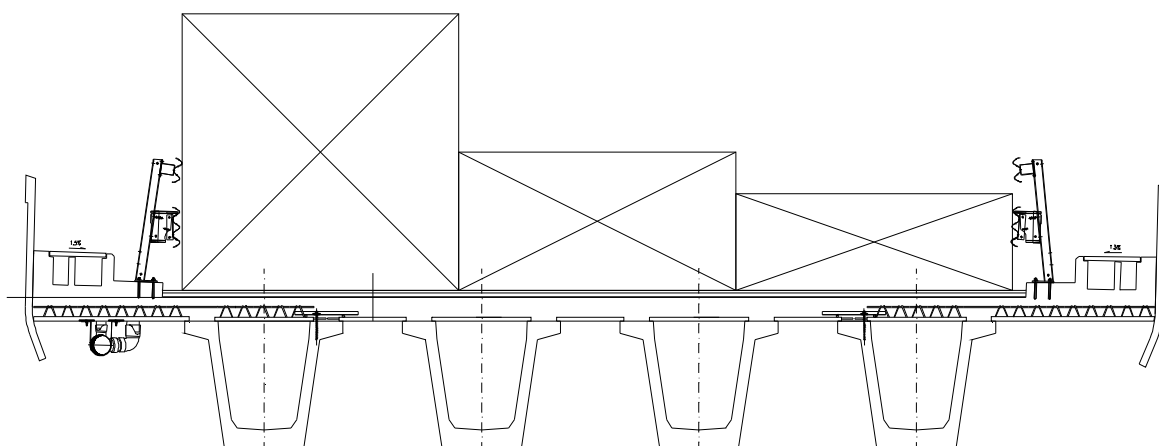
L'entità dei carichi mobili deve essere maggiorata per tener conto degli effetti dinamici; a tale scopo si definiscono per i due tipi di impalcato i seguenti coeff. di incremento dinamico Φ :

$$\Phi_{30} = 1.4 - (L-10)/150 = 1.28 \quad \text{con } L=\text{luce di calcolo} = 28.4\text{m}$$

$$\Phi_{25} = 1.4 - (L-10)/150 = 1.31 \quad \text{con } L=\text{luce di calcolo} = 23.4\text{m}$$

6.5 Carichi mobili + folla ($q_{1,a}$, $q_{1,b}$, $q_{1,e}$)

Sono stati adottati i carichi accidentali come da Regolamento D.M. 4 maggio 1990 per ponti di 1a categoria. Ai fini del calcolo delle reazioni vincolari e verifica degli effetti globali sui vari elementi che compongono l'impalcato, sono state considerate diverse condizioni di carico, prendendo in conto tre stese di carico (ved. La figura seguente) di tipo $q_{1,a} + q_{1,b}$ (con il fattore di 1 per la prima, di 0.5 per la seconda e di 0.35 per la terza, tanto per il carico $q_{1,a}$ che per il $q_{1,b}$) e una o due stese di folla $q_{1,e}$, di caso in caso disposte nelle posizioni più sfavorevoli.



OSSERVAZIONE:

Nella determinazione delle sollecitazioni nei cassoncini dovute ai carichi mobili si procederà attraverso i coeff. di ripartizione r_{ij} delle stese di carico j -esime relativi alle travi i -esime. Questi coefficienti, ottenuti dalle analisi del modello a graticcio per l'impalcato da 30 m e con i coefficienti di Courbon per quello da 25 m (anche sull'impalcato da 30 m sono stati calcolati i coefficienti di Courbon in modo che rapportandoli con quelli del 25 m sia possibile ricavare i valori delle sollecitazioni per le travi di quest'ultimo), dicono come in funzione della presenza dei trasversi e della soletta (la quale agisce trasversalmente come una serie di trasversi accostati, se pur di rigidità limitata), un carico distribuito con una legge qualsiasi su una trave si ripartisca tra le altre travi del graticcio.

Il problema così di analizzare il comportamento di tutto l'impalcato al variare del numero di stese e posizione del carico, può essere semplicemente ridotto allo studio del singolo cassoncino come trave semplicemente appoggiata soggetta alla stesa ' j ' disposta nelle condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la struttura; dalle sollecitazioni così ottenute si può poi risalire a quelle per i diversi cassoncini ' i ' ripartendo le prime secondo i coefficienti r_{ij} .

6.5.1 Determinazione dei coeff. di ripartizione trasversale, campata da 30 m.

Il modello adottato per l'impalcato è un graticcio piano di travi; si tratta di un modello agli elementi finiti studiato per riprodurre in modo adeguato la geometria della struttura, caratterizzando ciascun componente strutturale con l'esatta geometria e con le sue caratteristiche meccaniche e vincolari.

Attraverso questo modello si sono così ricavati i coeff. di ripartizione trasversale r_{ij} dei carichi accidentali (mobili e folla) precedentemente menzionati, dove si è inteso:

coeff. per i **momenti** in campata

$$r_{ij} = \delta_i^j / \sum_i \delta_i^j \quad \text{con } \delta_i^j \text{ abbassamento della trave } i \text{ per effetto della stesa } j$$

coeff.per i tagli agli appoggi

$$r_{ij} = V_i^j / \sum_i V_i^j \quad \text{con } V_i^j \text{ taglio-appoggio della trave } i \text{ per effetto della stesa } j$$

coeff.per le reazioni vincolari

$$r_{ij} = R_i^j / \sum_i R_i^j \quad \text{con } R_i^j \text{ reazione-appoggio della trave } i \text{ per effetto della stesa } j$$

Congiuntamente si riportano gli stessi coeff. ottenuti con in metodo semplificato di *Courbon*, nell'ipotesi di trasversi infinitamente rigidi sotto una qualunque posizione del carico. Nel nostro caso di travi longitudinali a cassoncino tutte eguali tra loro ed egualmente vincolate, si ha :

$$r_{ij} = \frac{1}{n_{travi}} + y_i \cdot \frac{y_p}{\sum_i y_i^2}$$

con

y_i = eccentricità del cassoncino rispetto al baricentro delle rigidezze delle travi

y_p = eccentricità del carico j rispetto al baricentro delle rigidezze delle travi.

Determinazione dei coeff. di ripartizione con il metodo di Courbon

		<table><tr><td>Dati trave n°</td><td>1</td></tr><tr><td>L [m]</td><td>28,4</td></tr><tr><td>J [m⁴]</td><td>0,645</td></tr><tr><td>K_i</td><td>2,82E-05</td></tr><tr><td>K_i*y_i²</td><td>4,79E-04</td></tr><tr><td>K_i*y_i</td><td>0,00E+ 00</td></tr></table>	Dati trave n°	1	L [m]	28,4	J [m ⁴]	0,645	K _i	2,82E-05	K _i *y _i ²	4,79E-04	K _i *y _i	0,00E+ 00	<table><tr><td>2</td></tr><tr><td>28,4</td></tr><tr><td>0,645</td></tr><tr><td>2,82E-05</td></tr><tr><td>5,32E-05</td></tr><tr><td>7,7E-05</td></tr></table>	2	28,4	0,645	2,82E-05	5,32E-05	7,7E-05	<table><tr><td>3</td></tr><tr><td>28,4</td></tr><tr><td>0,645</td></tr><tr><td>2,82E-05</td></tr><tr><td>5,32E-05</td></tr><tr><td>1,5E-04</td></tr></table>	3	28,4	0,645	2,82E-05	5,32E-05	1,5E-04	<table><tr><td>4</td></tr><tr><td>28,4</td></tr><tr><td>0,645</td></tr><tr><td>2,82E-05</td></tr><tr><td>4,79E-04</td></tr><tr><td>2,3E-04</td></tr></table>	4	28,4	0,645	2,82E-05	4,79E-04	2,3E-04
Dati trave n°	1																																		
L [m]	28,4																																		
J [m ⁴]	0,645																																		
K _i	2,82E-05																																		
K _i *y _i ²	4,79E-04																																		
K _i *y _i	0,00E+ 00																																		
2																																			
28,4																																			
0,645																																			
2,82E-05																																			
5,32E-05																																			
7,7E-05																																			
3																																			
28,4																																			
0,645																																			
2,82E-05																																			
5,32E-05																																			
1,5E-04																																			
4																																			
28,4																																			
0,645																																			
2,82E-05																																			
4,79E-04																																			
2,3E-04																																			
Ski	1,13E-04																																		
SK _i *y _i ²	1,06E-03																																		
SK _i *y _i	4,65E-04																																		

Determinazione dei coeff. di ripartizione con il graticcio

-- coeff.di ripartizione per le REAZIONI

		r1	r2	r3	r4
folia sin.		1,341	-0,152	0,118	-0,307
I stesa		0,713	0,217	0,202	-0,131
II stesa		0,139	0,361	0,361	0,139
III stesa		-0,131	0,217	0,217	0,713
coeff.di ripartizione totale		0,736	0,467	0,458	0,188

-- coeff.di ripartizione per i MOMENTI

		r1	r2	r3	r4
folia sin.		0,453	0,295	0,173	0,079
I stesa		0,358	0,284	0,211	0,147
II stesa		0,243	0,257	0,257	0,243
III stesa		0,147	0,211	0,284	0,358
coeff.di ripartizione totale		0,531	0,487	0,439	0,394

-- coeff.di ripartizione per i TAGLI

		r1	r2	r3	r4
folia sin.		0,608	0,208	0,145	0,040
I stesa		0,433	0,274	0,188	0,106
II stesa		0,210	0,290	0,290	0,210
III stesa		0,106	0,188	0,274	0,433
coeff.di ripartizione totale		0,575	0,484	0,428	0,362

6.5.2 Determinazione dei coeff. di ripartizione trasversale, campata da 25 m.

Determinazione dei coeff. di ripartizione con il metodo di Courbon

		<table><tr><th>Dati trave n°</th><th>1</th></tr><tr><td>L [m]</td><td>23,4</td></tr><tr><td>J [m⁴]</td><td>0,645</td></tr><tr><td>K_i</td><td>5,03E-05</td></tr><tr><td>K_i*y_i²</td><td>8,05E-04</td></tr><tr><td>K_i*y_t</td><td>0,00E+ 00</td></tr></table>	Dati trave n°	1	L [m]	23,4	J [m ⁴]	0,645	K _i	5,03E-05	K _i *y _i ²	8,05E-04	K _i *y _t	0,00E+ 00	<table><tr><th>2</th></tr><tr><td>23,4</td></tr><tr><td>0,645</td></tr><tr><td>5,03E-05</td></tr><tr><td>0,00E+ 00</td></tr><tr><td>2,0E-04</td></tr></table>	2	23,4	0,645	5,03E-05	0,00E+ 00	2,0E-04	<table><tr><th>3</th></tr><tr><td>23,4</td></tr><tr><td>0,645</td></tr><tr><td>5,03E-05</td></tr><tr><td>8,05E-04</td></tr><tr><td>4,0E-04</td></tr></table>	3	23,4	0,645	5,03E-05	8,05E-04	4,0E-04
Dati trave n°	1																											
L [m]	23,4																											
J [m ⁴]	0,645																											
K _i	5,03E-05																											
K _i *y _i ²	8,05E-04																											
K _i *y _t	0,00E+ 00																											
2																												
23,4																												
0,645																												
5,03E-05																												
0,00E+ 00																												
2,0E-04																												
3																												
23,4																												
0,645																												
5,03E-05																												
8,05E-04																												
4,0E-04																												
Ski	1,51E-04																											
SK _i *y _i ²	1,61E-03																											
SK _i *y _t	6,04E-04																											

Inter. travi [m]	4
n° travi	3
y _m [m]	4,000
y _g [m]	4,000
Sy _i ²	32,00
e	0,00

coordinata dell'asse
impalcato

yt [m]	0
y _i [m]	4,000
y _i ² [m]	16,00

eccentricità del
baricentro delle rigidezze
rispetto all'asse
impalcato

yp [m]	6,455
I stesa	3,50
II stesa	0,00
III stesa	-3,50
coeff.di ripartizione totale	0,901

r1
1,140
0,771
0,333
-0,104
0,901

r2
0,333
0,333
0,333
0,333
0,617

r3
-0,474
-0,104
0,333
0,771
0,332

Per quanto riguarda i carichi mobili (veicoli) il momento massimo in mezzeria di una trave di bordo (è quella più sollecitata) può essere determinato partendo da quello della corrispondente dell'impalcato da 30 m, tenendo in conto il differente valore del coefficiente di amplificazione dinamica (1.31 contro 1.28), il valore del rapporto delle luci al quadrato per scalare i momenti (0.68 come calcolato in precedenza) e il coefficiente di ripartizione di Courbon che considerando la condizione in cui sono presenti tutte e tre le stese di carico fornisce 0.9 per l'impalcato da 25 m e 0.71 per il 30 m; pertanto si ha:

$$M_{25} = M_{30} \times (1.31 / 1.28) \times 0.68 \times (0.9 / 0.71) = 0.88 \times M_{30}$$

Per quanto riguarda l'effetto della folla vale sempre il rapporto 0.68 come in precedenza ma i coefficienti di ripartizione sono rispettivamente 0.66 per l'impalcato da 25 m e 0.50 per quello da 30 m (entrambi secondo Courbon), quindi si ha:

$$M_{25} = M_{30} \times 0.68 \times (0.66 / 0.50) = 0.9 \times M_{30}$$

6.6 Azioni termiche uniformi e differenziali (ϵ_3)

A livello globale la termica agisce solo in termini di spostamenti essendo la struttura isostatica. Per la determinazione così degli spostamenti longitudinali dei vincoli e per il dimensionamento dei giunti, si assume un $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ uniforme; per la determinazione invece degli spostamenti trasversali dei vincoli corrispondenti alle travi di bordo (essendo quelli delle travi centrali, fissi) si assume un $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ uniforme in senso trasversale.

A livello di verifiche locali si considera: una variazione termica lineare di $\pm 10^\circ\text{C}$ tra l'interno e l'esterno dei cassoni, nonché un gradiente termico di 5°C tra soletta e cassone.

6.7 Azione longitudinale di frenamento (q_3)

Quest'azione viene tenuta in conto solo per il dimensionamento degli apparecchi di appoggio fissi, essendo le sollecitazioni indotte nell'impalcato trascurabili. Poiché per calcolare i valori delle azioni è necessario sapere il numero delle campate solidarizzate longitudinalmente si rimanda per tale calcolo alle relazioni delle sottostrutture.

6.8 Azione longitudinale di attrito (q_7)

Quest'azione viene tenuta in conto solo per il dimensionamento degli apparecchi di appoggio fissi; si tratta quindi di un attrito differenziale valutato considerando un coeff. di attrito del 5% per le campate precedenti l'allineamento fisso e del 2.5% per le campate successive, quando esistono. L'attrito degli appoggi mobili viene invece considerato per l'analisi delle pile. Anche in questo caso si rimanda alle relazioni delle sottostrutture essendo il valore legato al numero di campate solidarizzate longitudinalmente.

6.9 Azione del vento (q_5)

L'azione del vento è stata considerata pari ad una pressione di 2.5 KN/m^2 sulle strutture e sul carico stradale.

Altezza trave = 1,99 [m]

Altezza sagoma = 3,00 [m]

Da cui $H_t = [(3+1.99)*2.5]*30 = 374 \text{ KN}$ per l'impalcato da 30 m e $H_t = 312 \text{ KN}$ per quello da 25 m, applicate con un' eccentricità di circa 2.495m rispetto all'intradosso del cassoncino, comportando sull'intero

impalcato un: $M_t = 374 * 2.495 = 933 \text{ KNm}$ nel primo caso e un $M_t = 778 \text{ KNm}$ nel secondo, quindi un tira e spingi sugli apparecchi di appoggio valutato nell'ipotesi di trasversi infinitamente rigidi secondo l'espressione:

$$N_i = 0.5 M_t \cdot \frac{y_i}{\sum y_i^2}$$

6.10 Varo del cassone (q_9)

Deve essere fatta una verifica durante il trasporto delle travi considerando $\pm 15\%$ del peso proprio, come da normativa italiana sugli elementi prefabbricati.

6.11 Urto di veicolo in svio (q_8)

Valido solo a livello di verifiche locali della soletta cui è collegato il sicurvia.

6.12 Azione sismica (q_6)

Le azioni sismiche non hanno effetto su tali impalcati, in quanto sono sempre molto inferiori a quelle dovute agli accidentali (come dichiarato anche sulla nuova normativa sismica, dove si parla di impalcati con luci inferiori ai 60 m), mentre rivestono un ruolo fondamentale per gli apparecchi d'appoggio e per le sottostrutture; però essendo la risposta del viadotto legata proprio alle caratteristiche delle sottostrutture si rimanda alle relazioni di queste per lo studio degli effetti provocati anche sugli appoggi.

7 Caratteristiche di precompressione.

7.1 Disposizione delle armature di precompressione.

L'armatura di precompressione longitudinale nei cassoncini è stata posizionata su 4 strati distanti dall'intradosso cassone rispettivamente 0.06 m, 0.12 m, 0.18 m e 0.24 m.

I trefoli di precompressione (in totale 46 trefoli 0.6" super rettilinei per le travi dell'impalcato da 30 m e 38 per quelle dell'impalcato da 25 m) non sono attivi tutti a partire dalla testata della trave, ma sono stati suddivisi in tre categorie (v. disegni riportati all'inizio del capitolo 5):

TIPO A: attivi lungo tutta la trave

TIPO B: attivi solo entro le sezioni D

TIPO C: attivi solo entro le sezioni E

attivati in numero come da prospetto seguente:

- Travi dell'impalcato da 30 m:

posiz.	TIPO A	TIPO B	TIPO C	n° cavi del 4° strato attivati dalla sezione E
0,24	-	2	2	
0,18	6	8	-	
0,12	6	6	2	
0,06	8	-	6	

- Travi dell'impalcato da 25 m:

posiz	TIPO A	TIPO B	TIPO C
0,18	6	2	4
0,12	6	8	-
0,06	6	-	6

Per quanto riguarda la precompressione trasversale, essa è garantita in ogni caso da due cavi formati da 7 trefoli 0.6" super rettilinei per ogni trasverso.

7.2 *Cadute di tensione*

7.2.1 IL CALCESTRUZZO:

Il comportamento del calcestruzzo oltre a dipendere dal tempo, è anche influenzato dalle proprietà chimiche degli elementi di cui è composto e dalle condizioni ambientali in cui avviene la maturazione.

Di seguito vengono illustrate alcune formule riguardanti le proprietà del calcestruzzo che verranno utilizzate nel lavoro:

Resistenza a compressione $f_{cm}(t)$:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm} \quad [N/mm^2]$$

dove :

$$\beta_{cc}(t) = \exp[s * (1 - 5,3 / t^{0,5})]$$

$$f_{cm} = f_{cm}(28gg) = f_{ck} + 8 \quad [N/mm^2]$$

con:

t = età del cls espressa in giorni

s = coefficiente dipendente dal tipo di cemento

f_{ck} = resistenza caratteristica a compressione espressa in $[N/mm^2]$

Modulo di elasticità $E_c(t)$:

$$E_c(t) = \beta_e(t) * E_c \quad [N/mm^2]$$

dove :

$$\beta_e(t) = [\beta_{cc}(t)]^{0,5} \quad \text{con } \beta_{cc}(t) \text{ come sopra}$$

$$E_c = E_c(28gg) = 10^4 * [f_{cm}(28)]^{(1/3)} \quad [N/mm^2]$$

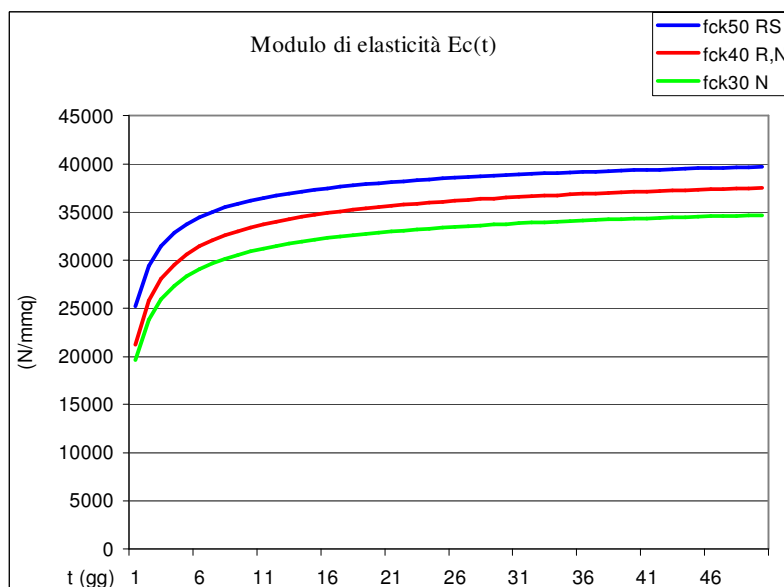
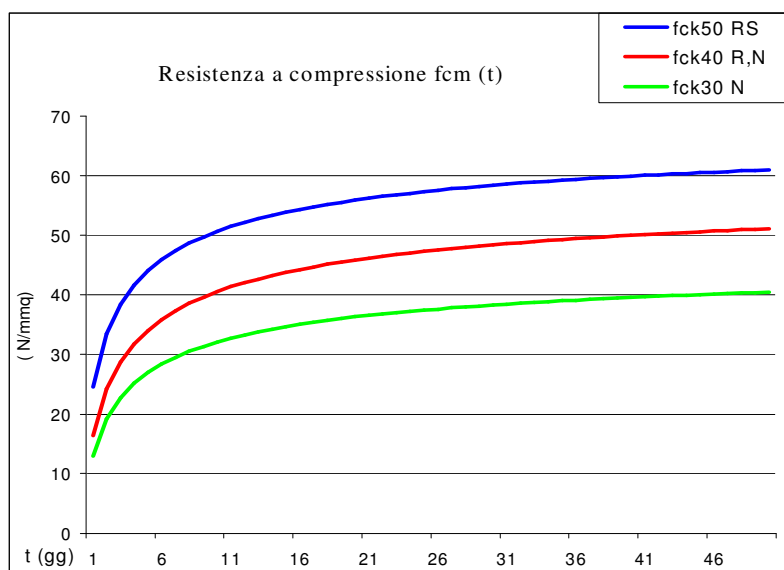
t = in giorni

Classificazione cls :

TIPO	f_{ck} (N/mm ²)	s	B_{sc}	DEFINIZIONE
RS	50	0,20	8	Alta resistenza e indurimento rapido
R	40	0,25	5	Indurimento rapido
N	30 - 40	0,25	5	Indurimento normale

Il significato di β_{sc} verrà illustrato nel seguito.

Nei due diagrammi seguenti si mostrano gli andamenti di $f_{cm}(t)$ e $E_c(t)$ per i tipi di cls descritti.



Deformazione dovuta al ritiro $\epsilon_{cs}(t, t_s)$:

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_{cs0} * \beta_s(t - t_s)$$

dove:

ϵ_{cs0} = coefficiente di base o valore finale del ritiro

$$\epsilon_{cs0} = \epsilon_s(f_{cm}) * \beta_{RH}$$

$$\epsilon_s(f_{cm}) = [160 + \beta_{sc} * (90 - f_{cm})] * 10^{-6}$$

con:

$$f_{cm} = f_{cm}(28gg)$$

β_{sc} = coefficiente che dipende dal tipo di cemento

$$\beta_{RH} = -1,55 * \beta_{sRH} \quad \text{per } 40\% \leq RH < 99\%$$

+ 0,25 per $RH \geq 99\%$ (rigonfiamento in acqua)

con:

$$\beta_{sRH} = 1 - (RH / 100)^3$$

RH in %

$\beta_s(t, t_s)$ = coefficiente che descrive lo sviluppo nel tempo del ritiro

$$\beta_s(t, t_s) = [(t - t_s) / (0,035h_0^2 + t - t_s)]^{0,5}$$

con:

$h_0 = 2 \cdot A_c / u$ spessore fittizio

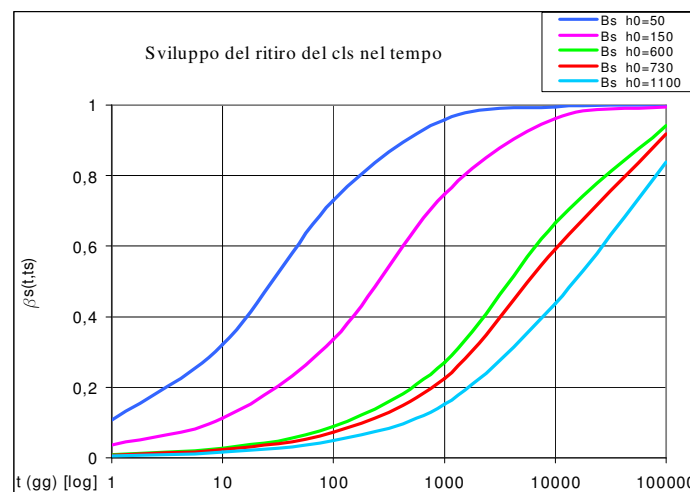
A_c = area della sezione

u = perimetro della sezione esposto all'atmosfera

t = età del cls in giorni

t_s = età del cls in giorni all'istante da cui si inizia a calcolare il ritiro

Qui di seguito è riportato un grafico di $\beta_s(t, t_s)$ che descrive lo sviluppo nel tempo del ritiro.



Deformazione dovuta allo scorrimento viscoso $\epsilon_{cc}(t, t_0)$:

$$\epsilon_{cc}(t, t_0) = [\sigma_c(t_0) / E_c] \cdot \Phi(t, t_0)$$

dove :

$\sigma_c(t_0)$ = tensione applicata al tempo t_0

$E_c = E_c(28gg)$ = modulo elastico a 28gg

t_0 = età del cls al momento in cui è stato caricato in gg

$\Phi(t, t_0)$ = coefficiente di scorrimento viscoso

$$\Phi(t, t_0) = \phi_0 \cdot \beta_c(t, t_0)$$

$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$ coefficiente nominale di scorrimento viscoso

con:

$$\phi RH = 1 + (1 - RH / 100) / [0,1 * (h_0)^{1/3}]$$

$$\beta(f_{cm}) = 16,8 / (f_{cm})^{0,5} \quad \beta(t_0) = 1 / [0,1 + (t_0)^{0,2}]$$

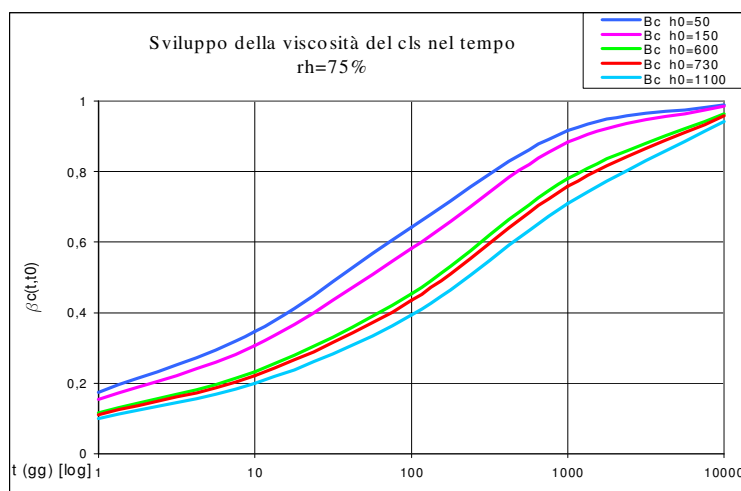
$$\beta_c(t, t_0) = [(t - t_0) / (\beta H + (t - t_0))]^{0,3} \text{ coefficiente che descrive lo sviluppo della viscosità dopo il caricamento a } t_0$$

con:

t = età del cls al momento considerato, in giorni

$$\beta H = 1,5 * [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 \leq 1500 \text{ mm}$$

Qui di seguito è riportato il grafico di $\beta_c(t, t_0)$ che descrive lo sviluppo nel tempo della viscosità.



7.2.2 L'ACCIAIO ARMONICO :

Il rilassamento degli acciai da precompressione:

Classi di rilassamento:

CLASSE	TIPO	K
1	Trefoli in acciaio normale	0,12
2	Trefoli in acciaio migliorato	0,19
3	Barre di precompressione	0,12

Poiché nella realtà nei cavi esiste una deformazione causata dalla viscosità e dal ritiro del calcestruzzo che li circonda, le perdite per rilassamento sono minori di quelle teoriche, questo fatto viene tenuto in conto dai vari regolamenti attraverso l'introduzione di un coefficiente $C = 0,75$.

La perdita di tensione $\Delta\sigma_r(t)$ dovuta al rilassamento viene schematizzata tramite la seguente relazione:

$$\Delta\sigma_r(t) = \sigma_{sp0} * \rho(t) * C$$

dove :

σ_{sp0} = tensione di tesatura

$\rho(t) = \rho_{1000}(t \text{ [ore]} / 1000)^k$ rilassamento dopo t ore

con:

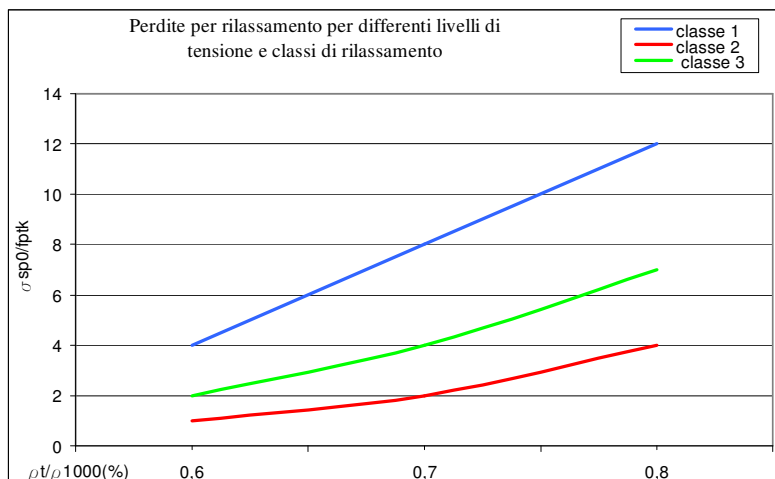
$K = \log(\rho_{1000} / \rho_{100})$ e riportato nella tabella precedente

ρ_{1000} = rilassamento a 1000 ore

ρ_{100} = rilassamento a 100 ore

t = tempo dalla tesatura in ore

I valori di ρ_{1000} si possono ricavare per interpolazione dal diagramma seguente per le tre diverse classi; con f_{ptk} si è indicata la tensione caratteristica di rottura dell'acciaio.



In base a quanto esposto nel presente paragrafo, nel seguito verranno assunti i seguenti valori per il calcolo delle perdite:

Grandezze valutate sulla sez. corrente ($h_0 = 247,43\text{mm}$)			
	$\epsilon_{rit,\infty}(7 - \infty)$	-4,04E-04	(umidità relativa del 75%)
x p.p + precompr	$\Phi^I_{vis,\infty}(7 - \infty)$	-1,97	(umidità relativa del 75%)
x getto soletta	$\Phi^{II}_{vis,\infty}(40 - \infty)$	-1,41	
x p.portati	$\Phi^{III}_{vis,\infty}(68 - \infty)$	-1,28	
	$\Delta\sigma_{ril,\infty}$	-21,26 Mpa	
grandezza valutata sulla sez. della soletta ($h_0 = 229,17\text{mm}$)			
	$\epsilon_{rit,\infty}(7 - \infty)$	-3,62E-04	(umidità relativa del 75%)

distribuiti nel tempo secondo le percentuali seguenti:

- % perdite di prima fase (7gg --->40gg)				
tempo	7gg --->40gg	40gg --->68gg	68gg ---> ∞ gg	
viscosità	40	10	50	%
ritiro	20	10	70	%
rilassamento	100			%
- % perdite per ritiro differ (43gg --->68gg)				
perdite	-	15	85	%
- % perdite di seconda fase (40gg --->68gg)				
viscosità	-	40	60	%
- % perdite di seconda fase (68gg ---> ∞ gg)				
viscosità	-	-	100	%

8 Combinazioni di carico e caratteristiche globali di sollecitazione.

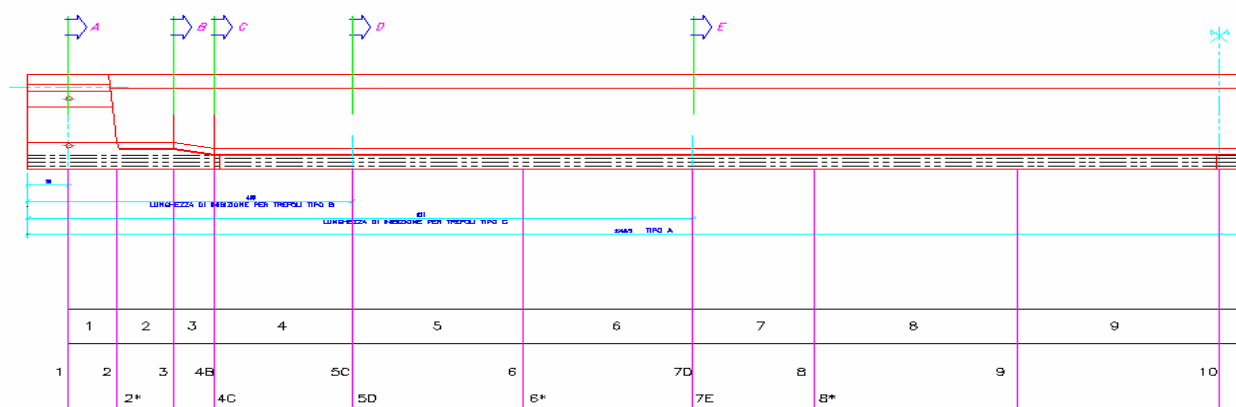
Le combinazioni di carico da considerare devono essere stabilite in modo tale da garantire la sicurezza secondo quanto prescritto dalle "Norme sulla sicurezza e sui carichi". A tale scopo si riportano di seguito le tabelle dei coeff. di combinazione adottati per le verifiche allo Stato Limite: Esercizio e Ultimo.

	Azione gruppo	peso proprio	perm. portati	precompr.di progetto	ritiro e viscosità	variaz. termiche	carichi mobili	frenamento	vento	urto veicoli
S.L.E.	A I	1	1	1	1	1	0	0	1	0
	A II	1	1	1	1	1	1	0	0,6	1
	A III	1	1	1	1	1	1	1	0,2	1
	A IV	1	1	1	1	1	1	0	0,2	1
	A V	1	1	1	1	1	0	0	0	0
S.L.U.	U I	1,5 (1,0)	1,5 (1,0)	1,2 (0,85)	1,2 (0)	1,2 (0)	0	0	1,5	1,5
	U II	1,5 (1,0)	1,5 (1,0)	1,2 (0,85)	1,2 (0)	1,2 (0)	1,5	0	0,9	1,5
	U III	1,5 (1,0)	1,5 (1,0)	1,2 (0,85)	1,2 (0)	1,2 (0)	1,5	1,5	0,3	1,5
	U IV	1,5 (1,0)	1,5 (1,0)	1,2 (0,85)	1,2 (0)	1,2 (0)	1,5	0	0,3	1,5

8.1 Caratteristiche globali di sollecitazione.

Da quanto esposto in precedenza si è concluso che l'analisi dell'impalcato in c.a.p. può essere semplicemente ridotta allo studio di una trave semplicemente appoggiata soggetta alla stesa 'j' disposta nelle condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la struttura; dalle sollecitazioni così ottenute si può poi risalire alle sollecitazioni per i diversi cassoncini 'i' ripartendo le prime secondo i coefficienti r_{ij} . In particolare lo studio che segue è realizzato sulla trave di bordo che si è dimostrata essere la più caricata.

Si riportano di seguito quindi le caratteristiche di sollecitazione lungo la trave generica (nelle sezioni sotto riportate), ottenute dal modello a trave semplicemente appoggiata; nonché, attraverso i coeff.di combinazione ed i coeff.di ripartizione, le caratteristiche di sollecitazione relative alla trave di bordo secondo i diversi S.L..



S.L.E. (AIII)												
coeff.moltipl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
coeff.ripart								-0.530	-0.532			

Caratteristiche di sollecitazione allo S.L.E. (AIII) lungo la trave di bordo																			
		X (m)	tipo	precompressione		p.p.		getto		portati		mobili		folla		ritiro differenziale		DT	
elem	sez			N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M
1	1	0	B	2039	1263	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77				
1	2	0.6	B	2039	1263	-162.43	-266.88	-141.78	-305.91	-17.74	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
2	2*	0.6	B	4077	2526	-162.43	-266.88	-141.78	-305.91	-17.74	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
2	3	1.3	B	4077	2526	-339.55	-563.68	-299.46	-646.36	-37.47	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
3	4B	1.8	B	4077	2526	-458.44	-766.08	-406.98	-878.70	-50.93	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
4	4C	1.8	C	4077	2429	-458.44	-766.08	-406.98	-878.70	-50.93	1836.33	-990.97	-1268.18	684.37					
4	5C	3.5	C	4077	2429	-805.74	-1394.40	-740.78	-1601.07	-92.70	1836.33	-990.97	-1268.18	684.37					
5	5D	3.5	D	5708	3223	-805.74	-1394.40	-740.78	-1601.07	-92.70	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
5	6	5.6	D	5708	3223	-1105.14	-2042.88	-1085.28	-2349.22	-135.81	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
6	6*	5.6	D	7339	4144	-1105.14	-2042.88	-1085.28	-2349.22	-135.81	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
6	7D	7.7	D	7339	4144	-1425.41	-2550.24	-1354.82	-2916.55	-169.54	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
7	7E	7.7	E	8358	4723	-1425.41	-2550.24	-1354.82	-2916.55	-169.54	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
7	8	9.2	E	8358	4723	-1663.15	-2826.24	-1501.44	-3190.49	-187.88	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
8	8*	9.2	E	9377	5299	-1663.15	-2826.24	-1501.44	-3190.49	-187.88	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
8	9	11.7	E	9377	5299	-1838.58	-3126.24	-1660.82	-3470.68	-207.83	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
9-10	10	14.2	E	9377	5299	-1897.06	-3226.24	-1713.94	-3509.09	-214.48	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
11	9	16.7	E	9377	5299	-1838.58	-3126.24	-1660.82	-3470.68	-207.83	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
11	8*	19.2	E	9377	5299	-1663.15	-2826.24	-1501.44	-3190.49	-187.88	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
12	8	19.2	E	8358	4723	-1663.15	-2826.24	-1501.44	-3190.49	-187.88	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
12	7E	20.7	E	8358	4723	-1425.41	-2550.24	-1354.82	-2916.55	-169.54	1836.33	-1017.04	-1268.18	702.38					
13	7D	20.7	D	7339	4144	-1425.41	-2550.24	-1354.82	-2916.55	-169.54	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
13	6*	22.8	D	7339	4144	-1105.14	-2042.88	-1085.28	-2349.22	-135.81	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
14	6	22.8	D	5708	3223	-1105.14	-2042.88	-1085.28	-2349.22	-135.81	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
14	5D	24.9	D	5708	3223	-805.74	-1394.40	-740.78	-1601.07	-92.70	1836.33	-1006.77	-1268.18	695.28					
15	5C	24.9	C	4077	2429	-805.74	-1394.40	-740.78	-1601.07	-92.70	1836.33	-990.97	-1268.18	684.37					
15	4C	26.6	C	4077	2429	-458.44	-766.08	-406.98	-878.70	-50.93	1836.33	-990.97	-1268.18	684.37					
16	4B	26.6	B	4077	2526	-458.44	-766.08	-406.98	-878.70	-50.93	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
17	3	27.1	B	4077	2526	-339.55	-563.68	-299.46	-646.36	-37.47	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
17	2*	27.8	B	4077	2526	-162.43	-266.88	-141.78	-305.91	-17.74	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
18	2	27.8	B	2039	1263	-162.43	-266.88	-141.78	-305.91	-17.74	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					
18	1	28.4	B	2039	1263	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1836.33	-1127.66	-1268.18	778.77					

N.B.: Nel calcolo delle forze di precompressione (N,M) si assume una tensione di tesatura al taglio dei trefoli di 1350Mpa. Tale tensione si considera però sviluppata in una lunghezza di traferimento di circa 1.m , ipotizzando nella sezione di attivazione dei trefoli una tensione effettiva di 675Mpa.

S.L.U. (UIII)															
coeff.moltipl.		1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
coeff.ripart								-0.530	-0.532						
Caratteristiche di sollecitazione allo S.L.U. (UIII) lungo la trave di bordo															
elem	sez	X (m)	tipo	precompressione		p.p.		getto	portati	mobili	folla	ritiro differenziale		DT	
				N	M	M	M					M	M	N	M
1	1	0	B	2446	1515	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
1	2	0.6	B	2446	1515	-243.64	-400.32	-205.01	-458.86	-26.61	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
2	2*	0.6	B	4892	3031	-243.64	-400.32	-205.01	-458.86	-26.61	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
2	3	1.3	B	4892	3031	-509.33	-845.52	-433.00	-969.54	-56.21	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
3	4B	1.8	B	4892	3031	-687.66	-1149.12	-588.48	-1318.05	-76.39	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
4	4C	1.8	C	4892	2915	-687.66	-1149.12	-588.48	-1318.05	-76.39	2203.59	-1189.17	-1521.82	821.25	
4	5C	3.5	C	4892	2915	-1208.61	-2091.60	-1071.13	-2401.60	-139.05	2203.59	-1189.17	-1521.82	821.25	
5	5D	3.5	D	6849	3867	-1208.61	-2091.60	-1071.13	-2401.60	-139.05	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
5	6	5.6	D	6849	3867	-1657.71	-3064.32	-1569.27	-3523.82	-203.71	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
6	6*	5.6	D	8806	4972	-1657.71	-3064.32	-1569.27	-3523.82	-203.71	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
6	7D	7.7	D	8806	4972	-2138.11	-3825.36	-1959.01	-4374.82	-254.30	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
7	7E	7.7	E	10029	5668	-2138.11	-3825.36	-1959.01	-4374.82	-254.30	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
7	8	9.2	E	10029	5668	-2494.73	-4239.36	-2171.03	-4785.74	-281.83	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
8	8*	9.2	E	11253	6359	-2494.73	-4239.36	-2171.03	-4785.74	-281.83	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
8	9	11.7	E	11253	6359	-2757.87	-4689.36	-2401.48	-5206.02	-311.74	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
9-10	10	14.2	E	11253	6359	-2845.58	-4839.36	-2478.29	-5263.64	-321.71	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
11	9	16.7	E	11253	6359	-2757.87	-4689.36	-2401.48	-5206.02	-311.74	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
11	8*	19.2	E	11253	6359	-2494.73	-4239.36	-2171.03	-4785.74	-281.83	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
12	8	19.2	E	10029	5668	-2494.73	-4239.36	-2171.03	-4785.74	-281.83	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
12	7E	20.7	E	10029	5668	-2138.11	-3825.36	-1959.01	-4374.82	-254.30	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85	
13	7D	20.7	D	8806	4972	-2138.11	-3825.36	-1959.01	-4374.82	-254.30	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
13	6*	22.8	D	8806	4972	-1657.71	-3064.32	-1569.27	-3523.82	-203.71	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
14	6	22.8	D	6849	3867	-1657.71	-3064.32	-1569.27	-3523.82	-203.71	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
14	5D	24.9	D	6849	3867	-1208.61	-2091.60	-1071.13	-2401.60	-139.05	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34	
15	5C	24.9	C	4892	2915	-1208.61	-2091.60	-1071.13	-2401.60	-139.05	2203.59	-1189.17	-1521.82	821.25	
15	4C	26.6	C	4892	2915	-687.66	-1149.12	-588.48	-1318.05	-76.39	2203.59	-1189.17	-1521.82	821.25	
16	4B	26.6	B	4892	3031	-687.66	-1149.12	-588.48	-1318.05	-76.39	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
17	3	27.1	B	4892	3031	-509.33	-845.52	-433.00	-969.54	-56.21	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
17	2*	27.8	B	4892	3031	-243.64	-400.32	-205.01	-458.86	-26.61	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
18	2	27.8	B	2446	1515	-243.64	-400.32	-205.01	-458.86	-26.61	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	
18	1	28.4	B	2446	1515	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2203.59	-1353.19	-1521.82	934.53	

9 Verifiche statiche delle travi.

Per la determinazione delle tensioni lungo la trave di bordo, per le diverse fasi costruttive e di carico previste, si procede secondo lo specchietto seguente:

FASI DI CALCOLO DELLE TENSIONI					
$\sigma_{spo} =$	1350 Mpa				
FASE 1 - Precompressione iniziale (7gg) - Peso proprio trave	N (kN) N_{prec} 0	M (kNm) M_{prec} $M_{p.p.}$			$\sigma_{a(1)} = \sigma_{spo} - \sigma_{a(1)}$
Perdite di tensione (1) [t=7gg → ∞] Rilassamento Ritiro (della sola vasca) Viscosità (1) $\Delta^I \sigma_{vis} = \Delta \sigma_{a(1)} \cdot \Phi_{(7,inf)}$					(Φ del solo cassoncino, R_{ca50} , umidità=75%)
FASE 2 - Getto della soletta (40gg) - % perdite (1) [avvenute in 33gg] Rilassamento 100% Ritiro 20% Viscosità (1) 40%	N (kN) 0 N_{ri} N_{rit} N_{visco}	M (kNm) M_{getto} M_{ri} M_{rit} M_{visco}			$\sigma_{a(2)} = \sigma_{a(1)} - \sigma_{a(2)}$
Perdite di tensione (2) [t=40gg → ∞] Viscosità (2) $\Delta^{II} \sigma_{vis} = \Delta \sigma_{a(2)} \cdot \Phi_{(40,inf)}$					(Φ del solo cassoncino, R_{ca50} , umidità=75%)
Ritiro differenziale soletta-cassone (indurimento dopo 3gg : t=43gg) δ_{pi} (3→∞) della sola soletta δ_{pi} (40→∞) del solo cassoncino					$N = \Delta \sigma_{pi} \cdot A_{C(soletta)}$ ($M = N \cdot e$)
FASE 3 - Permanenti portati (68gg) - % perdite (1) [avvenute in 28gg] Ritiro 10% Viscosità (1) 10% - % perdite (2) [avvenute in 28gg] Viscosità (2) 40% - 15% ritiro differenziale [avvenute in 26gg] a) trazione soletta b) presso-flessione trave	N (kN) 0 N_{rit} N_{visco} N_{visco}^{II} N^* N^*	M (kNm) M_{port} M_{rit} M_{visco} M_{visco}^{II} 0 $N^* \cdot e$			$\sigma_{a(3)} = \sigma_{a(2)} - \sigma_{a(3)}$
Perdite di tensione (3) [t=68gg → ∞] Viscosità (3) $\Delta \sigma_{vis} = \Delta \sigma_{a(3)} \cdot \Phi_{(68,inf)}$					(Φ del cassoncino)
4 - % perdite (1) Ritiro 70% Viscosità (1) 50% - % perdite (2) Viscosità (2) 60% - % perdite (3) Viscosità (3) 100% - 85% ritiro differenziale a) compressione soletta b) presso-flessione trave	N (kN) N_{rit} N_{visco} N_{visco}^{II} N_{visco}^{III} N^* N^*	M (kNm) M_{rit} M_{visco} M_{visco}^{II} M_{visco}^{III} 0 $N^* \cdot e$			$\sigma_{a(4)} = \sigma_{a(3)} - \sigma_{a(4)}$
5 - Accidentali	N (kN) 0	M (kNm) M_{acc}			$\sigma_{a(5)} = \sigma_{a(4)} - \sigma_{a(5)}$
VERIFICHE					
I) Verifica a taglio dei trefoli t = 7gg ts = to = 7gg peso proprio + precompressione					$\sigma_{-(1)}$
I_bis) Verifica movimentazione cassone t = 7gg ts = to = 7gg peso proprio + precompressione +/- 0,15 peso proprio					$\sigma_{-(1bis)} = \sigma_{-(1)} +/- 0,15 p.p.$
II) Verifica al getto della soletta t = 40 (t = 40gg) ts = to = 40gg peso proprio + precompressione + getto soletta + %perdite(1)					$\sigma_{-(2)} = \sigma_{-(1)} + \Delta \sigma_{-(2)}$
III) Verifica al caricamento con i portati t = 68 (t = 68gg) t = 68gg ts = to = 40gg ts = to = 68gg p.p. + precompr + getto soletta + portati + %perdite(1,2) + %rit.differ.					$\sigma_{-(3)} = \sigma_{-(2)} + \Delta \sigma_{-(3)}$
IV) Verifica con i portati a T=inf. t = inf t = inf t = inf ts = to = 40gg ts = to = 68gg p.p. + precompr + getto soletta + portati + perdite(1,2,3) + %rit.differ.					$\sigma_{-(4)} = \sigma_{-(3)} + \Delta \sigma_{-(4)}$
V) Verifica al caricamento degli accidentali t = 68 (t = 68gg) t = 68gg ts = to = 40gg ts = to = 68gg p.p. + precompr + getto sol + portati + accid +/- ΔT(5°) + %perdite(1,2) + %rit.differ.					$\sigma_{-(5)} = \sigma_{-(4)} + \Delta \sigma_{-(5)}$
VI) Verifica con accid. a T=inf. t = inf t = inf t = inf ts = to = 40gg ts = to = 68gg p.p. + precompr + getto sol + portati + accid +/- ΔT(5°) + %perdite(1,2,3) + %rit.differ.					$\sigma_{-(6)} = \sigma_{-(5)} + \Delta \sigma_{-(6)}$

9.1 Verifiche agli S.L.E. impalcato da 30 m.

In questo paragrafo si procede alla verifiche delle tensioni dei diversi S.L.E. lungo la trave di bordo in c.a.p. per le diverse fasi costruttive e di carico previste, tenendo in particolare considerazione la tempistica di applicazione dei carichi e lo stato di maturazione del cls, sia delle vasche che della soletta, onde poter analizzare con adeguata precisione gli effetti dei fenomeni lenti del cls e dell'acciaio da precompressione sullo stato tensionale della struttura.

Vengono così riportati, sia in forma tabellare che grafica, gli stati tensionali ai lembi della vasca e della soletta nonché in corrispondenza del baricentro dell'armatura di precompressione, osservando che prima della maturazione della soletta la trave in c.a.p. è costituita esclusivamente dalla vasca.

Osservazioni:

Ritiro differenziale

Viene trattato similmente alle travi composte acciaio-cls, con la differenza che in questo caso anche la vasca subisce deformazioni per ritiro e quindi la forza N applicata viene calcolata in termini di ritiro differenziale soletta-vasca ($\Delta\epsilon_{rit}$). Ossia si immagina che la soletta sia svincolata dalla vasca e che quindi libere subiscano integralmente la diminuzione volumetrica per ritiro rispettivamente di $\epsilon_{r_sol\infty} = -3.62E-04$ e $\epsilon_{r_vasca\infty} = -4.04E-04$; inoltre l'area della soletta e della vasca valgono rispettivamente $A_{sol} = 0.6875mq$ e $A_{vasca} = 0.749mq$, per cui: $[(4.04*0.749)/(3.62*0.6875)] = 0.85$. Bisogna infine tenere conto della diversa velocità di deformazione per ritiro di una e dell'altra, dipendendo questa dal tempo di maturazione (la vasca al momento del getto della soletta ha già una maturazione di 40gg, per cui il suo ritiro avverrà d'ora in poi più lentamente di quello della soletta che invece è fresca di getto). Si ipotizza dunque che l'80% del ritiro della soletta venga accompagnato dal ritiro del cassone, dopo di che quest'ultimo viene ad impedire totalmente l'accorciamento della soletta la quale è così soggetta ad una forza di trazione baricentrica di $N = E_c * \Delta\epsilon_{rit} * A_c$. Quindi sull'intera trave composta vengono ad agire la forza N (nel baricentro ideale della trave) ed il momento di trasporto $M = N*(y_{Gsol} - y_{Gi})$; infine si determinano le tensioni effettuando la sovrapposizione degli effetti tra i due passi precedenti.

Termica

Si procede analogamente a quanto esposto per il ritiro differenziale, dove però semplicemente $N = E_c * \Delta T * \alpha_c$ A_c la quale può essere di trazione o compressione a seconda del caso (es.: il caso $\Delta T-$ produce gli stessi effetti del ritiro)

9.1.1 Sezione 10 (TIPO E)

Verifica per esteso nella sezione di mezzeria:

sollecitazioni	
p.p.	-1897.06
getto	-3226.24
portati	-1713.94
mobili + folla	-3723.57

Caratteristiche cassoncino		
A_{id}	0.934 m ²	
W_s	0.330 m ³	(rispetto all'asse baricentrico)
W_i	0.429 m ³	(rispetto all'asse baricentrico)
Y_{Gi}	0.70 m	(da intradosso cassoncino)
Caratteristiche precompressione		
A_{tr}	1.510 cm ²	
$n^{\circ} tr$	46	
e	0.565 m	
W_{cr}	0.528 m ³	
σ_{sp0}	1350 Mpa	(al taglio dei trefoli)
$n_{\text{taglio dei trefoli}}$	5.1	(E_s / E_c)
n	4.6	

Caratteristiche dei materiali (umidità relativa del 75%)

$\varepsilon_{rit,\infty}$ (7 - ∞)	-4.04E-04	
$\Phi^I_{vis,\infty}$ (7 - ∞)	-1.97E+00	
$\Phi^{II}_{vis,\infty}$ (40 - ∞)	-1.41E+00	
$\Phi^{III}_{vis,\infty}$ (68 - ∞)	-1.28E+00 Mpa	
$\Delta\sigma_{rl,\infty}$	-21.26	("-" in quanto accorciamenti della trave)

FASE 1 (7gg $R_{ckj \text{ casson}}=45\text{Mpa}$)

- Effetto della precompressione

No	9377.10 kN	($\sigma_{spi} * A_{tr} * n^{\circ} tr$)
Mo	5299.03 kNm	
$\Delta\sigma_{c,sup}$	-6.03 Mpa	
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	-102.42 Mpa	
$\Delta\sigma_{c,inf}$	22.40 Mpa	

σ_N	10.040755
$\sigma_{c,sup}$	-16.074415
$\sigma_{tr,elast}$	10.0432
$\sigma_{c,inf}$	12.361337

- Effetto dei pesi propri

M	-1897.06 kNm
$\Delta\sigma_{c,sup}$	5.75 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	18.34 Mpa

$\Delta\sigma_{C,inf}$ -4.43 Mpa

Perdite di prima fase (p.p. + precompr.)

$\Delta\sigma_{rit,\infty}$ -21.3 Mpa

$\Delta\sigma_{rit,\infty}$ -78.78 Mpa

$\Delta\sigma_{vis,\infty}^I$ -165.65 Mpa

FASE 2 (40gg $R_{ck,casson}=55\text{Mpa}$)

- Getto della soletta

M -3226.24 kNm

$\Delta\sigma_{C,sup}$ 9.79 Mpa

$\Delta\sigma_{tr,elast}$ 28.21 Mpa

$\Delta\sigma_{C,inf}$ -7.53 Mpa

- % perdite di prima fase (7gg --->40gg)

viscosità 40 %

ritiro 20 %

rilassamento 100 %

$\Delta\sigma^I$ -103.28 Mpa

ΔN -717.36 kN

ΔM -405.38 kNm

$\Delta\sigma_{C,sup}$ 0.462 Mpa

$\Delta\sigma_{tr,elast}$ 7.09 Mpa

$\Delta\sigma_{C,inf}$ -1.71 Mpa

σ_N	-0.7681354
$\sigma_{C,sup}$	1.229721
$\sigma_{tr,elast}$	-0.76832
$\sigma_{C,inf}$	-0.945664

Perdite di seconda fase (getto soletta)

$\Delta\sigma_{vis,\infty}^{II}$ 49.76 Mpa

Caratteristiche

trave

$S_{soletta}$ 0.3 m

H_{trave} 1.9 m

A_{id} 1.771 m²

I_i 0.800 m⁴

$W_{s,sol}$ 1.136 m³ (rispetto all'asse baricentrico)

$W_{s,cas}$ 1.980 m³ (rispetto all'asse baricentrico)

$W_{i,cas}$ 0.669 m³ (rispetto all'asse baricentrico)

Y_{Gi2} 1.20 m (da intradosso cassoncino)

Caratteristiche precompressione

A_{tr} 1.510 cm²

$n^{\circ} tr$ 46

e 1.066 m

W_{cr} 0.750 m³

Perdite differenziali (indurimento soletta)

$\varepsilon_{rit,\infty}$ (3 - ∞) **-3.62E-04**

E_C (Rck40) **36050** Mpa

$\Delta\sigma_{rit,\infty}$ -2.61 Mpa

A_c 0.704 mq

$y_{Gsoletta}$ 1.75 m (da intradosso cassoncino)

e 0.55 m ($e = y_{Gsol} - y_{Gi2}$)

N **1836** kN

M **-1017** kNm

$\Delta\sigma_{s,sup}$ -0.68 Mpa

$\Delta\sigma_{s,inf}$ -1.059 Mpa

$\Delta\sigma_{c,sup}$ 1.551 Mpa

$\Delta\sigma_{tr,elast}$ 1.47 Mpa

$\Delta\sigma_{c,inf}$ -0.484 Mpa

σ_N	1.0370326
$\sigma_{s,sup}$	0.8951007
$\sigma_{c,sup}$	0.5135828
$\sigma_{tr,elast}$	-1.3553025
$\sigma_{c,inf}$	-1.5211799

FASE 3 (68gg Rck casson=55Mpa)

- permanenti

portati

M **-1713.94** kNm

$\Delta\sigma_{s,sup}$ 1.51

$\Delta\sigma_{c,sup}$ 0.87

$\Delta\sigma_{tr,elast}$ 10.54 Mpa

$\Delta\sigma_{c,inf}$ -2.56 Mpa

- % perdite di prima fase (40gg --->68gg)

viscosità **10** %

ritiro **10** %

$\Delta^I\sigma$ -24.44 Mpa

$\Delta^I N$ -169.78 kN

$\Delta^I M$ -180.94 kNm

$\Delta\sigma_{s,sup}$ 0.06 Mpa

$\Delta\sigma_{c,sup}$ -0.005 Mpa

$\Delta\sigma_{tr,elast}$ 1.55 Mpa

$\Delta\sigma_{c,inf}$ -0.37 Mpa

σ_N	-0.0958822
$\sigma_{s,sup}$	0.1592466
$\sigma_{c,sup}$	0.0913711
$\sigma_{tr,elast}$	-0.2411208
$\sigma_{c,inf}$	-0.2706319

- % perdite di seconda fase (40gg --->68gg)

viscosità **40** %

$\Delta^{II}\sigma$ 19.91 Mpa

$\Delta^{II} N$ 138.27 kN

$\Delta^{II} M$ 147.35 kNm

$\Delta\sigma_{s,sup}$ -0.05 Mpa

$\Delta\sigma_{c,sup}$ 0.004 Mpa

$\Delta\sigma_{tr,elast}$ -1.27 Mpa

$\Delta\sigma_{c,inf}$ 0.30 Mpa

σ_N	0.0780837
$\sigma_{s,sup}$	-0.1296858
$\sigma_{c,sup}$	-0.07441
$\sigma_{tr,elast}$	0.1963617
$\sigma_{c,inf}$	0.2203947

- % perdite per ritiro differ (43gg --->68gg)

viscosità	15 %
$\Delta\sigma_{s,sup}$	-0.10 Mpa
$\Delta\sigma_{s,inf}$	-0.16 Mpa
$\Delta\sigma_{c,sup}$	0.23 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	0.22 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	-0.07 Mpa

Perdite di terza fase	(perm. portati
$\Delta^{III}\sigma_{vis,\infty}$	14.14 Mpa

FASE 4	(∞ Rck_{casson}=55Mpa)
---------------	---

- % perdite di prima fase (68gg --> ∞)

viscosità	50 %
ritiro	70 %
$\Delta^I\sigma$	-137.97 Mpa
$\Delta^I N$	-958.36 kN
$\Delta^I M$	-1021.34 kNm
$\Delta\sigma_{s,sup}$	0.36 Mpa
$\Delta\sigma_{c,sup}$	-0.025 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	8.77 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	-2.07 Mpa

σ_N	-0.5412159
$\sigma_{s,sup}$	0.8988824
$\sigma_{c,sup}$	0.5157526
$\sigma_{tr,elast}$	-1.3610284
$\sigma_{c,inf}$	-1.5276066

- % perdite di seconda fase (68gg ---> ∞)

viscosità	60 %
$\Delta^{II}\sigma$	29.86 Mpa
$\Delta^{II} N$	207.40 kN
$\Delta^{II} M$	221.03 kNm
$\Delta\sigma_{s,sup}$	-0.08 Mpa
$\Delta\sigma_{c,sup}$	0.006 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	-1.90 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	0.45 Mpa

σ_N	0.1171255
$\sigma_{s,sup}$	-0.1945287
$\sigma_{c,sup}$	-0.1116149
$\sigma_{tr,elast}$	0.2945426
$\sigma_{c,inf}$	0.3305921

- % perdite per ritiro differ (68gg ---> ∞)

viscosità	85 %
$\Delta\sigma_{s,sup}$	-0.58 Mpa
$\Delta\sigma_{s,inf}$	-0.90 Mpa
$\Delta\sigma_{c,sup}$	1.32 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	1.25 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	-0.41 Mpa

- perdite di terza fase (68gg ---> ∞)

$\Delta^{II}\sigma$	14.14 Mpa
$\Delta^{II} N$	98.20 kN

σ_N	0.055455
------------	----------

$\Delta^H M$	104.65 kNm
$\Delta\sigma_{s,sup}$	-0.04 Mpa
$\Delta\sigma_{c,sup}$	0.003 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	-0.90 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	0.21 Mpa

$\sigma_{s,sup}$	-0.0921028
$\sigma_{c,sup}$	-0.0528459
$\sigma_{tr,elast}$	0.1394559
$\sigma_{c,inf}$	0.1565241

FASE 5

- accidentali

M	-3723.57 kNm
$\Delta\sigma_{s,sup}$	3.28
$\Delta\sigma_{c,sup}$	1.88
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	22.89 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	-5.57 Mpa

- Gradiente

termico

ΔT	5 °
α	1.0E-05
E_C (Rck40)	36050 Mpa
$y_{Gsoletta}$	1.75 m
Ac	0.704 mq
$\Delta\sigma_{rit,\infty}$	1.80 Mpa
e	0.55 m
N	-1268 kN
M	702 kNm
$\Delta\sigma_{s,sup}$	0.47 Mpa
$\Delta\sigma_{s,inf}$	0.732 Mpa
$\Delta\sigma_{c,sup}$	-1.071 Mpa
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	-1.01 Mpa
$\Delta\sigma_{c,inf}$	0.334 Mpa

(da intradosso cassoncino)

($e = y_{Gsol} - y_{Gi}$)

σ_N	-0.7161827
$\sigma_{s,sup}$	-0.6181635
$\sigma_{c,sup}$	-0.3546842
$\sigma_{tr,elast}$	0.9359824
$\sigma_{c,inf}$	1.0505386

VERIFICHE (le tensioni sono in **Mpa**)

I) Verifica a taglio dei trefoli

	p.proprio	precompr.	
$\Delta\sigma_{s,sup}$	-	-	-
$\Delta\sigma_{s,inf}$	-	-	-
$\Delta\sigma_{c,sup}$	5.75	-6.03	-0.28
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	18.34	-102.42	-84.09
$\Delta\sigma_{c,inf}$	-4.43	22.40	17.98

I_bis) Verifica movimentazione cassone

	p.proprio	precompr.	0,15*p.p.	- 0,15p.p.	+ 0,15p.p.
$\Delta\sigma_{s,sup}$	-	-	-	-	-
$\Delta\sigma_{s,inf}$	-	-	-	-	-
$\Delta\sigma_{c,sup}$	5.75	-6.03	0.86	-1.14	0.58
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	18.34	-102.42	2.75	-86.84	-81.34

$\Delta\sigma_{C,inf}$ -4.43 22.40 -0.66 18.64 17.31

II) Verifica al getto della soletta

	getto	%perd (1)		perdite	-103.28
$\Delta\sigma_{S,sup}$	-			-	
$\Delta\sigma_{S,inf}$	-			-	
$\Delta\sigma_{C,sup}$	9.79	0.462			9.969
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	28.21	7.088			-48.794
$\Delta\sigma_{C,inf}$	-7.53	-1.714			8.737

III) Verifica al caricamento con i portati

	p.portati	%perd (1)	%perd (2)	%rit.diff	perdite	-4.54
$\Delta\sigma_{S,sup}$	1.51	0.06	-0.05	-0.10		1.419
$\Delta\sigma_{S,inf}$	0.87	0.00	0.00	-0.16		0.706
$\Delta\sigma_{C,sup}$	0.87	0.00	0.00	0.23		11.067
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	10.54	1.55	-1.27	0.22		-37.749
$\Delta\sigma_{C,inf}$	-2.56	-0.37	0.30	-0.07		6.033

IV) Verifica con i portati a T=inf.

	%perd (1)	%perd (2)	perd (3)	%rit.diff	perdite	-93.98
$\Delta\sigma_{S,sup}$	0.36	-0.08	-0.04	-0.58		1.086
$\Delta\sigma_{S,inf}$	-0.03	0.01	0.00	-0.90		-0.212
$\Delta\sigma_{C,sup}$	-0.03	0.01	0.00	1.32		12.367
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	8.77	-1.90	-0.90	1.25		-30.524
$\Delta\sigma_{C,inf}$	-2.07	0.45	0.21	-0.41		4.212

V) Verifica al caricamento degli accidentali

	accid	$\Delta T=5^\circ$	- ΔT	+ ΔT
$\Delta\sigma_{S,sup}$	3.28	0.47	4.227	5.164
$\Delta\sigma_{S,inf}$	1.88	0.73	1.854	3.318
$\Delta\sigma_{C,sup}$	1.88	-1.07	14.018	11.876
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	22.89	-1.01	-13.846	-15.874
$\Delta\sigma_{C,inf}$	-5.57	0.33	0.129	0.798

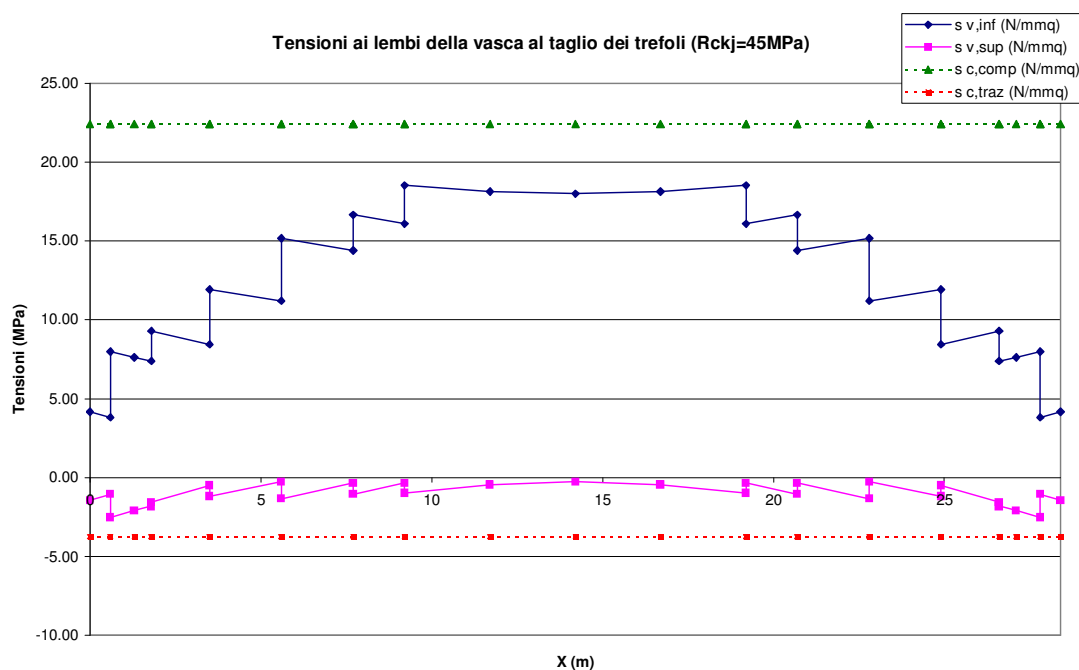
VI) Verifica con accidentali a T=inf.

	- ΔT	+ ΔT
$\Delta\sigma_{S,sup}$	3.89	4.831
$\Delta\sigma_{S,inf}$	0.94	2.400
$\Delta\sigma_{C,sup}$	15.32	13.177
$\Delta\sigma_{tr,elast}$	-6.62	-8.649
$\Delta\sigma_{C,inf}$	-1.69	-1.023

9.1.2 Verifica delle tensioni nel cls lungo la trave

Verifica al taglio dei trefoli: peso proprio + precompressione

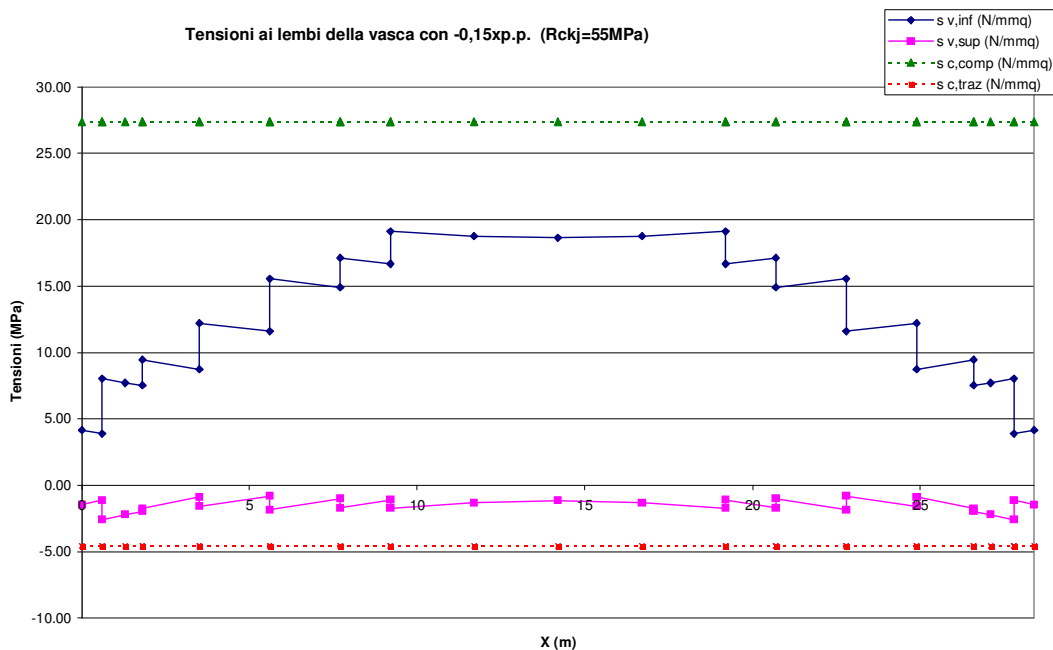
Tensioni ai lembi della vasca al taglio dei trefoli (Rckj=45MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	4.16	-1.45	22.41	-3.735
2	0.6	3.83	-1.06	22.41	-3.735
2	0.6	7.98	-2.52	22.41	-3.735
3	1.3	7.62	-2.09	22.41	-3.735
4	1.8	7.38	-1.81	22.41	-3.735
4	1.8	9.29	-1.56	22.41	-3.735
5	3.5	8.44	-0.49	22.41	-3.735
5	3.5	11.92	-1.19	22.41	-3.735
6	5.6	11.21	-0.28	22.41	-3.735
6	5.6	15.16	-1.32	22.41	-3.735
7	7.7	14.40	-0.35	22.41	-3.735
7	7.7	16.64	-1.05	22.41	-3.735
8	9.2	16.09	-0.33	22.41	-3.735
8	9.2	18.52	-0.99	22.41	-3.735
9	11.7	18.11	-0.46	22.41	-3.735
10	14.2	17.98	-0.28	22.41	-3.735
11	16.7	18.11	-0.46	22.41	-3.735
12	19.2	18.52	-0.99	22.41	-3.735
12	19.2	16.09	-0.33	22.41	-3.735
13	20.7	16.64	-1.05	22.41	-3.735
13	20.7	14.40	-0.35	22.41	-3.735
14	22.8	15.16	-1.32	22.41	-3.735
14	22.8	11.21	-0.28	22.41	-3.735
15	24.9	11.92	-1.19	22.41	-3.735
15	24.9	8.44	-0.49	22.41	-3.735
16	26.6	9.29	-1.56	22.41	-3.735
16	26.6	7.38	-1.81	22.41	-3.735
17	27.1	7.62	-2.09	22.41	-3.735
18	27.8	7.98	-2.52	22.41	-3.735
18	27.8	3.83	-1.06	22.41	-3.735
19	28.4	4.16	-1.45	22.41	-3.735



Verifica per movimentazione del cassone: peso proprio + precompressione ± 0.15 peso proprio

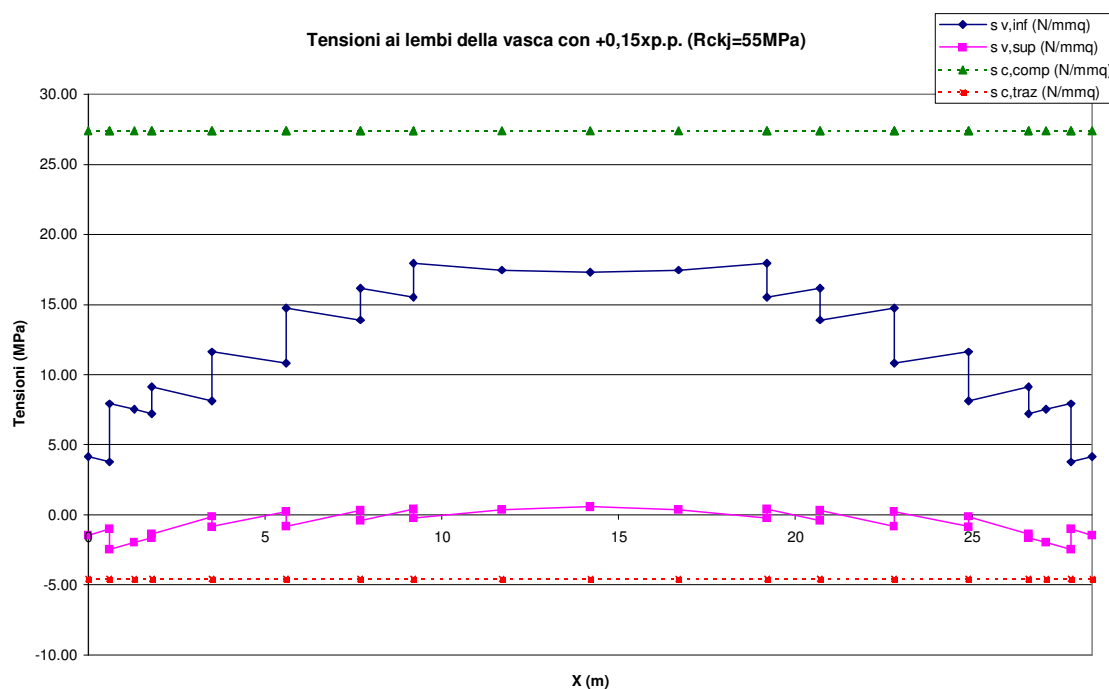
1) -0.15 peso proprio

Tensioni ai lembi della vasca - 0,15 x p.p.(Rckj=55MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	4.16	-1.45	27.39	-4.565
2	0.6	3.88	-1.12	27.39	-4.565
2	0.6	8.03	-2.58	27.39	-4.565
3	1.3	7.73	-2.22	27.39	-4.565
4	1.8	7.52	-1.97	27.39	-4.565
4	1.8	9.46	-1.77	27.39	-4.565
5	3.5	8.74	-0.86	27.39	-4.565
5	3.5	12.21	-1.56	27.39	-4.565
6	5.6	11.60	-0.79	27.39	-4.565
6	5.6	15.55	-1.83	27.39	-4.565
7	7.7	14.91	-1.00	27.39	-4.565
7	7.7	17.14	-1.70	27.39	-4.565
8	9.2	16.67	-1.09	27.39	-4.565
8	9.2	19.10	-1.75	27.39	-4.565
9	11.7	18.76	-1.29	27.39	-4.565
10	14.2	18.64	-1.14	27.39	-4.565
11	16.7	18.76	-1.29	27.39	-4.565
12	19.2	19.10	-1.75	27.39	-4.565
12	19.2	16.67	-1.09	27.39	-4.565
13	20.7	17.14	-1.70	27.39	-4.565
13	20.7	14.91	-1.00	27.39	-4.565
14	22.8	15.55	-1.83	27.39	-4.565
14	22.8	11.60	-0.79	27.39	-4.565
15	24.9	12.21	-1.56	27.39	-4.565
15	24.9	8.74	-0.86	27.39	-4.565
16	26.6	9.46	-1.77	27.39	-4.565
16	26.6	7.52	-1.97	27.39	-4.565
17	27.1	7.73	-2.22	27.39	-4.565
18	27.8	8.03	-2.58	27.39	-4.565
18	27.8	3.88	-1.12	27.39	-4.565
19	28.4	4.16	-1.45	27.39	-4.565



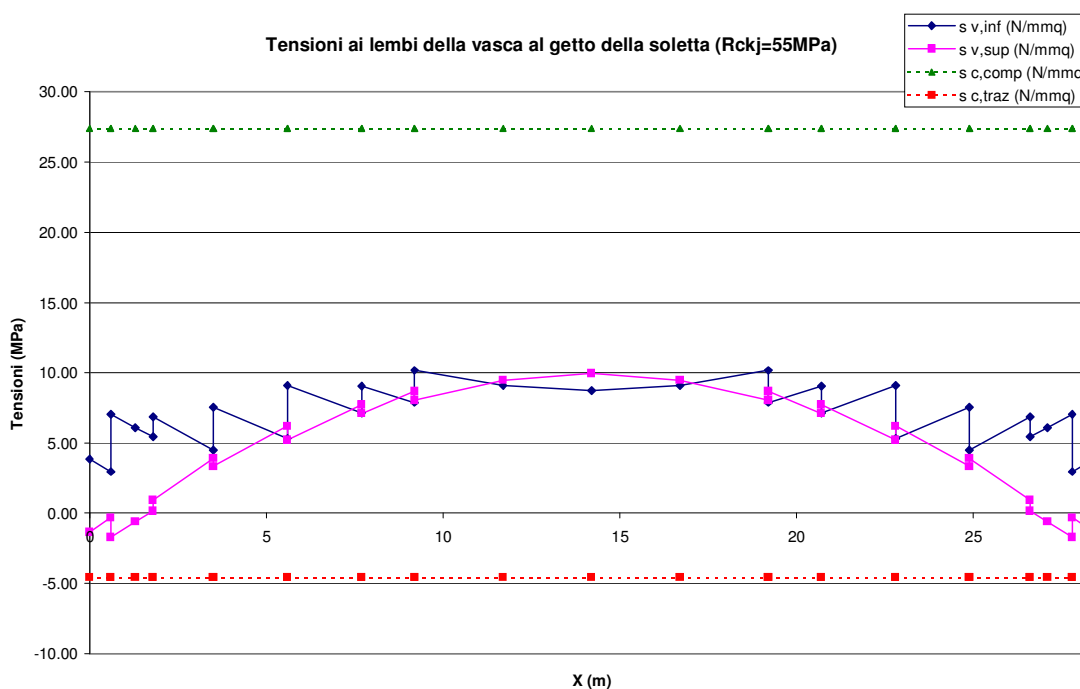
1) +0.15 peso proprio

Tensioni ai lembi della vasca + 0,15 x p.p.(Rckj=55MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	4.16	-1.45	4.16	-1.45
2	0.6	3.78	-1.01	27.39	-4.565
2	0.6	7.93	-2.46	27.39	-4.565
3	1.3	7.52	-1.97	27.39	-4.565
4	1.8	7.24	-1.64	27.39	-4.565
4	1.8	9.12	-1.35	27.39	-4.565
5	3.5	8.15	-0.12	27.39	-4.565
5	3.5	11.63	-0.82	27.39	-4.565
6	5.6	10.81	0.22	27.39	-4.565
6	5.6	14.76	-0.82	27.39	-4.565
7	7.7	13.89	0.30	27.39	-4.565
7	7.7	16.14	-0.41	27.39	-4.565
8	9.2	15.51	0.42	27.39	-4.565
8	9.2	17.94	-0.23	27.39	-4.565
9	11.7	17.47	0.38	27.39	-4.565
10	14.2	17.31	0.58	27.39	-4.565
11	16.7	17.47	0.38	27.39	-4.565
12	19.2	17.94	-0.23	27.39	-4.565
12	19.2	15.51	0.42	27.39	-4.565
13	20.7	16.14	-0.41	27.39	-4.565
13	20.7	13.89	0.30	27.39	-4.565
14	22.8	14.76	-0.82	27.39	-4.565
14	22.8	10.81	0.22	27.39	-4.565
15	24.9	11.63	-0.82	27.39	-4.565
15	24.9	8.15	-0.12	27.39	-4.565
16	26.6	9.12	-1.35	27.39	-4.565
16	26.6	7.24	-1.64	27.39	-4.565
17	27.1	7.52	-1.97	27.39	-4.565
18	27.8	7.93	-2.46	27.39	-4.565
18	27.8	3.78	-1.01	27.39	-4.565
19	28.4	4.16	-1.45	27.39	-4.565



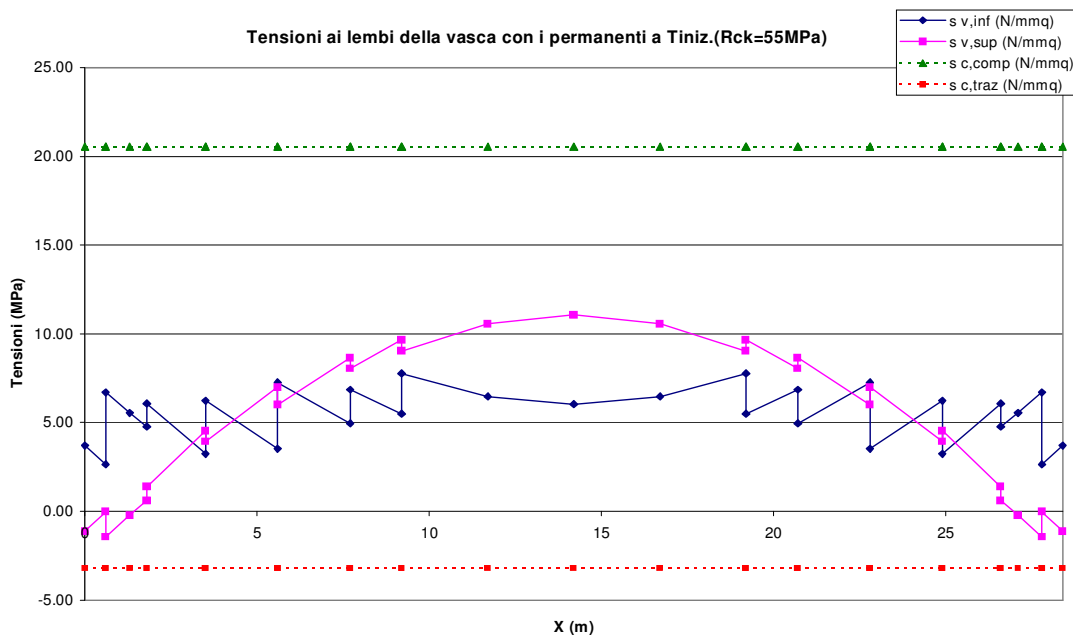
Verifica: peso proprio + precompressione + getto soletta

Tensioni ai lembi della vasca al getto della soletta (Rckj=55MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	3.84	-1.34	27.39	-4.565
2	0.6	2.97	-0.31	27.39	-4.565
2	0.6	7.03	-1.73	27.39	-4.565
3	1.3	6.07	-0.60	27.39	-4.565
4	1.8	5.42	0.18	27.39	-4.565
4	1.8	6.87	0.95	27.39	-4.565
5	3.5	4.51	3.93	27.39	-4.565
5	3.5	7.54	3.34	27.39	-4.565
6	5.6	5.32	6.22	27.39	-4.565
6	5.6	9.09	5.22	27.39	-4.565
7	7.7	7.15	7.74	27.39	-4.565
7	7.7	9.07	7.12	27.39	-4.565
8	9.2	7.90	8.67	27.39	-4.565
8	9.2	10.19	8.05	27.39	-4.565
9	11.7	9.10	9.49	27.39	-4.565
10	14.2	8.74	9.97	27.39	-4.565
11	16.7	9.10	9.49	27.39	-4.565
12	19.2	10.19	8.05	27.39	-4.565
12	19.2	7.90	8.67	27.39	-4.565
13	20.7	9.07	7.12	27.39	-4.565
13	20.7	7.15	7.74	27.39	-4.565
14	22.8	9.09	5.22	27.39	-4.565
14	22.8	5.32	6.22	27.39	-4.565
15	24.9	7.54	3.34	27.39	-4.565
15	24.9	4.51	3.93	27.39	-4.565
16	26.6	6.87	0.95	27.39	-4.565
16	26.6	5.42	0.18	27.39	-4.565
17	27.1	6.07	-0.60	27.39	-4.565
18	27.8	7.03	-1.73	27.39	-4.565
18	27.8	2.97	-0.31	27.39	-4.565
19	28.4	3.84	-1.34	27.39	-4.565

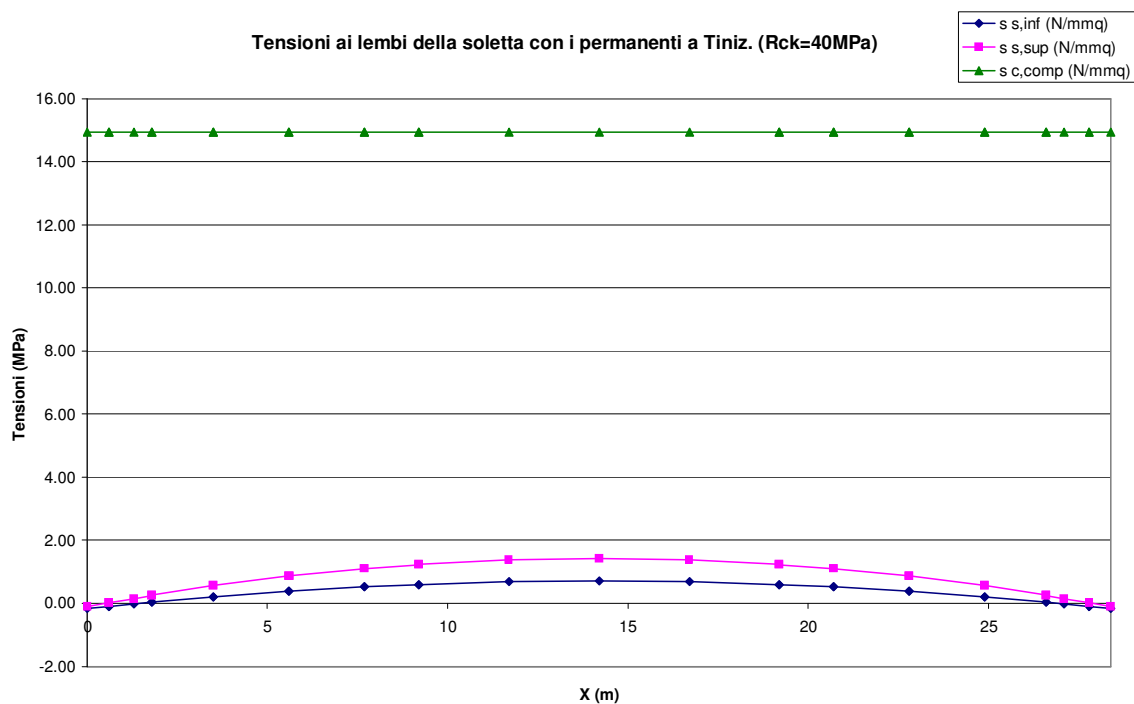


Verifica: peso proprio + precompressione + getto soletta + portati
(a T iniziale)

Tensioni ai lembi della vasca con i permanenti a Tiniz. (Rck=55MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	3.69	-1.12	20.54	-3.2
2	0.6	2.65	-0.02	20.54	-3.2
2	0.6	6.70	-1.44	20.54	-3.2
3	1.3	5.55	-0.22	20.54	-3.2
4	1.8	4.77	0.61	20.54	-3.2
4	1.8	6.08	1.38	20.54	-3.2
5	3.5	3.23	4.53	20.54	-3.2
5	3.5	6.23	3.94	20.54	-3.2
6	5.6	3.53	6.99	20.54	-3.2
6	5.6	7.26	6.00	20.54	-3.2
7	7.7	4.95	8.65	20.54	-3.2
7	7.7	6.86	8.04	20.54	-3.2
8	9.2	5.50	9.66	20.54	-3.2
8	9.2	7.76	9.04	20.54	-3.2
9	11.7	6.47	10.56	20.54	-3.2
10	14.2	6.03	11.07	20.54	-3.2
11	16.7	6.47	10.56	20.54	-3.2
12	19.2	7.76	9.04	20.54	-3.2
12	19.2	5.50	9.66	20.54	-3.2
13	20.7	6.86	8.04	20.54	-3.2
13	20.7	4.95	8.65	20.54	-3.2
14	22.8	7.26	6.00	20.54	-3.2
14	22.8	3.53	6.99	20.54	-3.2
15	24.9	6.23	3.94	20.54	-3.2
15	24.9	3.23	4.53	20.54	-3.2
16	26.6	6.08	1.38	20.54	-3.2
16	26.6	4.77	0.61	20.54	-3.2
17	27.1	5.55	-0.22	20.54	-3.2
18	27.8	6.70	-1.44	20.54	-3.2
18	27.8	2.65	-0.02	20.54	-3.2
19	28.4	3.69	-1.12	20.54	-3.2

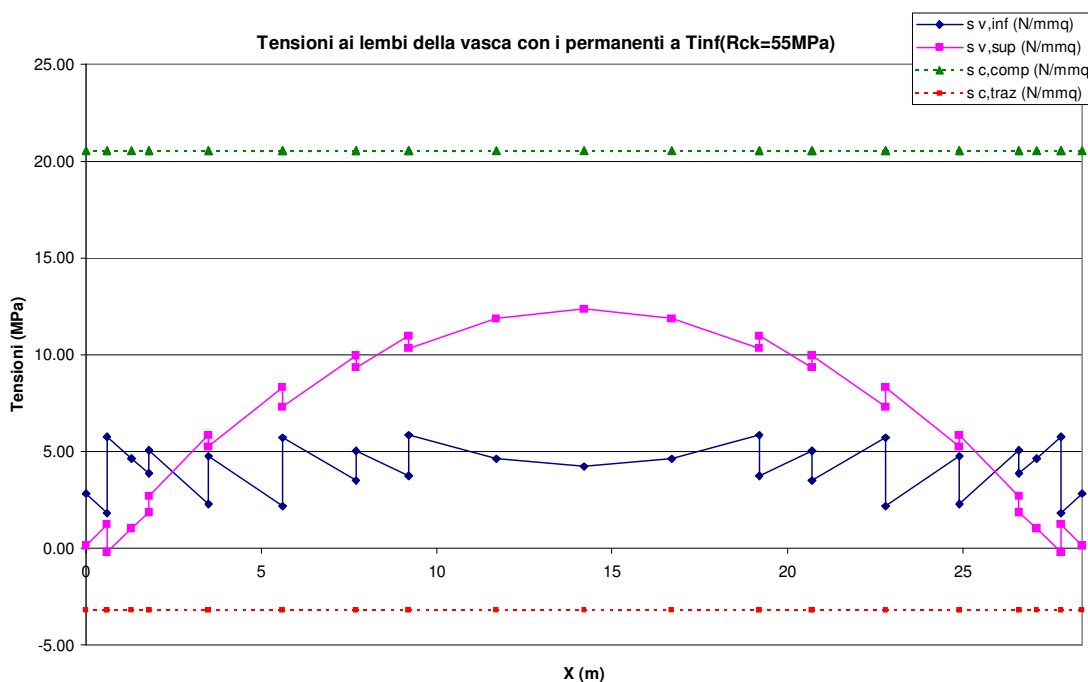


Tensioni ai lembi della soletta con i permanenti a Tiniz. (Rck=40MPa)				
elem	X (m)	$\sigma_{s,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{s,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)
1	0	-0.17	-0.10	14.94
2	0.6	-0.10	0.01	14.94
2	0.6	-0.10	0.02	14.94
3	1.3	-0.02	0.15	14.94
4	1.8	0.04	0.24	14.94
4	1.8	0.05	0.28	14.94
5	3.5	0.21	0.57	14.94
5	3.5	0.21	0.57	14.94
6	5.6	0.39	0.87	14.94
6	5.6	0.39	0.88	14.94
7	7.7	0.52	1.11	14.94
7	7.7	0.52	1.11	14.94
8	9.2	0.60	1.23	14.94
8	9.2	0.60	1.24	14.94
9	11.7	0.68	1.37	14.94
10	14.2	0.71	1.42	14.94
11	16.7	0.68	1.37	14.94
12	19.2	0.60	1.24	14.94
12	19.2	0.60	1.23	14.94
13	20.7	0.52	1.11	14.94
13	20.7	0.52	1.11	14.94
14	22.8	0.39	0.88	14.94
14	22.8	0.39	0.87	14.94
15	24.9	0.21	0.57	14.94
15	24.9	0.21	0.57	14.94
16	26.6	0.05	0.28	14.94
16	26.6	0.04	0.24	14.94
17	27.1	-0.02	0.15	14.94
18	27.8	-0.10	0.02	14.94
18	27.8	-0.10	0.01	14.94
19	28.4	-0.17	-0.10	14.94

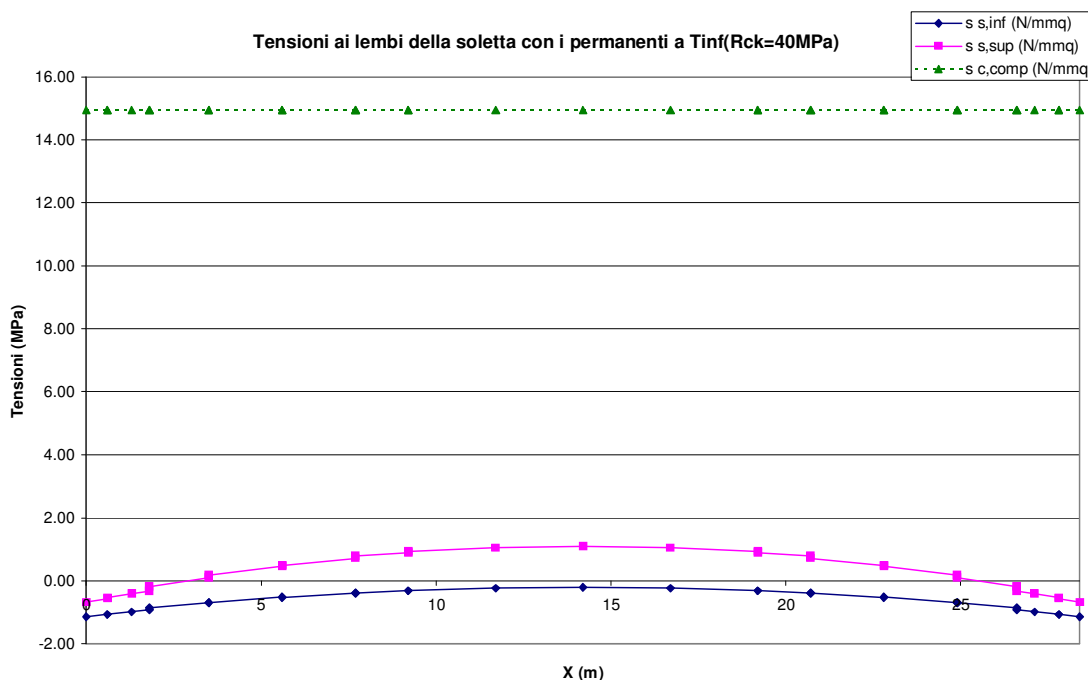


(a T infinito)

Tensioni ai lembi della vasca con i permanenti a Tinf (Rck=55MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	2.83	0.12	20.54	-3.2
2	0.6	1.81	1.22	20.54	-3.2
2	0.6	5.75	-0.19	20.54	-3.2
3	1.3	4.63	1.02	20.54	-3.2
4	1.8	3.87	1.85	20.54	-3.2
4	1.8	5.06	2.70	20.54	-3.2
5	3.5	2.29	5.85	20.54	-3.2
5	3.5	4.76	5.24	20.54	-3.2
6	5.6	2.18	8.30	20.54	-3.2
6	5.6	5.70	7.30	20.54	-3.2
7	7.7	3.50	9.95	20.54	-3.2
7	7.7	5.02	9.34	20.54	-3.2
8	9.2	3.74	10.96	20.54	-3.2
8	9.2	5.85	10.34	20.54	-3.2
9	11.7	4.62	11.86	20.54	-3.2
10	14.2	4.21	12.37	20.54	-3.2
11	16.7	4.62	11.86	20.54	-3.2
12	19.2	5.85	10.34	20.54	-3.2
12	19.2	3.74	10.96	20.54	-3.2
13	20.7	5.02	9.34	20.54	-3.2
13	20.7	3.50	9.95	20.54	-3.2
14	22.8	5.70	7.30	20.54	-3.2
14	22.8	2.18	8.30	20.54	-3.2
15	24.9	4.76	5.24	20.54	-3.2
15	24.9	2.29	5.85	20.54	-3.2
16	26.6	5.06	2.70	20.54	-3.2
16	26.6	3.87	1.85	20.54	-3.2
17	27.1	4.63	1.02	20.54	-3.2
18	27.8	5.75	-0.19	20.54	-3.2
18	27.8	1.81	1.22	20.54	-3.2
19	28.4	2.83	0.12	20.54	-3.2



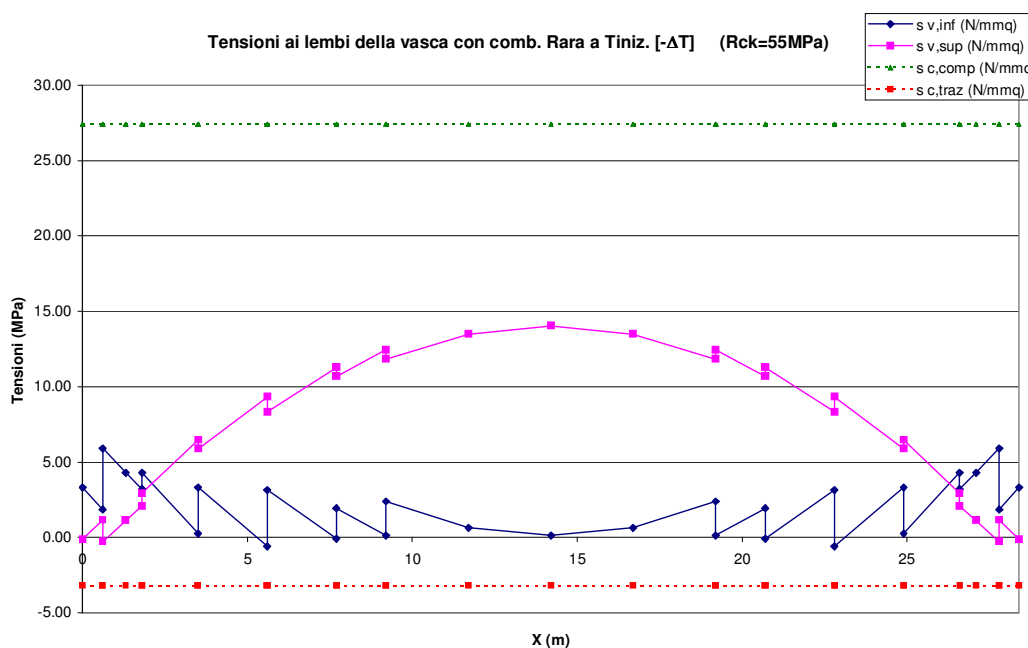
Tensioni ai lembi della soletta con i permanenti a Tinf (Rck=40MPa)				
elem	X (m)	σ s,inf (N/mm ²)	σ s,sup (N/mm ²)	σ c,comp (N/mm ²)
1	0	-1.15	-0.68	14.94
2	0.6	-1.07	-0.57	14.94
2	0.6	-1.07	-0.54	14.94
3	1.3	-0.99	-0.41	14.94
4	1.8	-0.93	-0.33	14.94
4	1.8	-0.86	-0.19	14.94
5	3.5	-0.69	0.09	14.94
5	3.5	-0.70	0.18	14.94
6	5.6	-0.53	0.46	14.94
6	5.6	-0.53	0.50	14.94
7	7.7	-0.39	0.71	14.94
7	7.7	-0.39	0.78	14.94
8	9.2	-0.32	0.89	14.94
8	9.2	-0.32	0.92	14.94
9	11.7	-0.24	1.04	14.94
10	14.2	-0.21	1.09	14.94
11	16.7	-0.24	1.04	14.94
12	19.2	-0.32	0.92	14.94
12	19.2	-0.32	0.89	14.94
13	20.7	-0.39	0.78	14.94
13	20.7	-0.39	0.71	14.94
14	22.8	-0.53	0.50	14.94
14	22.8	-0.53	0.46	14.94
15	24.9	-0.70	0.18	14.94
15	24.9	-0.69	0.09	14.94
16	26.6	-0.86	-0.19	14.94
16	26.6	-0.93	-0.33	14.94
17	27.1	-0.99	-0.41	14.94
18	27.8	-1.07	-0.54	14.94
18	27.8	-1.07	-0.57	14.94
19	28.4	-1.15	-0.68	14.94



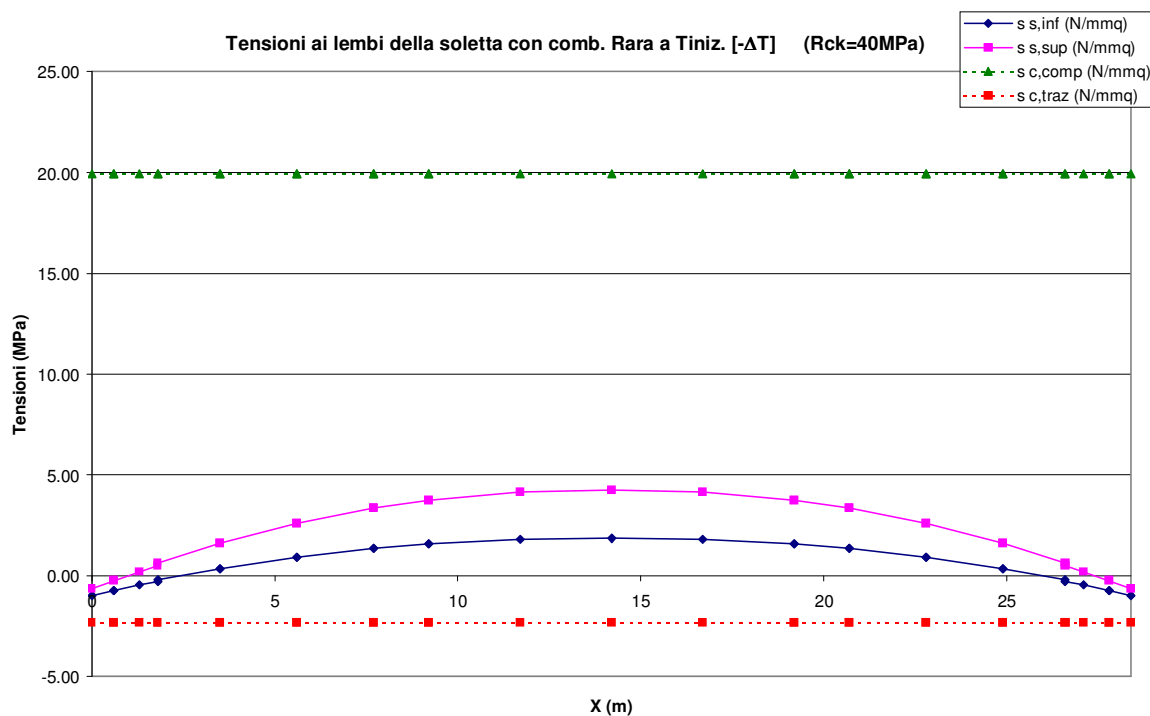
Verifica: peso proprio + precompressione + getto soletta + portati + accidentali - termica (5° tra soletta e vasche)

(a T iniziale)

elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	3.30	-0.12	27.39	-3.2
2	0.6	1.85	1.15	27.39	-3.2
2	0.6	5.90	-0.27	27.39	-3.2
3	1.3	4.29	1.13	27.39	-3.2
4	1.8	3.20	2.09	27.39	-3.2
4	1.8	4.28	2.92	27.39	-3.2
5	3.5	0.23	6.46	27.39	-3.2
5	3.5	3.31	5.87	27.39	-3.2
6	5.6	-0.60	9.32	27.39	-3.2
6	5.6	3.13	8.33	27.39	-3.2
7	7.7	-0.09	11.28	27.39	-3.2
7	7.7	1.91	10.67	27.39	-3.2
8	9.2	0.12	12.44	27.39	-3.2
8	9.2	2.38	11.82	27.39	-3.2
9	11.7	0.63	13.49	27.39	-3.2
10	14.2	0.13	14.02	27.39	-3.2
11	16.7	0.63	13.49	27.39	-3.2
12	19.2	2.38	11.82	27.39	-3.2
12	19.2	0.12	12.44	27.39	-3.2
13	20.7	1.91	10.67	27.39	-3.2
13	20.7	-0.09	11.28	27.39	-3.2
14	22.8	3.13	8.33	27.39	-3.2
14	22.8	-0.60	9.32	27.39	-3.2
15	24.9	3.31	5.87	27.39	-3.2
15	24.9	0.23	6.46	27.39	-3.2
16	26.6	4.28	2.92	27.39	-3.2
16	26.6	3.20	2.09	27.39	-3.2
17	27.1	4.29	1.13	27.39	-3.2
18	27.8	5.90	-0.27	27.39	-3.2
18	27.8	1.85	1.15	27.39	-3.2
19	28.4	3.30	-0.12	27.39	-3.2

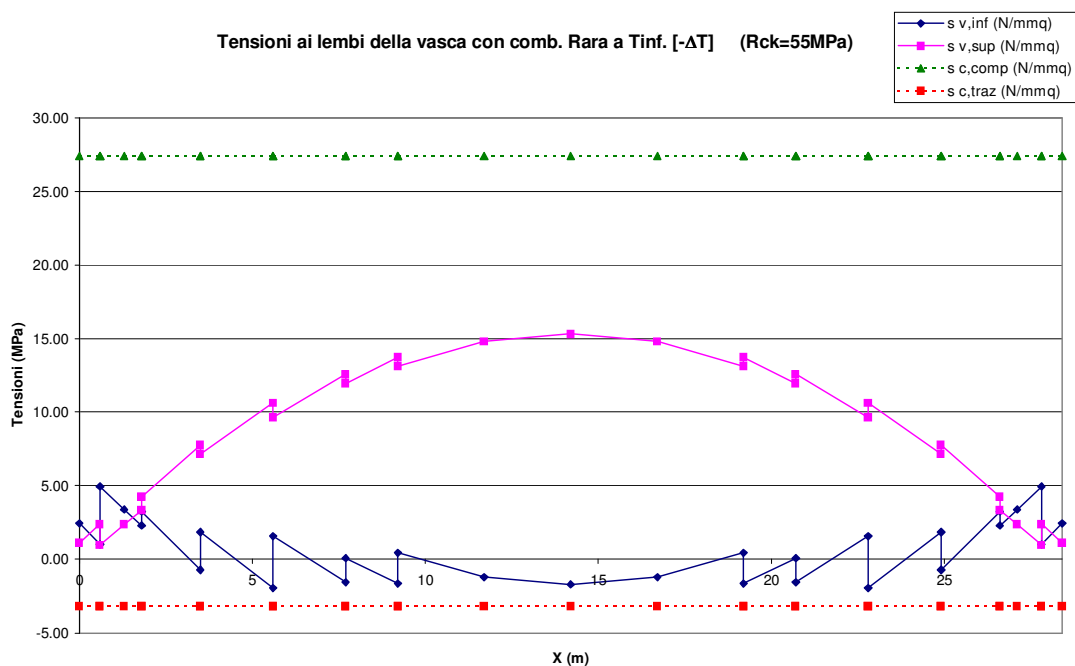


elem	X (m)	σ s,inf (N/mmq)	σ s,sup (N/mmq)	σ c,comp (N/mmq)	σ c,traz (N/mmq)
1	0	-0.97	-0.65	19.92	-2.32
2	0.6	-0.73	-0.25	19.92	-2.32
2	0.6	-0.73	-0.25	19.92	-2.32
3	1.3	-0.46	0.19	19.92	-2.32
4	1.8	-0.28	0.49	19.92	-2.32
4	1.8	-0.22	0.64	19.92	-2.32
5	3.5	0.34	1.61	19.92	-2.32
5	3.5	0.34	1.61	19.92	-2.32
6	5.6	0.91	2.60	19.92	-2.32
6	5.6	0.91	2.61	19.92	-2.32
7	7.7	1.35	3.37	19.92	-2.32
7	7.7	1.35	3.36	19.92	-2.32
8	9.2	1.57	3.74	19.92	-2.32
8	9.2	1.57	3.74	19.92	-2.32
9	11.7	1.80	4.14	19.92	-2.32
10	14.2	1.85	4.23	19.92	-2.32
11	16.7	1.80	4.14	19.92	-2.32
12	19.2	1.57	3.74	19.92	-2.32
12	19.2	1.57	3.74	19.92	-2.32
13	20.7	1.35	3.36	19.92	-2.32
13	20.7	1.35	3.37	19.92	-2.32
14	22.8	0.91	2.61	19.92	-2.32
14	22.8	0.91	2.60	19.92	-2.32
15	24.9	0.34	1.61	19.92	-2.32
15	24.9	0.34	1.61	19.92	-2.32
16	26.6	-0.22	0.64	19.92	-2.32
16	26.6	-0.28	0.49	19.92	-2.32
17	27.1	-0.46	0.19	19.92	-2.32
18	27.8	-0.73	-0.25	19.92	-2.32
18	27.8	-0.73	-0.25	19.92	-2.32
19	28.4	-0.97	-0.65	19.92	-2.32

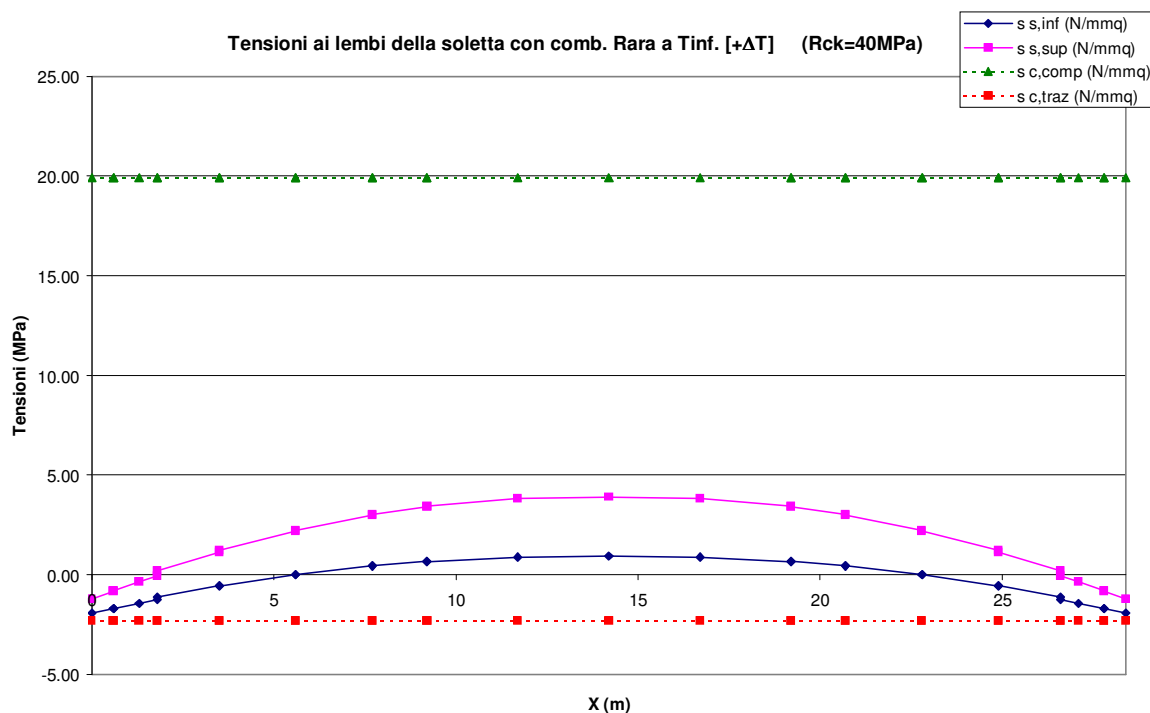


(a T infinito)

Tensioni ai lembi della vasca con comb. Rara a Tinf. [-ΔT] (Rck=55MPa)					
elem	X (m)	σ v,inf (N/mm ²)	σ v,sup (N/mm ²)	σ c,comp (N/mm ²)	σ c,traz (N/mm ²)
1	0	2.44	1.12	27.39	-3.2
2	0.6	1.01	2.39	27.39	-3.2
2	0.6	4.95	0.97	27.39	-3.2
3	1.3	3.37	2.38	27.39	-3.2
4	1.8	2.30	3.33	27.39	-3.2
4	1.8	3.26	4.23	27.39	-3.2
5	3.5	-0.71	7.77	27.39	-3.2
5	3.5	1.84	7.17	27.39	-3.2
6	5.6	-1.95	10.63	27.39	-3.2
6	5.6	1.58	9.63	27.39	-3.2
7	7.7	-1.54	12.58	27.39	-3.2
7	7.7	0.07	11.97	27.39	-3.2
8	9.2	-1.65	13.74	27.39	-3.2
8	9.2	0.46	13.12	27.39	-3.2
9	11.7	-1.22	14.79	27.39	-3.2
10	14.2	-1.69	15.32	27.39	-3.2
11	16.7	-1.22	14.79	27.39	-3.2
12	19.2	0.46	13.12	27.39	-3.2
12	19.2	-1.65	13.74	27.39	-3.2
13	20.7	0.07	11.97	27.39	-3.2
13	20.7	-1.54	12.58	27.39	-3.2
14	22.8	1.58	9.63	27.39	-3.2
14	22.8	-1.95	10.63	27.39	-3.2
15	24.9	1.84	7.17	27.39	-3.2
15	24.9	-0.71	7.77	27.39	-3.2
16	26.6	3.26	4.23	27.39	-3.2
16	26.6	2.30	3.33	27.39	-3.2
17	27.1	3.37	2.38	27.39	-3.2
18	27.8	4.95	0.97	27.39	-3.2
18	27.8	1.01	2.39	27.39	-3.2
19	28.4	2.44	1.12	27.39	-3.2



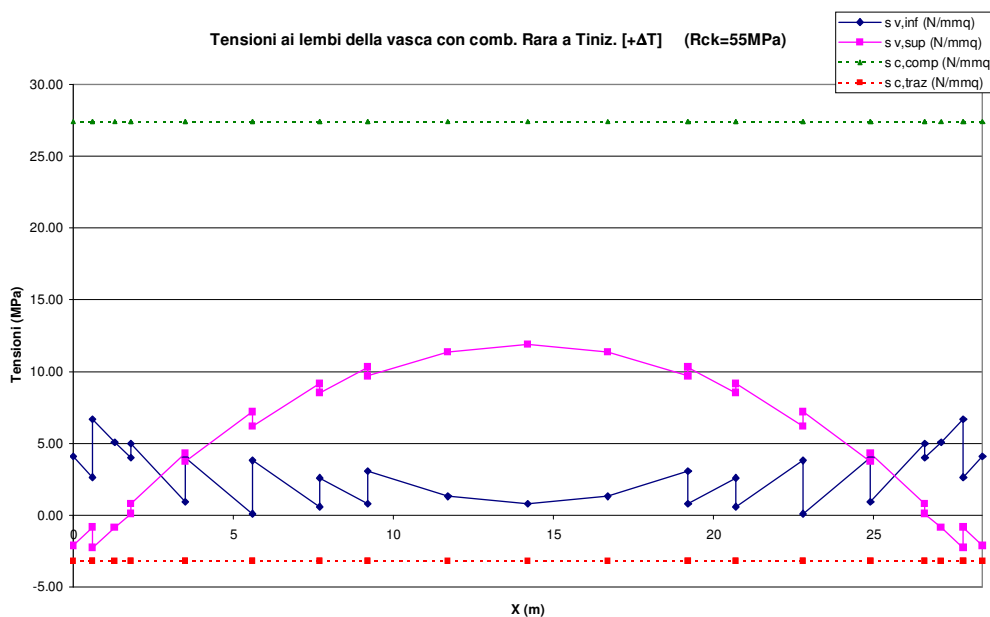
Tensioni ai lembi della soletta con comb. Rara a Tinf. [-ΔT] (Rck=40MPa)					
elem	X (m)	σ s,inf (N/mm ²)	σ s,sup (N/mm ²)	σ c,comp (N/mm ²)	σ c,traz (N/mm ²)
1	0	-1.95	-1.22	19.92	-2.32
2	0.6	-1.71	-0.83	19.92	-2.32
2	0.6	-1.70	-0.81	19.92	-2.32
3	1.3	-1.44	-0.37	19.92	-2.32
4	1.8	-1.25	-0.08	19.92	-2.32
4	1.8	-1.12	0.17	19.92	-2.32
5	3.5	-0.57	1.13	19.92	-2.32
5	3.5	-0.58	1.21	19.92	-2.32
6	5.6	0.00	2.19	19.92	-2.32
6	5.6	-0.01	2.23	19.92	-2.32
7	7.7	0.44	2.97	19.92	-2.32
7	7.7	0.43	3.03	19.92	-2.32
8	9.2	0.66	3.40	19.92	-2.32
8	9.2	0.65	3.43	19.92	-2.32
9	11.7	0.89	3.81	19.92	-2.32
10	14.2	0.94	3.89	19.92	-2.32
11	16.7	0.89	3.81	19.92	-2.32
12	19.2	0.65	3.43	19.92	-2.32
12	19.2	0.66	3.40	19.92	-2.32
13	20.7	0.43	3.03	19.92	-2.32
13	20.7	0.44	2.97	19.92	-2.32
14	22.8	-0.01	2.23	19.92	-2.32
14	22.8	0.00	2.19	19.92	-2.32
15	24.9	-0.58	1.21	19.92	-2.32
15	24.9	-0.57	1.13	19.92	-2.32
16	26.6	-1.12	0.17	19.92	-2.32
16	26.6	-1.25	-0.08	19.92	-2.32
17	27.1	-1.44	-0.37	19.92	-2.32
18	27.8	-1.70	-0.81	19.92	-2.32
18	27.8	-1.71	-0.83	19.92	-2.32
19	28.4	-1.95	-1.22	19.92	-2.32



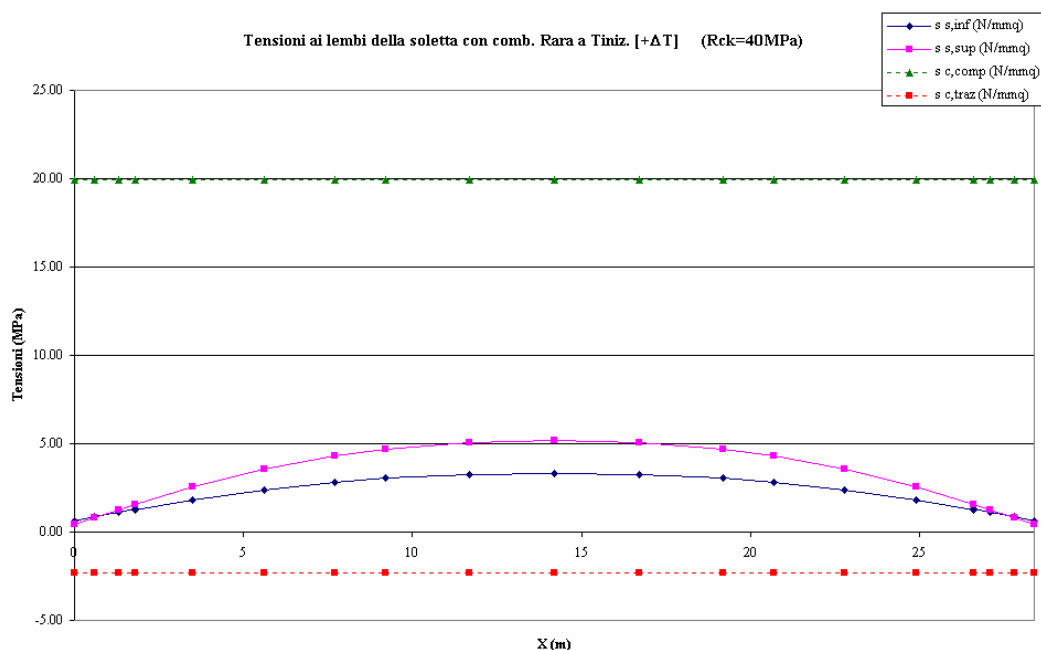
Verifica: peso proprio + precompressione + getto soletta + portati + accidentali + termica (5° tra soletta e vasche)

(a T iniziale)

Tensioni ai lembi della vasca con comb. Rara a Tiniz. [+ΔT] (Rck=55MPa)					
elem	X (m)	σ v,inf (N/mm ²)	σ v,sup (N/mm ²)	σ c,comp (N/mm ²)	σ c,traz (N/mm ²)
1	0	4.08	-2.12	27.39	-3.2
2	0.6	2.63	-0.85	27.39	-3.2
2	0.6	6.68	-2.27	27.39	-3.2
3	1.3	5.07	-0.87	27.39	-3.2
4	1.8	3.98	0.09	27.39	-3.2
4	1.8	4.97	0.78	27.39	-3.2
5	3.5	0.92	4.32	27.39	-3.2
5	3.5	3.99	3.72	27.39	-3.2
6	5.6	0.08	7.18	27.39	-3.2
6	5.6	3.81	6.18	27.39	-3.2
7	7.7	0.58	9.14	27.39	-3.2
7	7.7	2.58	8.52	27.39	-3.2
8	9.2	0.78	10.30	27.39	-3.2
8	9.2	3.05	9.68	27.39	-3.2
9	11.7	1.30	11.35	27.39	-3.2
10	14.2	0.80	11.88	27.39	-3.2
11	16.7	1.30	11.35	27.39	-3.2
12	19.2	3.05	9.68	27.39	-3.2
12	19.2	0.78	10.30	27.39	-3.2
13	20.7	2.58	8.52	27.39	-3.2
13	20.7	0.58	9.14	27.39	-3.2
14	22.8	3.81	6.18	27.39	-3.2
14	22.8	0.08	7.18	27.39	-3.2
15	24.9	3.99	3.72	27.39	-3.2
15	24.9	0.92	4.32	27.39	-3.2
16	26.6	4.97	0.78	27.39	-3.2
16	26.6	3.98	0.09	27.39	-3.2
17	27.1	5.07	-0.87	27.39	-3.2
18	27.8	6.68	-2.27	27.39	-3.2
18	27.8	2.63	-0.85	27.39	-3.2
19	28.4	4.08	-2.12	27.39	-3.2

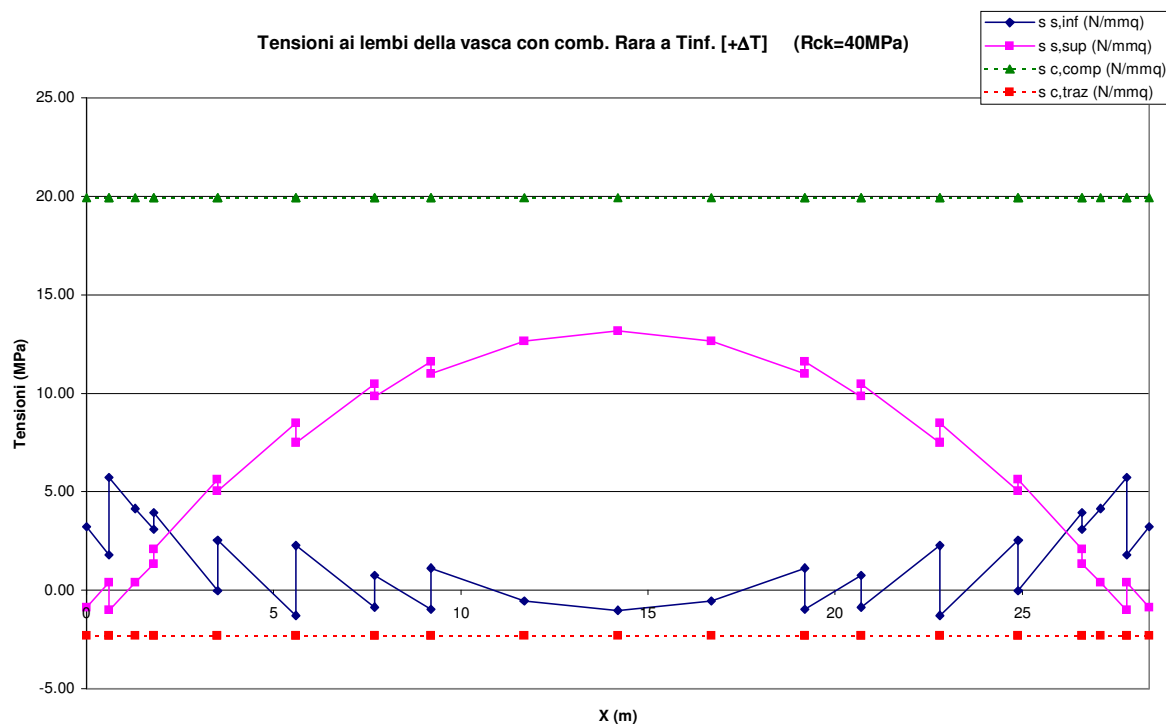


Tensioni ai lembi della soletta con comb. Rara a Tiniz. [+ΔT] (Rck=40MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{s,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{s,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	0.63	0.44	19.92	-2.32
2	0.6	0.87	0.83	19.92	-2.32
2	0.6	0.87	0.84	19.92	-2.32
3	1.3	1.14	1.28	19.92	-2.32
4	1.8	1.32	1.58	19.92	-2.32
4	1.8	1.25	1.57	19.92	-2.32
5	3.5	1.80	2.55	19.92	-2.32
5	3.5	1.80	2.54	19.92	-2.32
6	5.6	2.37	3.54	19.92	-2.32
6	5.6	2.37	3.54	19.92	-2.32
7	7.7	2.81	4.31	19.92	-2.32
7	7.7	2.81	4.29	19.92	-2.32
8	9.2	3.04	4.67	19.92	-2.32
8	9.2	3.04	4.68	19.92	-2.32
9	11.7	3.27	5.08	19.92	-2.32
10	14.2	3.32	5.16	19.92	-2.32
11	16.7	3.27	5.08	19.92	-2.32
12	19.2	3.04	4.68	19.92	-2.32
12	19.2	3.04	4.67	19.92	-2.32
13	20.7	2.81	4.29	19.92	-2.32
13	20.7	2.81	4.31	19.92	-2.32
14	22.8	2.37	3.54	19.92	-2.32
14	22.8	2.37	3.54	19.92	-2.32
15	24.9	1.80	2.54	19.92	-2.32
15	24.9	1.80	2.55	19.92	-2.32
16	26.6	1.25	1.57	19.92	-2.32
16	26.6	1.32	1.58	19.92	-2.32
17	27.1	1.14	1.28	19.92	-2.32
18	27.8	0.87	0.84	19.92	-2.32
18	27.8	0.87	0.83	19.92	-2.32
19	28.4	0.63	0.44	19.92	-2.32

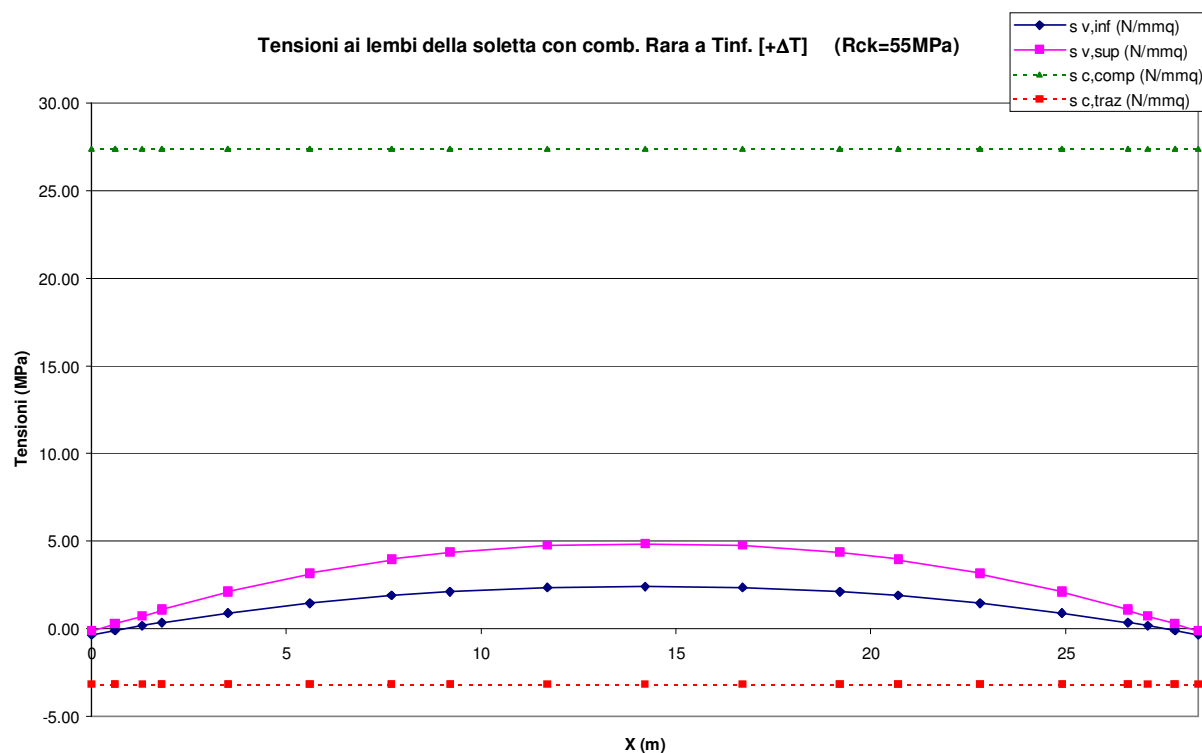


(a T infinito)

Tensioni ai lembi della vasca con comb. Rara a Tinf. [+ΔT] (Rck=40MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{s,inf}$ (N/mm ²)	$\sigma_{s,sup}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mm ²)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mm ²)
1	0	3.22	-0.88	19.92	-2.32
2	0.6	1.79	0.39	19.92	-2.32
2	0.6	5.74	-1.03	19.92	-2.32
3	1.3	4.15	0.38	19.92	-2.32
4	1.8	3.08	1.33	19.92	-2.32
4	1.8	3.95	2.09	19.92	-2.32
5	3.5	-0.02	5.63	19.92	-2.32
5	3.5	2.52	5.03	19.92	-2.32
6	5.6	-1.27	8.48	19.92	-2.32
6	5.6	2.26	7.49	19.92	-2.32
7	7.7	-0.86	10.44	19.92	-2.32
7	7.7	0.74	9.82	19.92	-2.32
8	9.2	-0.98	11.60	19.92	-2.32
8	9.2	1.13	10.98	19.92	-2.32
9	11.7	-0.55	12.65	19.92	-2.32
10	14.2	-1.02	13.18	19.92	-2.32
11	16.7	-0.55	12.65	19.92	-2.32
12	19.2	1.13	10.98	19.92	-2.32
12	19.2	-0.98	11.60	19.92	-2.32
13	20.7	0.74	9.82	19.92	-2.32
13	20.7	-0.86	10.44	19.92	-2.32
14	22.8	2.26	7.49	19.92	-2.32
14	22.8	-1.27	8.48	19.92	-2.32
15	24.9	2.52	5.03	19.92	-2.32
15	24.9	-0.02	5.63	19.92	-2.32
16	26.6	3.95	2.09	19.92	-2.32
16	26.6	3.08	1.33	19.92	-2.32
17	27.1	4.15	0.38	19.92	-2.32
18	27.8	5.74	-1.03	19.92	-2.32
18	27.8	1.79	0.39	19.92	-2.32
19	28.4	3.22	-0.88	19.92	-2.32



Tensioni ai lembi della soletta con comb. Rara a Tinf. [+ΔT] (Rck=55MPa)					
elem	X (m)	$\sigma_{v,inf}$ (N/mmq)	$\sigma_{v,sup}$ (N/mmq)	$\sigma_{c,comp}$ (N/mmq)	$\sigma_{c,traz}$ (N/mmq)
1	0	-0.34	-0.14	27.39	-3.2
2	0.6	-0.10	0.25	27.39	-3.2
2	0.6	-0.10	0.28	27.39	-3.2
3	1.3	0.17	0.71	27.39	-3.2
4	1.8	0.35	1.01	27.39	-3.2
4	1.8	0.34	1.10	27.39	-3.2
5	3.5	0.89	2.06	27.39	-3.2
5	3.5	0.89	2.14	27.39	-3.2
6	5.6	1.46	3.12	27.39	-3.2
6	5.6	1.46	3.16	27.39	-3.2
7	7.7	1.90	3.91	27.39	-3.2
7	7.7	1.90	3.96	27.39	-3.2
8	9.2	2.12	4.33	27.39	-3.2
8	9.2	2.12	4.36	27.39	-3.2
9	11.7	2.35	4.75	27.39	-3.2
10	14.2	2.40	4.83	27.39	-3.2
11	16.7	2.35	4.75	27.39	-3.2
12	19.2	2.12	4.36	27.39	-3.2
12	19.2	2.12	4.33	27.39	-3.2
13	20.7	1.90	3.96	27.39	-3.2
13	20.7	1.90	3.91	27.39	-3.2
14	22.8	1.46	3.16	27.39	-3.2
14	22.8	1.46	3.12	27.39	-3.2
15	24.9	0.89	2.14	27.39	-3.2
15	24.9	0.89	2.06	27.39	-3.2
16	26.6	0.34	1.10	27.39	-3.2
16	26.6	0.35	1.01	27.39	-3.2
17	27.1	0.17	0.71	27.39	-3.2
18	27.8	-0.10	0.28	27.39	-3.2
18	27.8	-0.10	0.25	27.39	-3.2
19	28.4	-0.34	-0.14	27.39	-3.2



9.1.3 Tensione nei cavi di precompressione

Di seguito vengono riportate le tensioni nel baricentro dei cavi di precompressione per i carichi dovuti alle azioni dei permanenti a fenomeni lenti esauriti e per quelle dovute agli accidentali; da questi valori si deduce che globalmente i valori delle tensioni sono a questo punto inferiori allo 0.6 di quella a rottura, valore fissato come massimo da prendere in conto per le verifiche e quindi i valori forniti in precedenza risultano confermati.

Inoltre si nota anche che le tensioni provocate dai sovraccarichi, che sono gli unici che riescono a portare la trave a trazione inferiormente, sono assolutamente irrilevanti rispetto a quelle già presenti in essi, come quelle dovute alla temperatura essendo esse pari al massimo a 1.35 Mpa.

Tensioni nell'acciaio ($t = 18000 \text{ gg}$)

	acc	ΔT	perm
sez1	0.00	-1.35	502.06
sez2	1.70	-1.35	1102.48
sez3	3.60	-1.35	1113.83
sez4	4.89	-1.35	1102.45
sez5	10.55	-1.01	805.12
sez6	15.48	-1.01	1067.77
sez7	18.97	-1.01	925.49
sez8	20.77	-1.01	1049.17
sez9	22.61	-1.01	1061.36
sez10	22.89	-1.01	1065.43

Si specifica che la variazione di tensione attribuita agli accidentali è riferita alla combinazione massima e non al carico di fatica, che è invece pari a meno della metà di quello massimo.

9.2 Verifiche agli SLU impalcato da 30 m

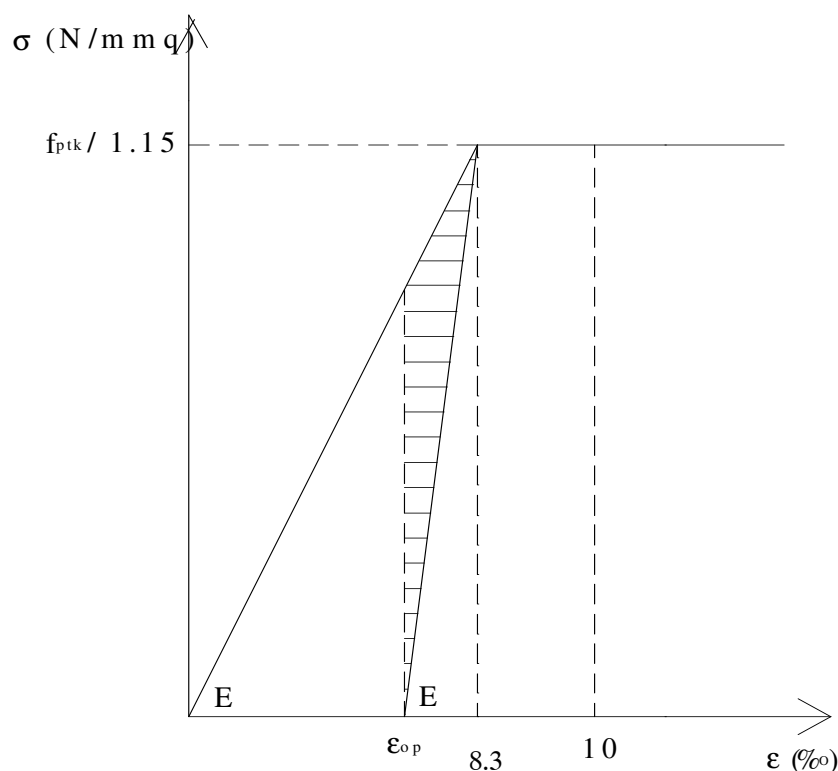
In questo paragrafo vengono riportate le verifiche agli SLU per sollecitazioni di forza normale e momento flettente delle travi a cassoncino (la soletta è stata omogeneizzata al cls delle vasche); tali verifiche sono state realizzate con le sollecitazioni a tempo infinito, ossia considerando già avvenute integralmente le perdite di precompressione.

Le sezioni in cui si sono effettuate le verifiche sono situate rispettivamente ad una distanza di 3.5 m, 7.7 m e 14.2 m dall'asse appoggi.

Nella tabella seguente vengono riportate le sollecitazioni agenti, già moltiplicate per i coefficienti di combinazione.

Caratteristiche di sollecitazione allo S.L.U. (UIII) lungo la trave di bordo												
elem	sez	X (m)	tipo	p-p.	getto	portati	mobili	folla	ritiro differenziale		DT	
				M	M	M	M	M	N	M	N	M
4	5C	3.5	C	-1208.61	-2091.60	-1071.13	-2401.60	-139.05	2203.59	-1189.17	-1521.82	821.25
6	7D	7.7	D	-2138.11	-3825.36	-1959.01	-4374.82	-254.30	2203.59	-1208.12	-1521.82	834.34
9-10	7E	14.2	E	-2845.58	-4839.36	-2478.29	-5263.64	-321.71	2203.59	-1220.45	-1521.82	842.85

Per comprendere il metodo con cui è stata effettuata la verifica ed in particolare il modo in cui è stata trattata l'armatura di precompressione e quella lenta è importante, nel leggere quanto segue, tenere ben presente la figura sotto riportata.



Acciaio armonico $f_{ptk} = 1860 \text{ MPa}$, $E = 195000 \text{ Mpa}$

I cavi di precompressione presenti in ciascuna delle tre sezioni 5C - 7D - 7E, a cadute lente esaurite, sono soggetti ad una deformazione media ϵ_{0p} che risultata pari rispettivamente al 5.91‰ - 5.57‰ - 5.36‰, a fronte di una ϵ di snervamento, che essendo la E dell'acciaio 195000 MPa e la $f_{ptk} / 1.15 = 1617 \text{ MPa}$, è uguale all' 8.3‰. Quindi nel programma di calcolo all'acciaio sono state assegnate come caratteristiche, oltre naturalmente al valore della tensione di snervamento pari a 1617 MPa, un valore della deformazione ultima che coincide con:

$$\epsilon_u = 10\text{‰} - \epsilon_{0p}$$

e un modulo di elasticità iniziale dell'acciaio pari a:

$$E^* = f_{ptk} / 1.15 \times (0.0083 - \epsilon)$$

Per omogeneizzare l'acciaio ordinario con quello di precompressione (è possibile utilizzare un solo tipo di acciaio nel programma di verifica), di cui sono state assegnate le proprietà appena descritte al programma di verifica, si è utilizzata la seguente proporzione:

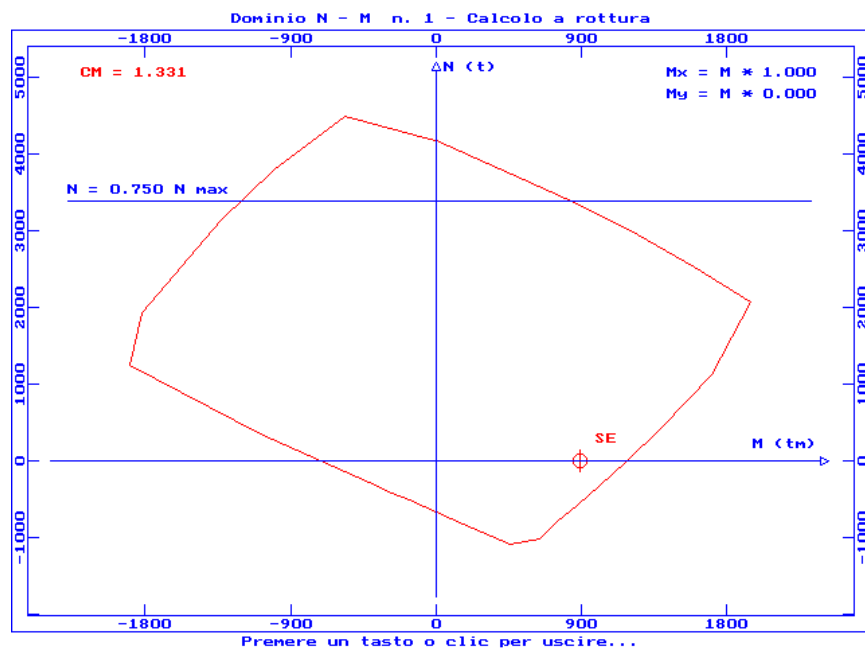
$$A_{omog.} = A_{acc,ord} \times f_y / f_{ptk}$$

che ha portato a trasformare i D14 e D20 presenti nelle sezioni, rispettivamente in D6.73 e D9.62.

Prima di passare alla fase di verifica riportata nelle pagine seguenti, occorre far notare che operando come appena descritto si sta agendo in favore di sicurezza, in quanto con la schematizzazione adottata per le caratteristiche dell'acciaio, nelle verifiche si sottostima una parte, anche se piccola, della quantità di energia che occorre per portarlo a rottura, tale energia corrisponde all'area tratteggiata del diagramma in figura.

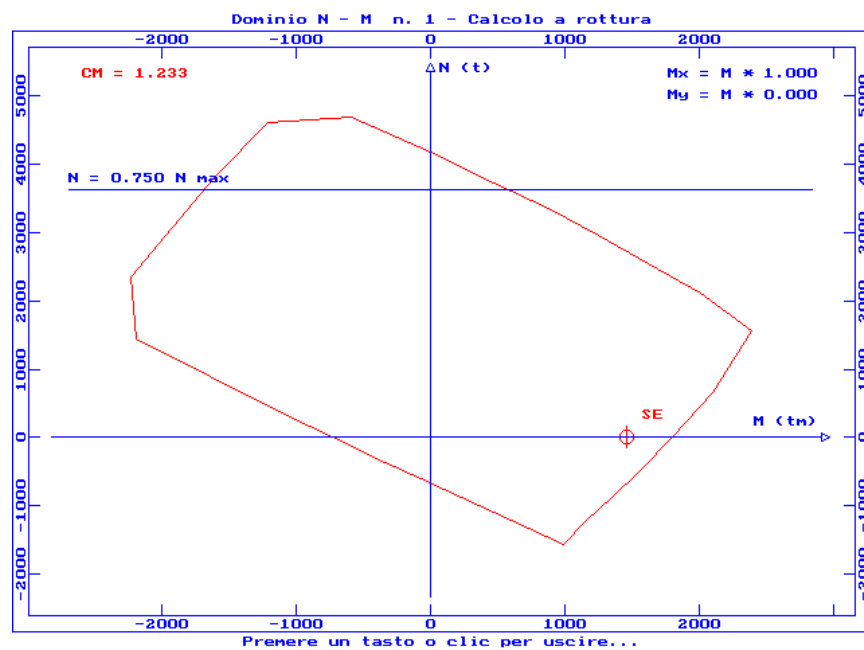
9.2.1 Sezione a 3.5 m

Momento agente 892 t x m.



Coeff. di sicurezza 1.33

9.2.2 Sezione a 7.7m.

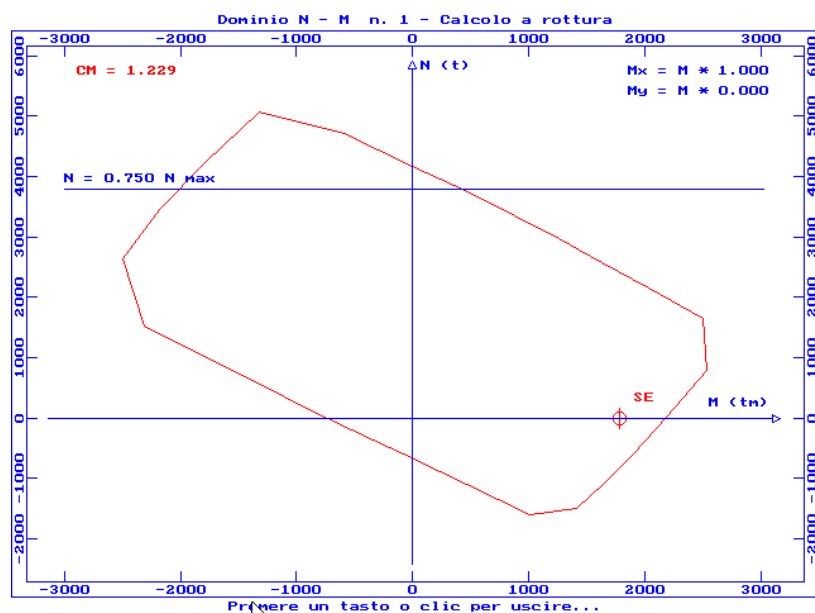


Momento agente 1459 t x m.

Coeff. di sicurezza 1.233

9.2.3 Sezione a 14.2 m.

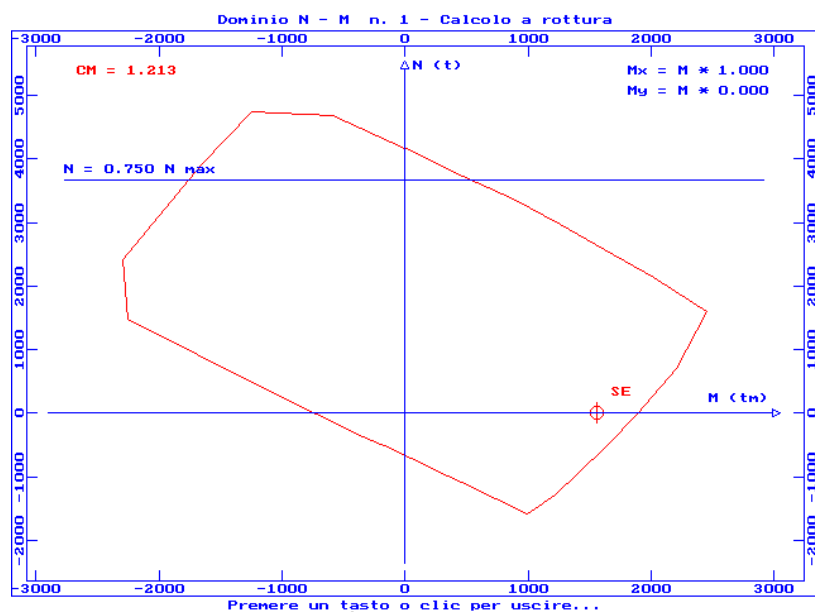
Momento agente 1781 t x m.



Coeff. di sicurezza 1.229

9.3 Verifiche agli SLU impalcato da 25 m

Partendo dai valori agenti sulla trave dell'impalcato da 30 m e utilizzando i coefficienti di conversione calcolati nel capitolo dell'analisi dei carichi, si ottiene per la sezione di mezzzeria della trave di bordo dell'impalcato da 25 m il seguente momento di verifica, $M = 1558$ t x m, quindi si ha:



Coeff. di sicurezza 1.21

9.4 Verifica a taglio sezione ad $x = 1.8$ m

In questo paragrafo viene effettuata la verifica a taglio delle travi in c.a.p. agli SLU; la sezione oggetto di verifica è quella posta ad 1.8 m dall'asse appoggio, che corrisponde all'inizio della sezione corrente (non ringrossata) della vasca in c.a.p. (sez4C). La verifica viene effettuata solamente sull'impalcato da 30 m in quanto essendo le sezioni trasversali delle travi identiche sia per la situazione da 30 m che per quella da 25 m, quest'ultima si troverà sicuramente in condizioni migliori.

9.4.1 Metodo S.L.U.

In questo caso affinché la verifica abbia buon fine devono essere soddisfatte le seguenti relazioni (la simbologia coincide con quella utilizzata dalla normativa italiana del '96):

- Per la verifica dell'armatura trasversale d'anima:

$$V_{sdu} \leq V_{cd} + V_{wd}$$

Dove:

$$V_{sdu} = 1.5 \times 1780 = 2667 \text{ KN}$$

$$V_{cd} = 0.6 \times f_{ctd} \times b_w \times d \times \delta = 0.6 \times (0.7 \times 0.27 \times 55^{2/3} / 1.5) \times 280 \times (0.9 \times 1900) \times 2 / 1000 = 1047 \text{ KN}$$

$$V_{wd} = A_{sw} \times f_{ywd} \times 0.9 \times d / s = 616 \times 373.9 \times 0.9 \times (0.9 \times 1900) / 100 \times 1000 = 3544 \text{ KN}$$

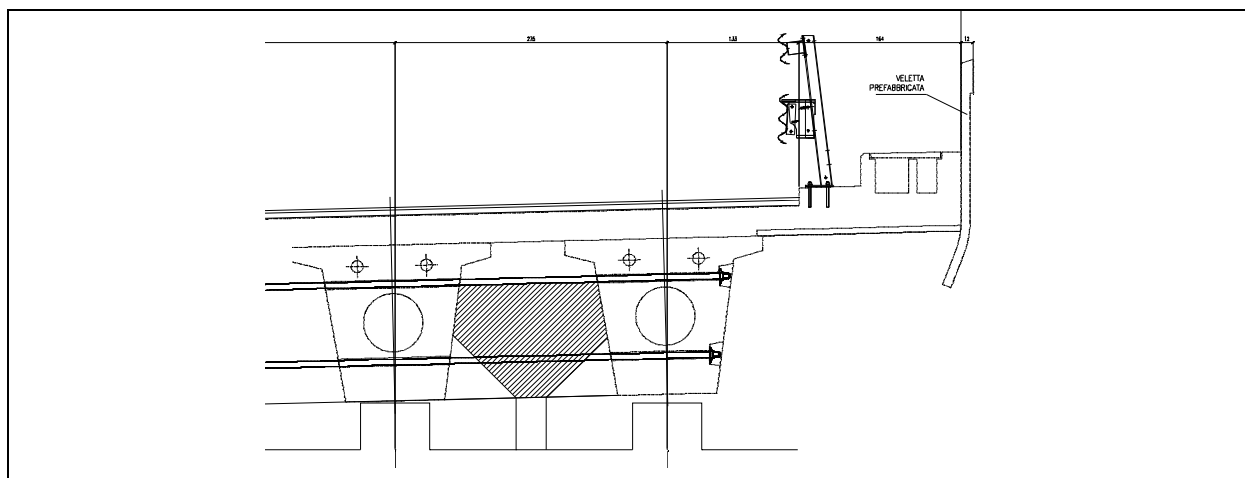
Quindi la verifica risulta soddisfatta.

- Per la verifica del conglomerato:

$$V_{sdu} \leq 0.3 \times f_{cd} \times b_w \times d = 0.3 \times 30.43 \times 280 \times (0.9 \times 1900) / 1000 = 4371 \text{ KN}$$

Anche questa verifica risulta soddisfatta.

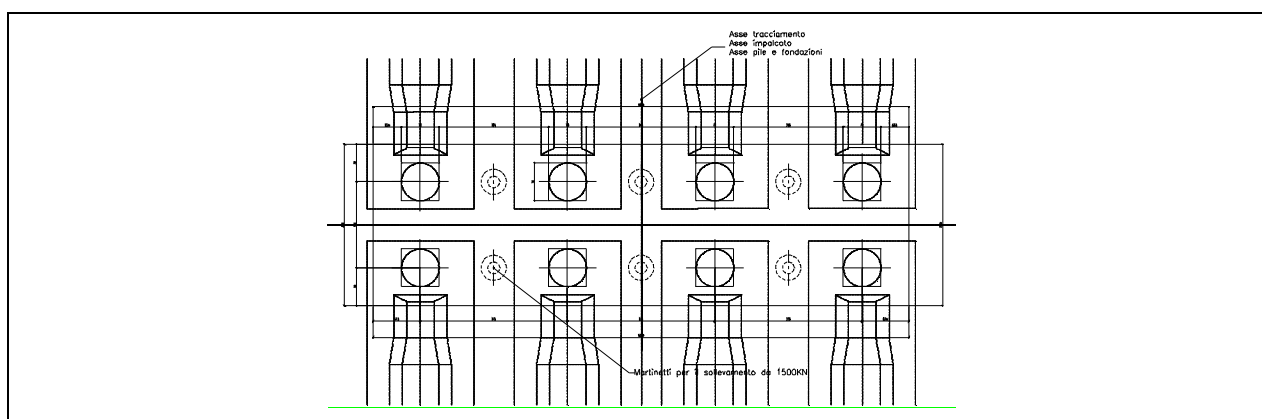
10 Verifica dei trasversi in fase di sollevamento dell'impalcato



Come si può osservare dalla figura precedente, supponendo una distribuzione degli sforzi, causati dalla reazione del martinetto, a 45° all'interno del trasverso, il meccanismo di crisi che può instaurarsi è lo scorrimento tra le superfici a contatto del cassone e del trasverso che viene gettato dopo il posizionamento delle travi. Nel paragrafo seguente viene riportata la verifica per il meccanismo appena menzionato.

10.1 Verifica scorrimento tra la parete del cassone e il trasverso gettato in un secondo momento

Il sollevamento degli impalcati in c.a.p., per permettere la sostituzione degli appoggi, viene effettuato tramite 4 martinetti (caso valido per gli impalcati da 30 m) posizionati in corrispondenza di ogni trasverso di testata, come indicato nella figura seguente.



A seguito di tale posizionamento dei martinetti, risulta che i trasversi precompressi di estremità devono essere in grado di sopportare il taglio dovuto alla trave che rimane a sbalzo in senso trasversale.

Poiché i trasversi sono precompressi trasversalmente e quindi soggetti ad uno stato di coazione orizzontale, si deve verificare che sia soddisfatta la relazione sotto riportata tra la forza orizzontale N di precompressione e quella verticale T dovuta ai carichi permanenti che gravano sulla trave di bordo, la quale è la più sollecitata e si trova a sbalzo durante il sollevamento.

$$T < 0.6 N$$

Si fa notare che il coefficiente di attrito tra due superfici scabre di cls è pari ad uno; quindi assumere come limite superiore del rapporto T/N 0.6 è sufficientemente a favore di sicurezza.

La forza di precompressione, applicata per mezzo di due cavi post-tesi da 7 trefoli 0.6 " Super tirati a $\sigma_{spi} = 1350$ MPa, a fenomeni lenti esauriti e quindi assumendo a favore di sicurezza $\sigma_{sp} = 1100$ MPa, produce una $N = 2325$ KN; il taglio agente è pari alla reazione sull'appoggio laterale dovuta ai permanenti ed è pari a $T = 1243.7$ KN; quindi la relazione precedente risulta soddisfatta essendo $T/N = 0.535$.

Per quanto riguarda il sollevamento dell'impalcato è doveroso precisare che esso deve avvenire contemporaneamente per tutte le campate solidarizzate longitudinalmente.

Inoltre bisogna dire che si sta trascurando, a favore di sicurezza, il contributo che possono offrire il martello della vasca e la soletta continua ad impedire lo scorrimento (infatti affinché sia possibile lo scorrimento dovrebbero anche verificarsi le rotture dei due elementi sopra menzionati), nonché la svasatura delle anime del cassone che introduce un ulteriore fattore di sicurezza.

Per l'impalcato da 25 m la verifica è sicuramente soddisfatta essendo la precompressione trasversale la medesima ma la luce della campata inferiore.

11 Verifiche predalles e soletta.

L'impalcato da 30 m è costituito da una soletta dello spessore costante di 25 cm, che nella fase di getto viene sostenuta da una predalla non tralicciata a perdere dello spessore di 5 cm nella parte centrale e da una predalla tralicciata collaborante dello spessore di 6 cm sui due sbalzi laterali.

11.1 Verifica delle dalle prefabbricate a perdere in fase di getto

Si verifica la predalla più larga in corrispondenza della mezzeria della sezione.

$$L = 1.25 \text{ m}$$

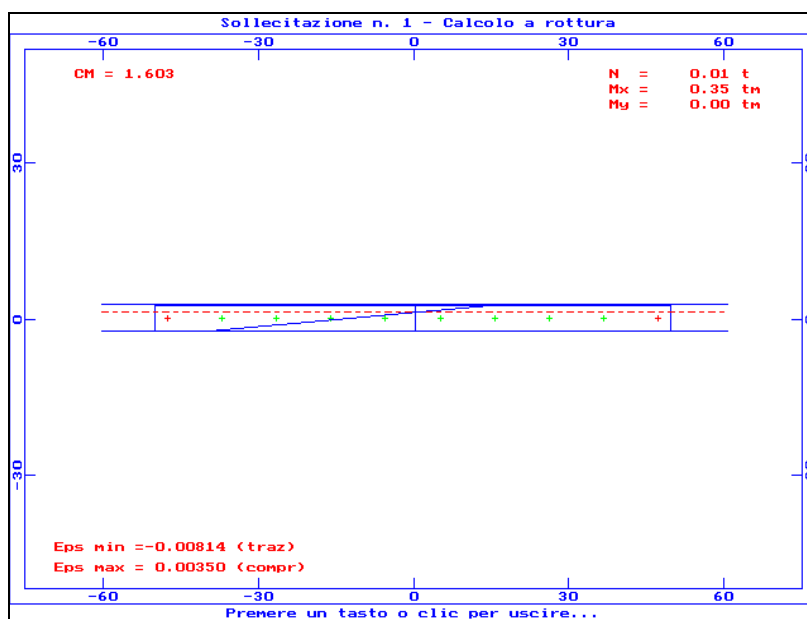
$$P = 7.5 \text{ KN/m}$$

$$M_{\max} = 1/8 * 7.5 * 1.25^2 = 1.46 \text{ KN/m}$$

Armatura: rete elettrosaldata $\phi 8$, maglia 10 x 10

Verifica agli SLU:

$$M_d = 1.5 * 1.46 = 2.20 \text{ KN/m}$$



Coefficiente di sicurezza: $\gamma = 1.603$

Per quanto riguarda invece la predella tralicciata a sbalzo si verifica l'armatura corrente del traliccio nella prima fase di getto; in tale prima fase si gettano soltanto i primi 70 cm di soletta in prossimità dell'appoggio onde evitare la messa in crisi del traliccio. Si ha quindi:

$$L = 0.7\text{m (sbalzo prima fase)}$$

$$M_{\max} = [1/2 \times (0.06 \times 25) \times 2^2] + [1/2 \times (0.19 \times 25) \times 0.7^2] = 3.00 + 1.16 = 4.16 \text{ KNm/m}$$

In questo caso la sezione resistente è costituita dai soli ferri correnti del traliccio, ossia:

$$\text{armatura superiore tesa: } 1\varnothing 12 \text{ passo } 40 \text{ cm} \quad A = 282 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{armatura inferiore compressa: } 5\varnothing 12/\text{metro} \quad A = 565 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{braccio delle forze: } b = 205 \text{ mm}$$

Verifica agli SLE:

$$T=C=(M_{\max}/b) = 416/20.5 = 20.3 \text{ KN}$$

$$\sigma_s = 20300/282 = 72 \text{ Mpa} < \sigma_{s,amm}$$

11.2 Verifica della soletta

Il calcolo degli effetti locali sulla soletta viene effettuato considerando una striscia di soletta di larghezza unitaria.

Ipotizzando in via semplificativa ed in favore di sicurezza che, dato il rapporto degli spessori tra la soletta e l'anima delle travi queste ultime siano assimilabili a cerniere, lo schema di calcolo è quello di una trave continua su otto appoggi (anime dei cassoni) quindi con due sbalzi alle estremità e sette campate intermedie di cui quattro da 1.58 m (tra due anime dello stesso cassone), tre da 1.17 m (tra le anime dei cassoni adiacenti).



11.2.1 Caratteristiche delle sezioni

Per la soletta si considera una striscia di larghezza unitaria per uno spessore netto di 25 cm nella parte centrale, e di 30 cm per gli sbalzi, essendo le predelle tralicciate in questo caso collaboranti. Le caratteristiche inerziali delle sezioni sono rispettivamente qui di seguito riassunte:

$$A = 0.25 \text{ m}^2$$

$$J_{tors} = 4.388\text{E-}03 \text{ m}^4$$

$$I_{x-x} = 1.302\text{E-}03 \text{ m}^4$$

$$I_{y-y} = 0.0208 \text{ m}^4$$

$$A_{tv} = 0.2083 \text{ m}^2$$

$$A_{to} = 0.2083 \text{ m}^2$$

$$A = 0.30 \text{ m}^2$$

$$J_{tors} = 7.30\text{E-}03 \text{ m}^4$$

$$I_{x-x} = 2.25\text{E-}03 \text{ m}^4$$

$$I_{y-y} = 0.025 \text{ m}^4$$

$$A_{tv} = 0.25 \text{ m}^2$$

$$A_{to} = 0.25 \text{ m}^2$$

11.2.2 Azioni

Si riportano nei successivi paragrafi l'entità delle azioni considerate e le ipotesi effettuate nell'applicarle al modello di calcolo.

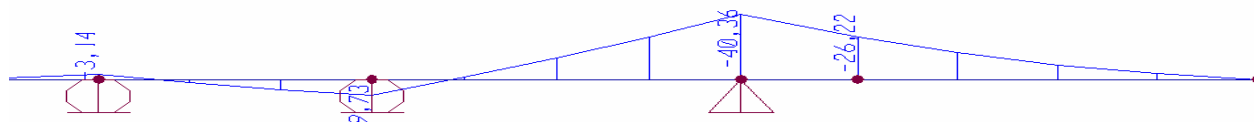
11.2.2.1 Permanenti portati

AZIONI	Peso per unità di misura	Quantità	Peso per unità di lunghezza (KN/ml)
Pavimentazione	2.5 KN/m ²	2.5 x 1 =	2.5 KN/m/m
Sicurvita metallico	2 KN/m	2 x 1 =	2 KN/m
Veletta in c.a. + ringhiera	-	3.25 =	3.25 KN/m
Marciapiede	25 KN/m ³	0.4x 25 x1	10 KN/m/m

I carichi agenti si considerano applicati nella loro reale posizione.

N.B.: Essendo le dalle non collaboranti con la soletta, quest'ultima nel tempo per effetto di fenomeni lenti viene a caricarsi di una quota parte del peso proprio, che assumiamo essere del 50%.

Il diagramma dei momenti flettenti per i permanenti è il seguente:



11.2.2.2 Coefficiente di incremento dinamico

Si pone $\phi = 1.4$

11.2.2.3 Azioni accidentali

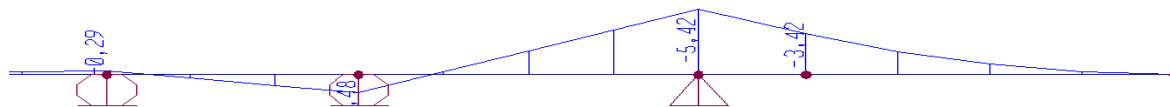
Folla

Si considera l'azione della folla agente sulla larghezza calpestabile di 1.0 m del marciapiede.

AZIONI	FATTORI (p unit. x area)		p (KN/ml)	note
Folla	4 KN/mq	1.00 mq	4.00	

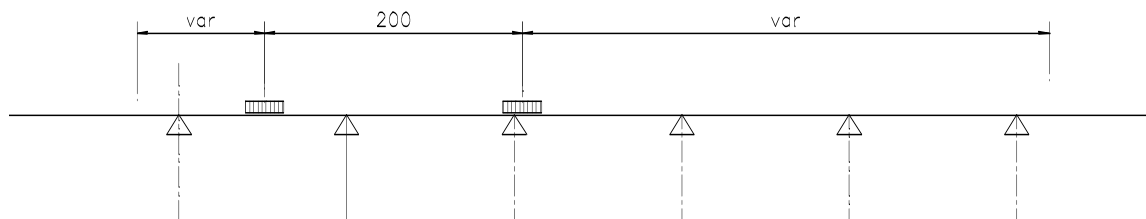
Il carico determinato si considera applicato in modo uniforme sulle due parti a sbalzo non trafficabili.

Il diagramma dei momenti flettenti è il seguente:

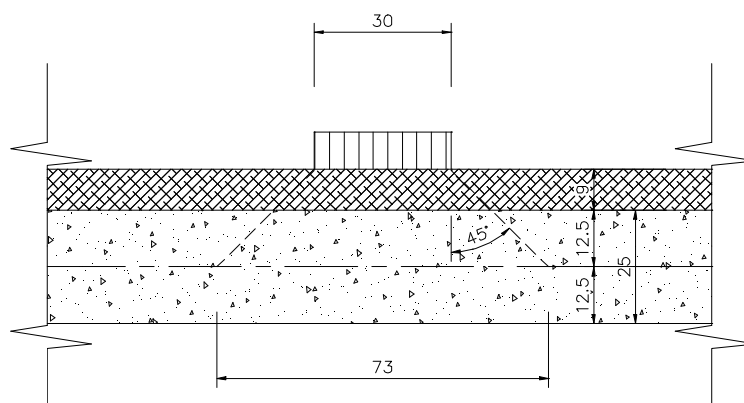


Carico Q1a

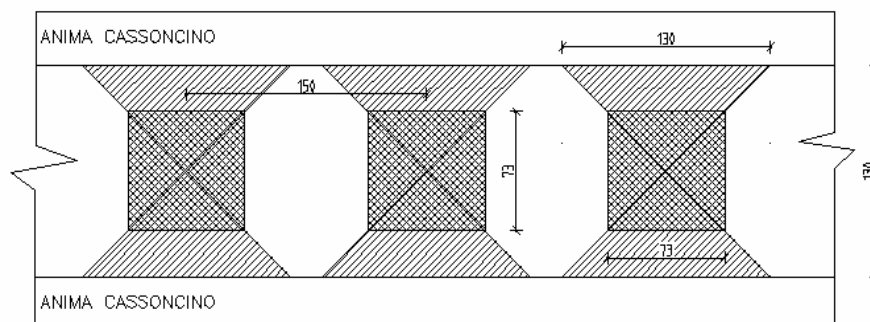
Si considerano le due impronte di carico da 100 kN distanti 2 m (o la singola dove più gravoso) che si muovono trasversalmente al viadotto nella parte bitumata da 10.5 m.



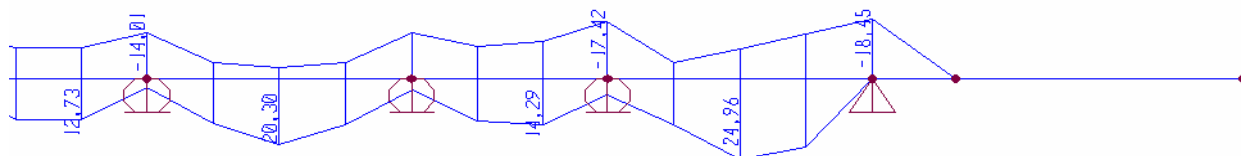
Per l'impronta di carico della normativa (30x30) si considera una ripartizione a 45° nella pavimentazione e nella soletta fino all'asse della stessa ad ottenere una impronta 73x73 quindi con un carico di 187.65 kN/mq (vedi figura seguente).



Ipotizzando che l'impronta di carico così determinata diffonda la sua azione agli appoggi ancora a 45° ed avendo queste un interasse longitudinale di 1.5 m, si può con buona approssimazione, considerare agente su una striscia di soletta di dimensioni unitarie, un'azione pari a $187.65 \times 73/130 = 105.4$ kN/m (vedi figura seguente).

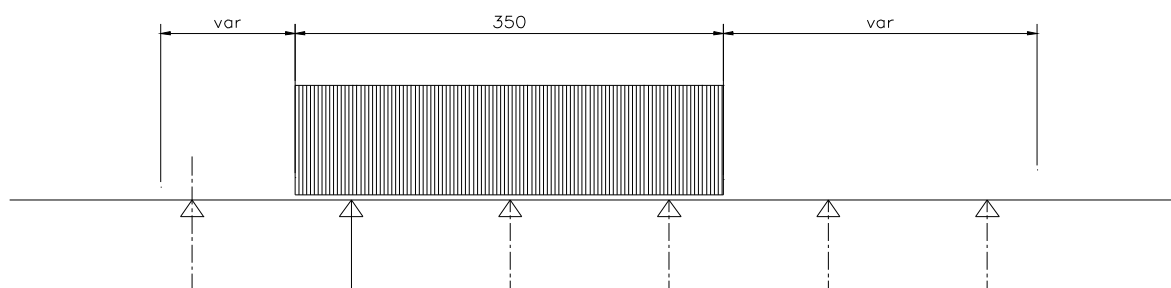


Per tale azione il diagramma involucro dei momenti flettenti, incrementato del coefficiente dinamico, risulta il seguente:

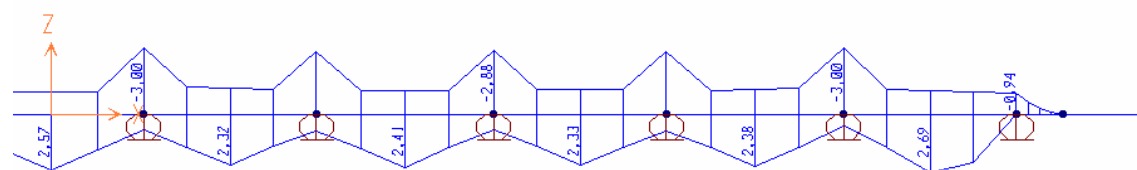


Carico q1b

Carico uniformemente ripartito da 30 KN/m per ogni stesa quindi sempre per una ripartizione a 45° si applica alla soletta un'azione di $30/(3,5+2*0,215)=7,63$ KN/ml nella posizione trasversale più gravosa.



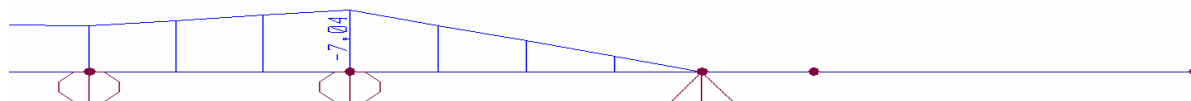
Il diagramma involucro delle sollecitazioni flettenti incrementate del coefficiente dinamico è il seguente:



11.2.2.4 Azioni termiche

Si considera una variazione termica lineare di ± 10 °C tra l'intradosso e l'estradosso della soletta.

L'involuppo delle sollecitazioni flettenti è quello di seguito riportato, simmetrico naturalmente per il gradiente inverso:



11.2.2.5 Azioni dovute al vento

L'azione del vento è assimilata ad un carico orizzontale statico che agisce sui parapetti con un valore pari a 2,5 KN/mq. Si considera nella verifica solo il caso più sfavorevole in cui il vento, agente sull'interno del parapetto, aumenta il momento negativo della soletta in corrispondenza degli sbalzi.

11.2.2.6 Urto di veicolo in svio

Si considera agente sul sicurvia una forza concentrata pari a 45 kN applicata a 0.6 m dal piano viario. Considerando come braccio di tale forza la distanza tra asse soletta e punto di applicazione di questa, si ottiene su una striscia di soletta di dimensioni unitarie, un momento pari a:

$$M = (45 / 1.0) \times 0.83 = 37.3 \text{ kNm / m}$$

11.2.2.7 Coefficienti di combinazione

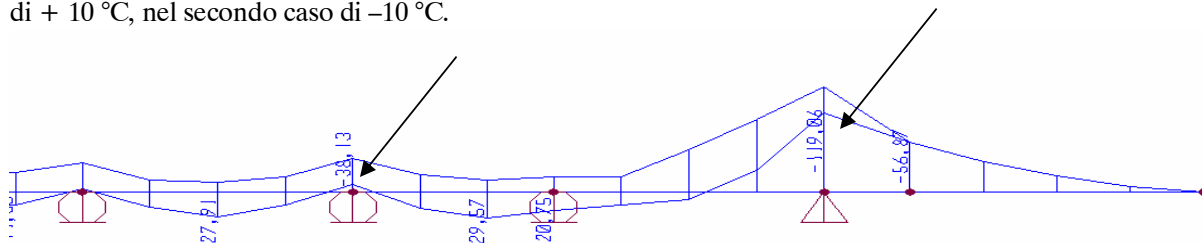
Per gli effetti locali le combinazioni di carico più sfavorevoli risultano essere la UII e la AII.

Azioni	S.L.E.	S.L.U.
Permanenti	1	1.5
Accidentali	1	1.5
Azione termica	1	1.2
Vento	0.4	0.9
Urto	1	1.5

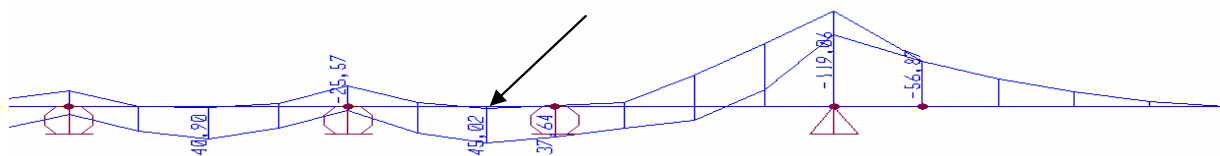
11.2.3 Diagramma involuppo dei momenti flettenti.

SLU

I due diagrammi che seguono mostrano l'involuppo dei momenti flettenti della soletta moltiplicati per i coefficienti di combinazione; nel primo caso il gradiente di temperatura tra l'interno e l'esterno dei cassoni è di + 10 °C, nel secondo caso di -10 °C.



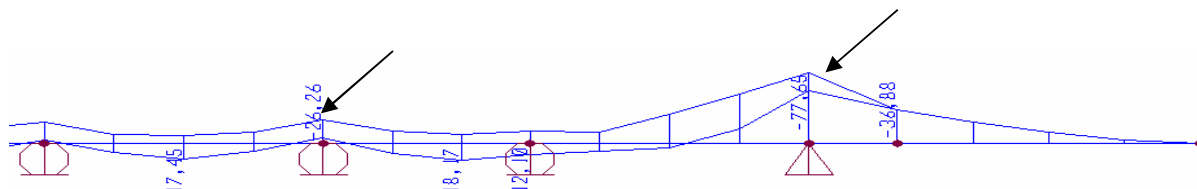
Sono indicati i momenti massimi negativi e positivi espressi in kN-m, e la loro posizione.



Dei diagrammi viene illustrata la parte maggiormente sollecitata per la presenza delle azioni combinate del vento e dell'urto di un veicolo in svio, che sono state applicate come forze concentrate al solo nodo di destra.

I momenti massimi negativi si riscontrano in corrispondenza naturalmente delle travi di bordo:

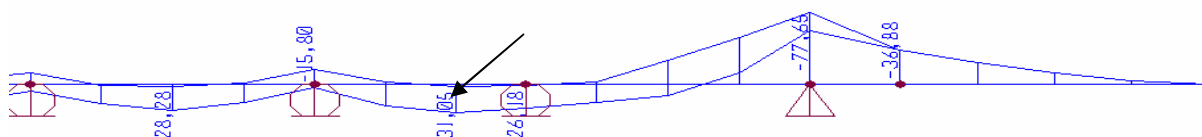
$M_d = -119.06 \text{ KN/m}$ momento massimo negativo in corrispondenza delle travi di bordo.
 $M_d = -38.13 \text{ KN/m}$ momento massimo negativo corrente.
 $M_d = 45.02 \text{ KN/m}$ momento massimo positivo.



SLE

Valgono considerazioni analoghe a quelle svolte per lo SLU, con valori rispettivamente di:

$M_d = -77.65 \text{ KN/m}$ momento massimo negativo in corrispondenza delle travi di bordo.
 $M_d = -26.26 \text{ KN/m}$ momento massimo negativo corrente.
 $M_d = 31.05 \text{ KN/m}$ momento massimo positivo.



11.2.4 Verifiche di sezione ai momenti flettenti.

Dato l'andamento dei momenti si arma la soletta diversamente tra le sezioni correnti e la sezione in corrispondenza dello sbalzo.

Per le sezioni correnti l'armatura di verifica adottata per la soletta si costituisce all'estradosso di uno strato di $\phi 20$ passo 20 per tutta la sua dimensione trasversale e all'intradosso di uno strato di $\phi 20$ passo 20.

In corrispondenza degli sbalzi laterali, dove il momento negativo è predominante l'armatura di verifica si infittisce superiormente portando i ferri posizionati in tale zona a $\phi 20$ passo 10 cm, con in più la predella tralicciata collaborante.

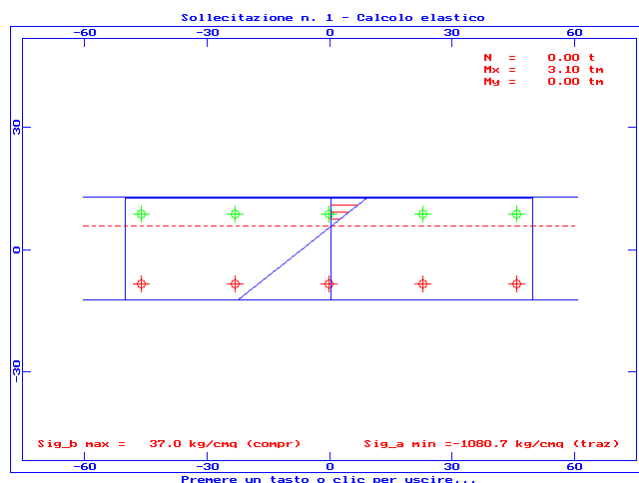
Si riportano nei due successivi paragrafi le verifiche a flessione di sezione nelle condizioni limite ultime e di esercizio nelle sezioni di mezzera e in appoggio più sollecitate.

11.2.4.1 Sezione di mezzzeria (100 * 25 cmq)

Data la simmetria dell'armatura, si provvede a verificare solo la condizione massima in valore assoluto.

Verifica allo SLE

$M_d+ = 31.05 \text{ KN/m}$



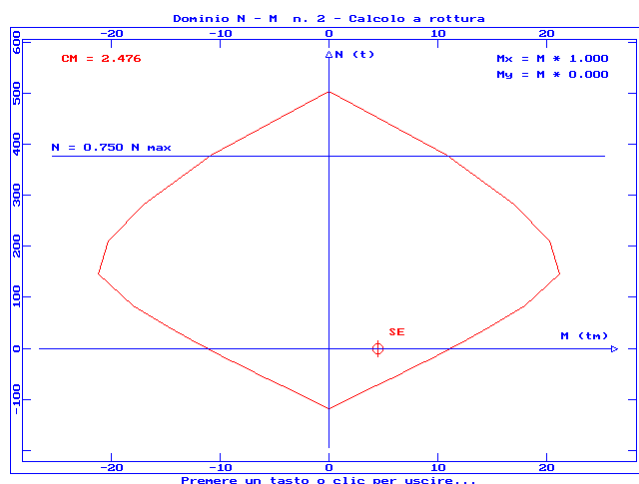
Tensioni di lavoro nei materiali:

$$\sigma_c = 3.70 \text{ N/mm}^2 \leq 14.94 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Verificato}$$

$$\sigma_a = 108.0 \text{ N/mm}^2 \leq 301 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Verificato}$$

Verifica allo S.L.U.

$M_u+ = 45.02 \text{ KN/m}$



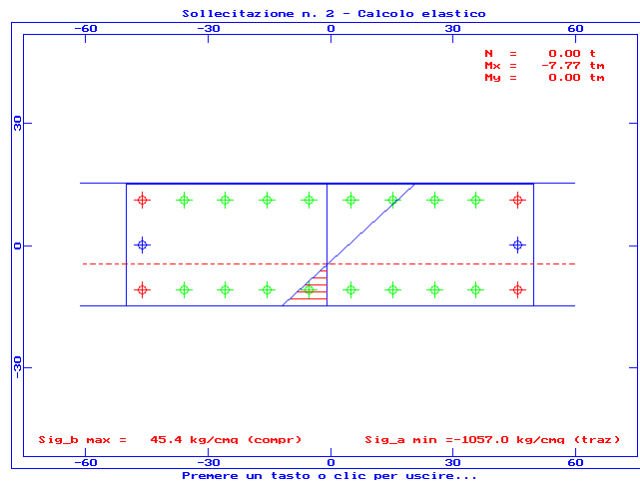
Il coeff.di sicurezza è di 2.476

11.2.4.2 Sezione in appoggio (100 * 30 cmq)

L'armatura presente si costituisce di uno strato di ϕ 20 passo 10 cm sopra e ϕ 20 passo 20 cm sotto più i ferri presenti nella predalla tralicciata.

Verifica allo S.L.E.

Md - = 77.65 KN/m



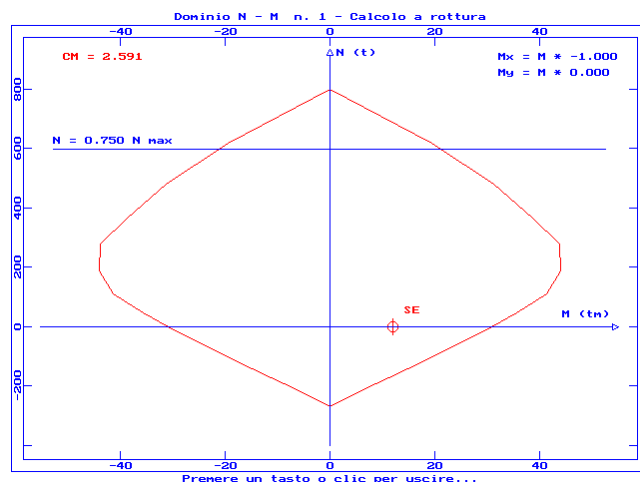
Tensioni di lavoro nei materiali:

$$\sigma_c = 4.5 \text{ N/mm}^2 \leq 14.94 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Verificato}$$

$$\sigma_a = 106.0 \text{ N/mm}^2 \leq 301 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Verificato}$$

Verifica allo SLU:

Mu - = 119.06 KN/m



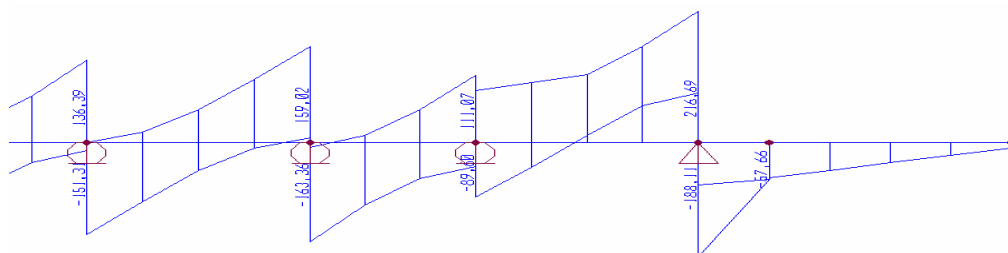
Coefficiente di sicurezza: $\gamma = 2.6$

11.2.5 Verifiche a taglio delle sezioni.

11.2.5.1 Determinazione delle azioni massime agenti:

Nel diagramma seguente vengono illustrate le massime sollecitazioni a taglio agenti nella soletta per la combinazione di carico allo S.L.U. più gravosa.

Si noti che in questo diagramma le reali sollecitazioni agenti sono state sovrastimate a favore di sicurezza avendo considerato nel modello il carico Q_{1a} come puntuale, anziché ripartito su di una impronta di 73x73cm.



$V_{max} = 216.69 \text{ KN}$ all'appoggio

$V_{max} = 163.36 \text{ KN}$ in mezzeria

11.2.5.2 Verifica allo S.L.U. delle sezioni:

Si considera la sezione priva di armatura a taglio in quanto i cavallotti di sostegno dell'armatura superiore sono troppo radi per costituire significativa resistenza mentre i tralicci degli sbalzi non coprono l'altezza utile della sezione (sebbene in effetti portino il peso proprio della soletta)

Pertanto si adotta il seguente criterio:

$$V_{sdu} \leq 0,25 f_{ctd} r (1 + 50 pl) b_w d \delta ; \text{ con chiaro significato dei simboli}$$

Sezione di mezzeria (100 x 25 cm):

Calcolo del taglio resistente

classe cls	Rck	40 Mpa	
resist.caratterist. a trazione cls	fctk_0,05	2,21 Mpa	
coeffic.parziale	γ_c	1,6	
resistenza unitaria a taglio	τ_{rd}	0,35 Mpa	
altezza fonazione	H	0,25 m	
altezza utile fonazione	d	0,23 m	
lunghezza sup. di rottura	bw	1 m	
r	r	1,38	
passo		20 cm	
diametro		20 mm	
strati		2	
percentuale di armatura	pl	1,26 %	limite 2,00%
	Vrd1	174,5974 kN	Vagente 163,36 kN

Sezione di appoggio (100 x 30 cm):

Calcolo del taglio resistente

classe cls	Rck	40 Mpa	
resist.caratterist. a trazione cls	fctk_0,05	2,21 Mpa	
coeffic.parziale	γ_c	1,6	
resistenza unitaria a taglio	τ_{rd}	0,35 Mpa	
altezza fonadazione	H	0,30 m	
altezza utile fondazione	d	0,27 m	
lunghezza sup. di rottura	bw	1 m	
r	r	1,33	
passo		10 cm	
diametro		20 mm	
strati		2	
percentuale di armatura	ρ_l	2,09 %	limite 2,00%
	Vrd1	253,8542 kN	Vagente 216,69 kN

11.3 La soletta dell'impalcato da 25 m.

Essendo la sezione trasversale dell'impalcato da 25 m formata da 3 cassoncini, risultano dei campi di soletta tra la trave interna e quella esterna aventi luci maggiori rispetto a quelle della sezione dell'impalcato da 30 m, quindi per fare in modo che le verifiche continuino ad essere soddisfatte e che la soletta rimanga della stessa altezza di 30 cm, anche perché altrimenti ci sarebbero dei problemi nel collegare campate differenti attraverso una soletta continua, si è deciso in tali campi di modificare il pacchetto da una dalla a perdere di 5 cm più una soletta gettata in opera di 25 cm, che non permetteva di considerare collaborante la dalla, in uno con una dalla tralicciata da 6 cm più una soletta da 24 cm, in modo che tutta la sezione di 30 cm risulti reagente per le verifiche (come già si faceva per gli sbalzi), le quali così facendo non presenteranno problemi.

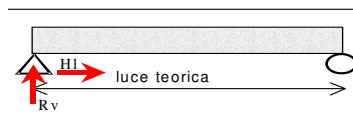
In questo capitolo vengono riportate le reazioni sugli appoggi per entrambi gli impalcati trattati, relative alle azioni statiche verticali e trasversali, per quanto riguarda invece le reazioni legate alle azioni dinamiche e a quelle statiche longitudinali (frenamento e attrito) si rimanda alle relazioni delle sottostrutture dei singoli impalcati, dove verranno quindi anche combinate tutte le reazioni e forniti i dimensionamenti degli appoggi.

La ripartizione dei carichi mobili e della folla tra i diversi appoggi è stata effettuata attraverso i coefficienti di ripartizione di Courbon calcolati in precedenza, per entrambi i tipi di impalcato.

ANALISI DEI CARICHI - Impalcato C.A.P. 30 m			
1) Peso proprio della struttura			
Lunghezza travi		29,4 m	
Luce di calcolo	L	28,4 m	
Larghezza impalcato		13,5 m	
spessore soletta		0,3 m	
sbalzo soletta		0,3 m	
Larghezza trafficabile marciapiede sin.		1 m	
Marciapiede sin.		1,5 m	
Larghezza trafficabile marciapiede des.		1 m	
Marciapiede des.		1,5 m	
Altezza impalcato (piano viabile)		2 m	
retrotrave		0,50 m	
Larghezza bitumato		10,5 m	
Peso di un trasverso	2,3*0,4*25	23,00 KN	
n° totale trasversi		3	
n° cassoncini		4	
Sezione corrente	lunghezza totale della sezione corrente	24,8 m	
	L _c =	0,75 m	
Sezione ringrossata	lunghezza zona ringrossata per una testata d'impalcato (v.fig.a lato)	0,80 m	
	L _r =	1,09 m	
Sezione cava	lunghezza zona piena per una testata d'impalcato	1,00 m	
	A _p =	1,81 m	
	R _v	2795,0 kN	
	Tot peso proprio	5590 KN	
2) Sovraccarichi permanenti portati			
Veletta+ ringhiera	3,25*2	6,50 kN/m	
Marciapiede	(0,4*25)*2	20,0 kN/m	
Sicurezza metallico	2,0*2	4,0 kN/m	
Pavimentazione	10,5*2,5	26,25 kN/m	
	R _v	56,75 kN/m	
		851,3 kN	
3) Carichi mobili			
n° stese possibili		3	
Coefficiente incremento dinamico		1,28	
	Coeff.	Ecc.	
Prima stesa	1	3,5	
Seconda stesa	0,5	0	
Terza stesa	0,35	-3,5	
	1,85		
Pila (F= fissa; M= mobile)	M		
4) Vento			
	qv	2,5 kN/mq	
5) Folla			
	qe	4 KN/mq	
Azioni su una sola campata			
Accidentali		R _v	
	1° stesa	1023,44	
	2° stesa	511,72	
	3° stesa	358,20	
Vento		H _t	
		375	
Folla		R _v	
	solo da un lato	153,28	
		76,64	



peso soletta	3037,5	KN
peso trasversi	69	KN
peso cassoncini	2484	KN

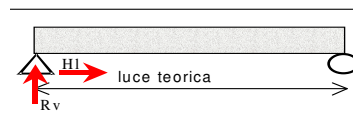


eccentricità del carico rispetto all'asse impalcato

ANALISI DEI CARICHI - Impalcato C.A.P. 25 m			
1) Peso proprio della struttura			
Lunghezza travi		24,4	m
Luce di calcolo	L	23,4	m
Larghezza impalcato		13,5	m
spessore soletta		0,3	m
sbalzo soletta		0,3	m
Larghezza trafficabile marciapiede sin.		1	m
Marciapiede sin.		1,5	m
Larghezza trafficabile marciapiede des.		1	m
Marciapiede des.		1,5	m
Altezza impalcato (piano viabile)		2	m
retrotrave		0,50	
Larghezza bitumato		10,5	m
Peso di un trasverso	4,3*0,4*25	43,00	KN
n° totale trasversi		2	
n° cassoncini		3	
Sezione corrente	lunghezza totale della sezione corrente	19,8	m
	$L_c =$	0,75	m
Sezione ringrossata	lunghezza zona ringrossata per una testata d'impalcato (v.fig.a lato)	0,80	m
	$L_r =$	1,09	m
Sezione cava	lunghezza zona piena per una testata d'impalcato	1,00	m
	$A_p =$	1,81	m
	Rv	2099,6	kN
	Tot peso proprio	4199	KN
2) Sovraccarichi permanenti portati			
Veletta+ ringhiera	3,25*2	6,50	kN/m
Marciapiede	(0,4*25)*2	20,0	kN/m
Sicurezza metallico	2,0*2	4,0	kN/m
Pavimentazione	10,5*2,5	26,25	kN/m
	Rv	56,75	kN/m
	Rv	709,4	kN
3) Carichi mobili			
n° stese possibili		3	
Coefficiente incremento dinamico		1,31	
	Coeff.	Ecc.	eccentricità del carico rispetto all'asse impalcato
Prima stesa	1	3,5	
Seconda stesa	0,5	0	
Terza stesa	0,35	-3,5	
	1,85		
Pila (F= fissa; M= mobile)	M		
4) Vento			
	qv	2,5	kN/mq
5) Folla			
	qe	4	KN/mq
Azioni su una sola campata			
Accidentali			
		Rv	
	1° stesa	951,07	
	2° stesa	475,54	
	3° stesa	332,88	
Vento			
		Ht	
		312,5	
Folla			
		Rv	
	solo da un lato	131,07	
		65,53	



peso soletta	2531,25	KN
peso trasversi	86	KN
peso cassoncini	1582	KN



Sollecitazioni sugli appoggi, impalcato da 30 m.

Azioni verticali al piano appoggi	Rv1	Rv2	Rv3	Rv4
Peso proprio	699	699	699	699
Permanenti portati	213	213	213	213
Sovraccarichi mobili 1 STESA	647	386	126	-135
Sovraccarichi mobili 2 STESE	775	514	254	-7
Sovraccarichi mobili 3 STESE	727	558	389	219
Folla	38	38	38	38
Folla solo lato sinistro	73	37	1	-35
Azioni trasv. al piano appoggi	Ht1		Ht3	Ht4
Vento	0,00	93,75	93,75	0,00

Azioni verticali al piano appoggi	Rv1	Rv2	Rv3
Peso proprio	700	700	700
Permanenti portati	236	236	236
Sovraccarichi mobili 1 STESA	733	317	-99
Sovraccarichi mobili 2 STESE	892	476	59
Sovraccarichi mobili 3 STESE	857	586	316
Folla	44	44	44
Folla solo lato sinistro	75	22	-31
Azioni trasv. al piano appoggi	Ht1	Ht2	Ht3
Vento	0,00	156,25	0,00

12.1 Sollecitazioni sugli appoggi, impalcato da 25 m.

13 Modello di calcolo per l'impalcato da 30 m.

13.1 Premessa

Le analisi sono state condotte mediante apposito modello matematico bidimensionale agli elementi finiti (E.F.), vincolato esternamente in corrispondenza degli apparecchi di appoggio.

Tale modello è stato realizzato ed analizzato con l'ausilio del programma SAP2000©.

13.2 Descrizione del modello agli E.F.

Si tratta di un modello a graticcio piano di travi schematizzato mediante elementi di tipo "frame", studiato per riprodurre in modo adeguato la geometria dell'impalcato, caratterizzando ciascun componente strutturale con l'esatta geometria e con le sue caratteristiche meccaniche, riportate di seguito.

Gli elementi frame che schematizzano i cassoncini sono posizionati ad una distanza di 2.75m, corrispondente a quella tra i baricentri degli apparecchi d'appoggio, e collegati trasversalmente da elementi schematizzanti la soletta ed i trasversi di testata.

Per quanto riguarda i vincoli esterni si sono schematizzati come vincoli fissi in direzione longitudinale i quattro appoggi di un solo allineamento; allo stesso tempo si sono vincolati trasversalmente solo i due appoggi centrali su ciascun dei due allineamenti.

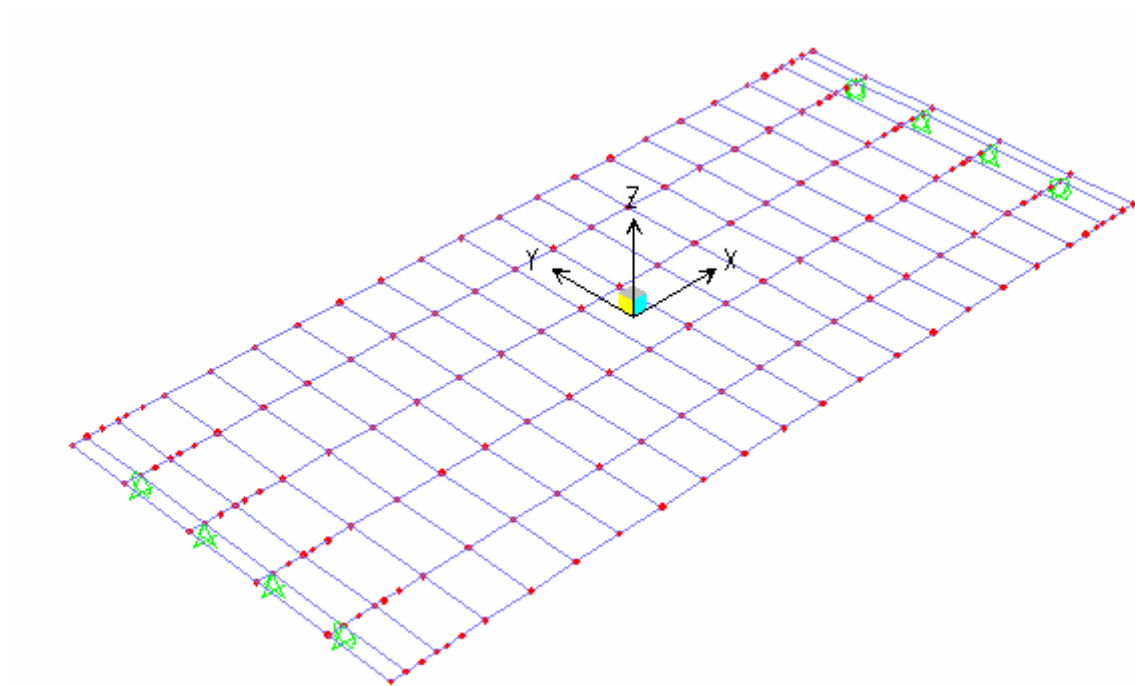
Complessivamente il modello è risultato composto da 272 elementi tipo "frame", per un totale di 168 nodi.

Il riferimento globale del modello è una terna cartesiana destrorsa con l'asse Z verticale e l'asse X orientato secondo le progressive crescenti, per cui l'asse Y risulta orientato verso sinistra guardando le progressive crescenti.

Anche per gli apparecchi di appoggio sono stati considerati riferimenti locali orientati esattamente come quello globale.

Una volta definita la geometria del modello si è proceduto alle analisi mediante l'apposito processore.

La figura seguente mostra il modello appena descritto.



13.2.1 La tipologia di elementi finiti utilizzati

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 sotto forma di forze risultanti applicate alla sezione dell'elemento e sono fornite sempre rispetto al sistema di riferimento locale degli elementi.

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.

13.3 Caratteristiche meccaniche degli elementi.

Per ogni elemento frame adottato nel modello sono state assegnate il materiale e la sezione relativi.

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, la costante torsionale (intorno all'asse 1), il momento d'inerzia alla flessione intorno all'asse 2 e il momento d'inerzia alla flessione intorno all'asse 3 (cioè per la flessione nel piano principale della trave).

Per ogni materiale sono stati forniti il modulo elastico, il coefficiente di Poisson e la densità di peso.

13.3.1 Materiali

Nel nostro caso abbiamo 2 diversi materiali:

conc40 cls Rck40 per la soletta e trasversi

conc55 cls Rck55 per cassoncini

13.3.2 Sezioni.

Abbiamo diverse sezioni, le quali possono però essere raggruppate in tre tipologie:

13.3.2.1 Travi

In base alle variazioni di sezione della trave a cassoncino lungo il suo sviluppo, abbiamo:

trave testata (sezione cava)					
Area		2,632	m ²	YG =	1,164 m
J _{oriz}		26,54	m ⁴	***	
J _{vert}		0,854	m ⁴		
Area taglio	verticale	2,193	m ²	(5/6 area cassoncino)	
	orizzontale	2,193	m ²	(5/6 area cassoncino)	
cost.tors.		0,572	m ⁴		
				$4\Omega^2 / \sum \frac{s_i}{t_i}$	

trave ringrossata					
Area		1,91	m ²	YG =	1,184 m
J _{oriz}		19,29	m ⁴	***	
J _{vert}		0,767	m ⁴		
Area taglio	verticale	0,912	m ²	(area delle sole anime)	
	orizzontale	1,165	m ²	(area soletta + controsoletta)	
cost.tors.		0,547	m ⁴		
				$4\Omega^2 / \sum \frac{s_i}{t_i}$	

trave corrente					
Area		1,57	m ²	YG =	1,2662 m

J_{oriz}		15,86	m^4	***		
J_{vert}		0,645	m^4			
Area taglio	verticale	0,532	m^2	(area delle sole anime)		
	orizzontale	1,055	m^2	(area soletta + controsoletta)		
cost.tors.		0,428	m^4			
					$4\Omega^2 / \sum \frac{s_i}{t_i}$	

trave intermedia						
Area		1,74	m^2	YG =	1,2250	m
J_{oriz}		17,58	m^4	***		
J_{vert}		0,71	m^4			
Area taglio	verticale	0,722	m^2	(area delle sole anime)		
	orizzontale	1,110	m^2	(area soletta + controsoletta)		
cost.tors.		0,501	m^4			
					$4\Omega^2 / \sum \frac{s_i}{t_i}$	

*** Per tener conto dell'effettiva rigidità flessionale nel piano dell'impalcato, il momento d'inerzia orizzontale assegnato ad ogni cassoncino è stato valutato dividendo per 4 l'inerzia dell'intera sezione trasversale dell'impalcato.

13.3.2.2 Soletta

Per garantire una maglia regolare al graticcio e per riprodurre in modo adeguato la geometria dell'impalcato, si sono adottate le seguenti sezioni:

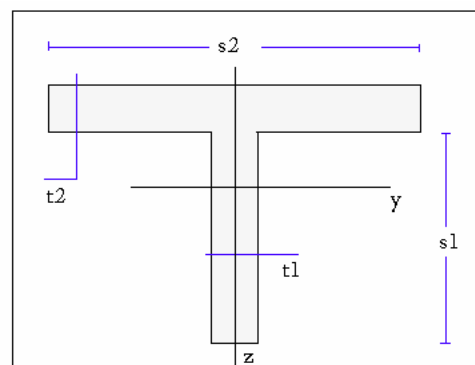
soletta 60cm		(sezione rettangolare: 0.6 * 0.3 mq)				
Area		0,180	mq			
J_{oriz}		175,296	m^4			
J_{vert}		0,0175	m^4			
Area taglio	verticale	0,352	mq	(5/6 area)		
	orizzontale	0,352	mq	(5/6 area)		
cost.tors.		0,0027	m^4			
					$\frac{1}{6}ht^3$	
soletta 160cm		(sezione rettangolare: 1.60 * 0.3 mq)				
Area		0,480	mq			
J_{oriz}		467,458	m^4			
J_{vert}		0,0467	m^4			
Area taglio	verticale	0,940	mq	(5/6 area)		
	orizzontale	0,940	mq	(5/6 area)		
cost.tors.		0,0072	m^4			
					$\frac{1}{6}ht^3$	

13.3.2.3 Trasversi

trasverso di testata

Area		0,940	mq
J_{ORIZ}		0,141	m ⁴
J_{VERT}		1,367	m ⁴
Area taglio	2	1,229	mq
	3	0,485	mq
cost.tors.		0,0386	m ⁴

t1	0,4000 m
t2	0,3000 m
s1	1,6000 m
s2	1,0000 m
Lmodello	2,7500 m
L progetto	1,7000 m



N.B.: Per determinare in modo corretto le caratteristiche inerziali degli elementi di collegamento trasversale bisogna considerare che la lunghezza di questi nel modello di calcolo è pari a $L^* = 2.75$ m, mentre nella realtà la lunghezza del tratto deformabile è pari per la soletta a $L = 1.17$ m e per il trsverso $L = 1.70$ m (distanza misurata in corrispondenza dei baricentri delle anime di due cassoncini adiacenti), quindi il calcolo dell'inerzia flessionale I^* e dell'aria di taglio verticale A^* , da utilizzare nella modellazione devono essere calcolate secondo le seguenti formule:

$$I^* = I_x (L^* / L)^3$$

$$A^* = A_{sup} x (L^* / L)$$

Riguardo ai riferimenti locali degli elementi utilizzati nel modello del ponte, tutti gli elementi rappresentativi delle travi, dei traversi e delle strisce di soletta trasversali, hanno l'asse locale 2 orientato +Z..