



Società Autostrada Tirrenica p.A.
GRUPPO AUTOSTRADALE PER L'ITALIA S.p.A.

**AUTOSTRADA (A12) : ROSIGNANO – CIVITAVECCHIA
LOTTO 2**

TRATTO: SAN PIETRO IN PALAZZI – SCARLINO

PROGETTO DEFINITIVO

**INFRASTRUTTURA STRATEGICA DI PREMINENTE INTERESSE
NAZIONALE LE CUI PROCEDURE DI APPROVAZIONE SONO REGOLATE
DALL' ART. 161 DEL D.LGS. 163/2006**

VL – VIABILITA' INTERFERITE

OPERE D'ARTE MAGGIORI

PONTI E SOTTOVIA (L>10m)

**Nuovi Ponticelli Aurelia Vecchia – Marina di Cecina
al km 1+036,50 ÷ 1+344,75 ÷ 1+945**

Relazione descrittiva e di calcolo impalcato

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Guido Furlanetto Ord. Ingg. Milano N.10984 RESPONSABILE UFFICIO STR	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Alessandro Alfì Ord. Ingg. Milano N. 20015 COORDINATORE GENERALE APS	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURE
---	--	---

RIFERIMENTO ELABORATO										DATA: FEBBRAIO 2011		REVISIONE	
WBS		DIRETTORIO				FILE				SCALA:	n.	data	
		codice	commessa	N.Prog.		unita'	n. progressivo						
VI31-32-33		1	2	1	2	1	2	0	1	STR 1181-			

ingegneria europea		ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	Ing. Guido Furlanetto O.I. Milano N.10984

RESPONSABILE DI COMMESSA Ing. Michele Parrella Ord. Ingg. Avellino N. 933 COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE
---	----------------------------------	---------------------------------

1.	PREMESSA	2
2.	NORMATIVE	4
3.	MATERIALI	5
4.	DATI GENERALI	6
4.1.	ANALISI DEI CARICHI.....	6
5.	IMPALCATO	10
5.1.	UNITA' DI MISURA E CONVENZIONI DI SEGNO	10
5.2.	MODALITA' DI COSTRUZIONE DELL'IMPALCATO	11
5.3.	MODALITA' DI COSTRUZIONE DELLE TRAVI.....	11
5.4.	METODO ED IPOTESI DI CALCOLO	12
5.5.	SISTEMA DI RIFERIMENTO	14
5.6.	DATI GEOMETRICI IMPALCATO	15
5.7.	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE PREFABBRICATA	16
5.8.	RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI.....	18
5.9.	ANALISI DEI CARICHI.....	19
5.9.1.	<i>Valori caratteristici delle azioni permanenti</i>	19
5.9.2.	<i>Valori caratteristici delle azioni variabili</i>	20
5.10.	PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE GENERATI DALLE AZIONI CARATTERISTICHE SULLA TRAVE PREFABBRICATA	21
5.10.1.	<i>Sollecitazioni sulla trave 2</i>	21
5.11.	PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE GENERATI DALLE AZIONI CARATTERISTICHE SUL TRAVERSO.....	23
5.12.	REAZIONI MASSIME AGLI APPOGGI CONDIZIONI STATICHE.....	26
5.13.	AZIONE SISMICA.....	28
6.	VERIFICHE TRAVE	30
6.1.	DATI E CARATTERISTICHE TRAVE.....	30
6.2.	COMBINAZIONI.....	32
6.3.	VERIFICHE FLESSIONALI	34
6.4.	VERIFICHE A TAGLIO	34
6.5.	VERIFICHE A FESSURAZIONE	34

1. PREMESSA

Le verifiche di seguito riportate sono relative al cavalcavia a quattro travi da realizzare nell'ambito del progetto definitivo della A12 - Lotto 2 - Tratto S.Pietro in Palazzi - Scarlino.

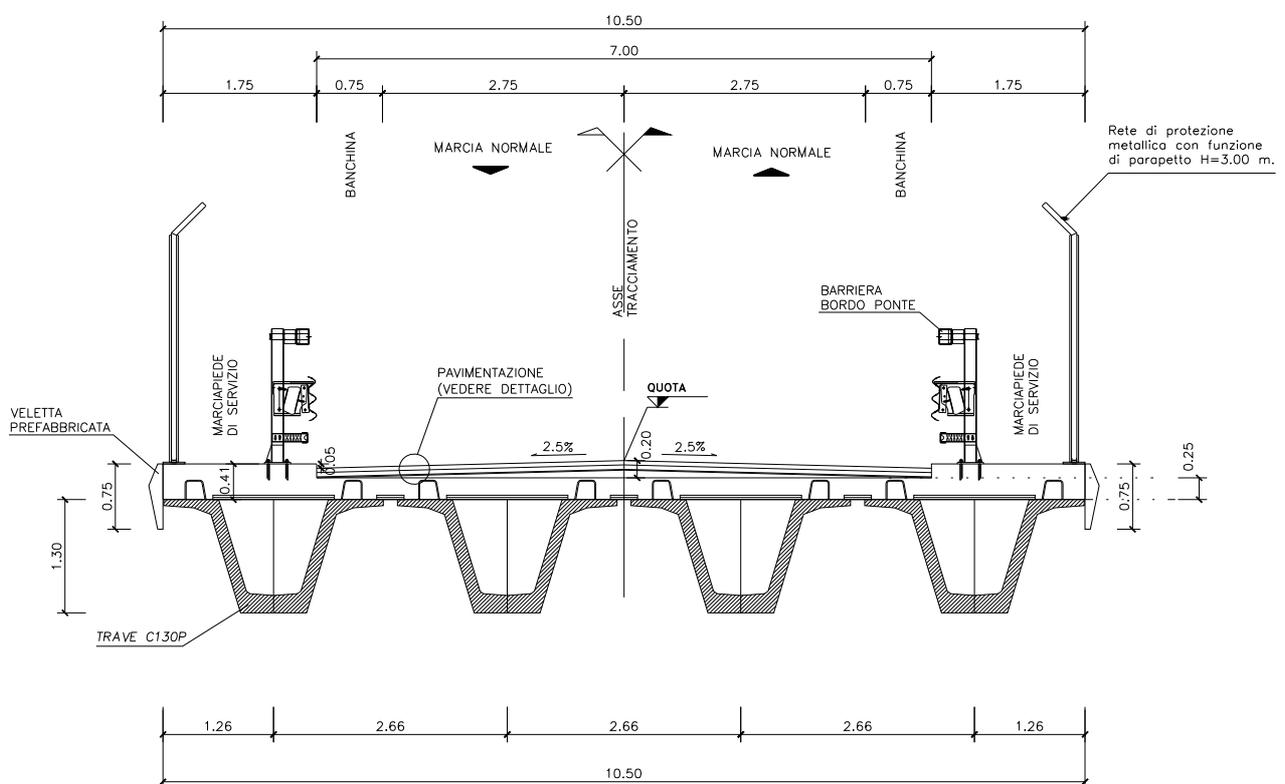
La tipologia di impalcato è realizzata con quattro travi a cassoncino H130 precomprese con trefoli da 0.6", atti a sopportare i carichi di cui al Testo Unico, NTC 13/02/2008 per ponti di prima categoria.

L'impalcato poggia su travi cuscino poggianti su pali \varnothing 1200.

Lo schema di vincolo prevede appoggi fissi e mobili unidirezionali trasversali sulla spalla con il paramento più basso; multidirezionali e mobili unidirezionali longitudinali sull'altra spalla.

Si analizzano le strutture dei ponticelli VI31-VI32-VI33.

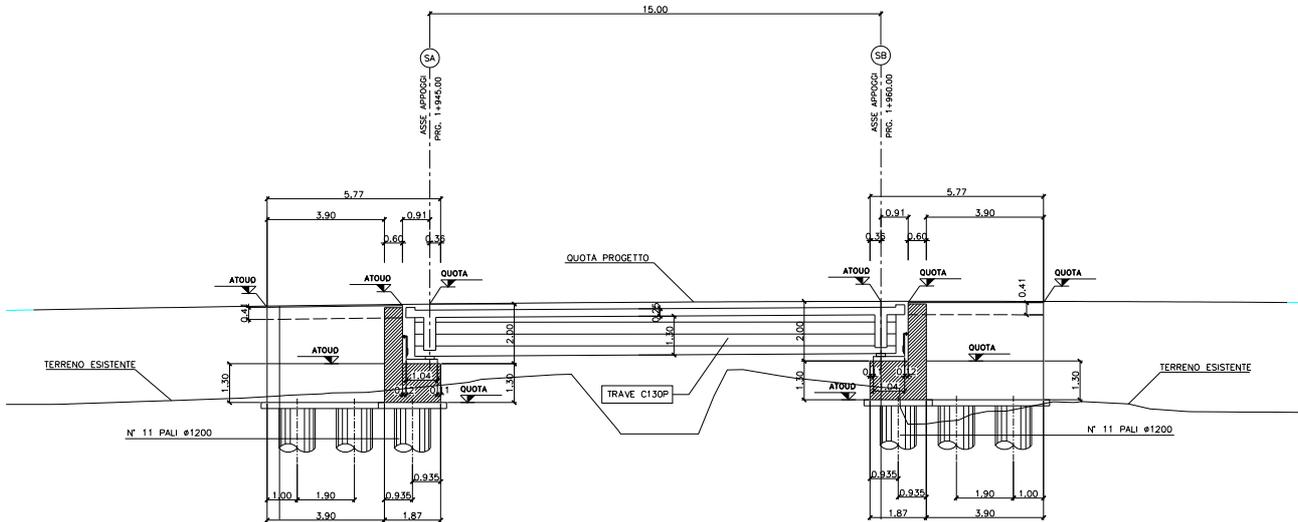
SEZIONE TRASVERSALE IMPALCATO



Sezione trasversale

SEZIONE LONGITUDINALE IN ASSE TRACCIAMENTO

SCALA 1:100



Sezione longitudinale tipo

2. NORMATIVE

Le verifiche sono state eseguite secondo i metodi classici della scienza delle costruzioni e nel rispetto della seguente normativa:

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed 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'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

3. MATERIALI

Per l'esecuzione dell' opera è previsto l'impiego dei seguenti materiali:

TABELLA MATERIALI

CALCESTRUZZO :

MAGRO DI FONDAZIONE (non strutturale) :

– Classe di resistenza C12/15

PALI :

– Classe di resistenza C25/30

– Classe di esposizione XC2

FONDAZIONI SPALLE, E MURI :

– Classe di resistenza C28/35

– Classe di esposizione XC2

ELEVAZIONI SPALLE :

– Classe di resistenza C32/40

– Classe di esposizione XC4

SOLETTA IN C.A. E MARCIAPIEDI :

– Classe di resistenza C35/45

– Classe di esposizione XC4

BAGGIOLI :

– Classe di resistenza C32/40

– Classe di esposizione XC4

PREDALLE :

– Classe di resistenza C35/45

– Classe di esposizione XC4

TRAVI PREFABBRICATE IN C.A.P. :

– Classe di resistenza C45/55

– Acciaio $f_{tk} \geq 1900$ MPa

$f_{p(i)k} \geq 1700$ MPa

ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE :

– Acciaio in barre nervate tipo B450C

$f_{yk} \geq 450$ MPa

$f_{tk} \geq 540$ MPa

COPRIFERRO per pali trivellati: 60.0 mm (ϕ PALO>600mm)

COPRIFERRO per fondazioni, elevazioni, soletta: 35.0 mm

COPRIFERRO per travi prefabbricate: 30.0 mm

N.B. MATERIALI CONFORMI ALLE NORME:

UNI EN 206-1: 2006

UNI EN 11104: 2004

UNI EN ISO 15630: 2004

4. DATI GENERALI

4.1. ANALISI DEI CARICHI

- Pesì Propri

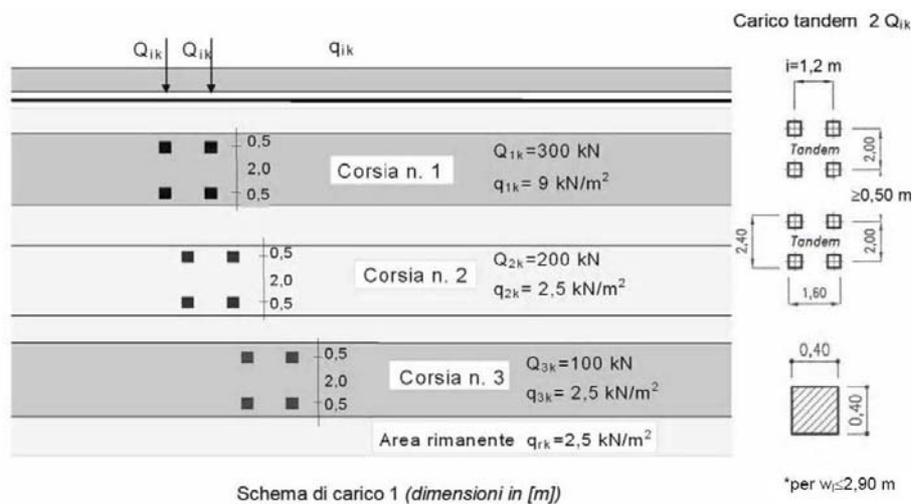
Per i pesì propri e permanenti si rimanda all'analisi dell'impalcato.

- Carico Mobile

Le Norme Tecniche per le costruzioni TU 2008 prevedono azioni variabili da traffico, comprensive degli effetti dinamici, definite da specifici schemi di carico disposti su corsie di larghezza pari a 3,00 m.

La sede stradale può ospitare tre corsie di larghezza convenzionale e una parte rimanente di estensione variabile in cui si prevede il solo carico distribuito, come di seguito specificato.

Lo schema adottato è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in figura. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa.



- Frenatura

L'entità della forza è un'aliquota del carico gravante sulla corsia 1 per lo schema di carico 1 di normativa.

$$F_{fren} = 180 \text{ KN} \leq q_3 = 0.6 (2Q_{1k}) + 0.10 q_{1k} w_1 L \leq 900 \text{ KN}$$

Le azioni da frenatura sono applicate alla quota del piano viabile; si considera, quindi, il momento longitudinale prodotto al piano di appoggio.

- Vento

Le azioni da vento sono state valutate in base ai dati di progetto riportati nel seguito.

Caratterizzazione del sito	
Ubicazione	Altezza del sito sul quale è posta la costruzione = m 51
ZONA 3 - Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	
Classe di rugosità del terreno	
B - Aree urbane non di classe A, suburbane, industriali e boschive	Distanza dalla costa = km
I parametri per la valutazione:	
della velocità di riferimento sono:	
$V_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]
27	500
del coefficiente d'esposizione sono:	
Kr	Z0 [m]
0.20	0.10
Zmin [m]	
5.00	
Lato esposto all'azione normale = m	
Lato esposto all'azione d'attrito = m	
Valore del coefficiente di forma Cp (in pressione): 1.2	
Valore del coefficiente di forma Cp (in depressione): 1.2	
Valore del coefficiente di attrito Cf:	
Coefficiente d'esposizione $C_e = 1.7$	
La velocità di riferimento è di $[V_b] = \text{m/s}$ 27	
La pressione cinetica di riferimento è di $[q_b] = \text{N/m}^2$ 456	
Valore del coefficiente di topografia Ct: 1	
Valore del coefficiente dinamico Cd: 1	
Legenda:	
H = Altezza del sito	Aa = Azione d'attrito
C_e = Coefficiente d'esposizione	LaN = Lato in azione normale
Pv = Pressione del vento	LaA = Lato in azione d'attrito
Dpv = Depressione del vento	Ft = Forza totale a ml

Risultati:							
H	C_e	Pv	Dpv	Aa	LaN	LaA	Ft a ml
51	1.70	929.48	929.48	0.00	0.00	0.00	0

In sede di calcolo si assume comunque un valore pari a 2.50 kN/mq

- Centrifuga

Nei ponti con asse curvilineo di raggio R l'azione centrifuga corrispondente ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente indicato nella tabella, fornita al cap. 5 del testo unico, di seguito riportata, essendo $Q_v = \sum 2Q_{ik}$ il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte.

Il carico concentrato dovuto all'azione centrifuga agisce in direzione normale all'asse del ponte ed è applicato a livello della pavimentazione.

Tabella 5.1.III - Valori caratteristici delle forze centrifughe

Raggio di curvatura [m]	Q_4 [kN]
$R < 200$	$0,2 \cdot Q_v$
$200 \leq R \leq 1500$	$40 \cdot Q_v / R$
$1500 \leq R$	0

In tal caso le azioni da forza centrifuga sono nulle poiché l'impalcato non è in curva.

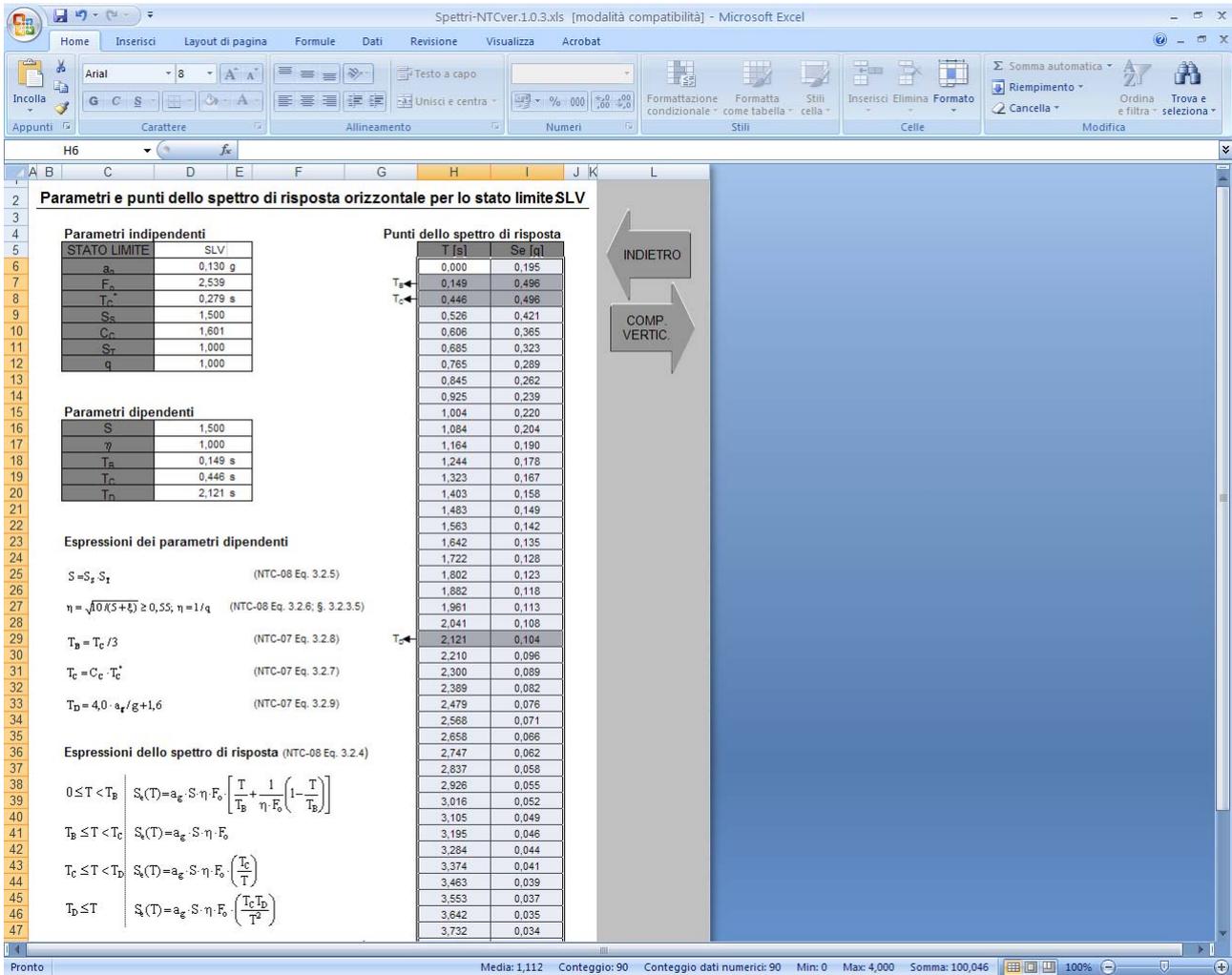
- Sisma

Nel seguito si riportano i valori adottati per la determinazione dello spettro di progetto.

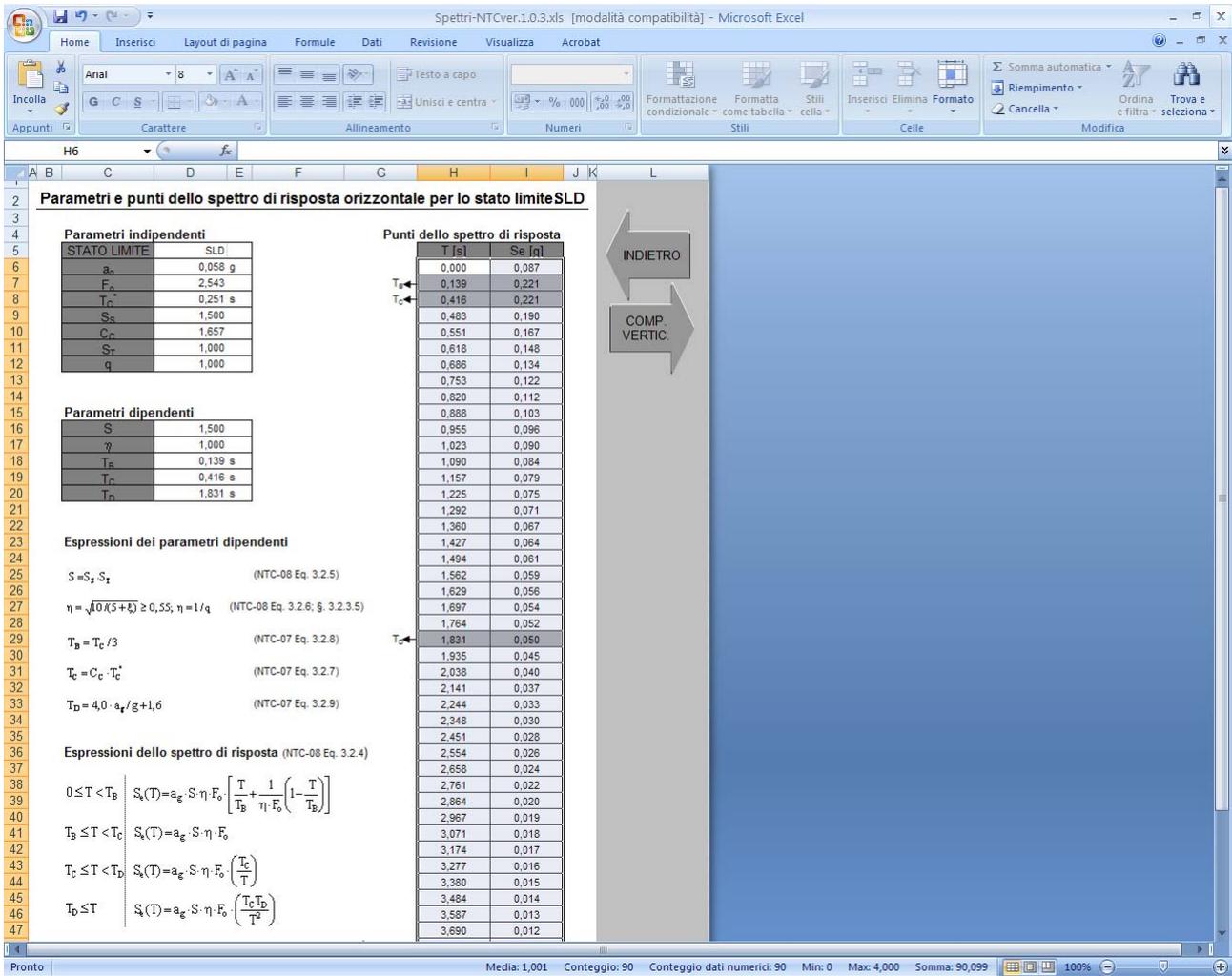
Comune	Cecina
Vita nominale opera	> 50 anni
Classe d'uso: IV →	$C_u = 2$
Categoria di sottosuolo	C

Categoria Topografica	T	
Rapporto quota sito,rilievo topografico h/H	0	
q, fattore di struttura	1.0	(per SLU)
ξ, fattore di smorzamento	5%	(per SLE)

Si ottengono i seguenti spettri relativamente ai diversi stati limite considerati.



1 Spettro allo SLV



2 Spettro allo SLD

5. IMPALCATO

5.1. UNITA' DI MISURA E CONVENZIONI DI SEGNO

Ove non sia diversamente specificato, le grandezze contenute nella presente relazione sono espresse nelle seguenti unità di misura:

lunghezza : m
forza : KN

I diametri delle barre di armatura lenta sono sempre espressi in millimetri, i diametri dei trefoli di precompressione sono invece espressi in pollici (=25.4 mm).

I carichi agenti sull'impalcato sono, come è naturale assumere, positivi se diretti verso il basso.

Le tensioni sono positive se di compressione nel calcestruzzo, e positive se di trazione per quanto riguarda l'acciaio.

5.2. *MODALITA' DI COSTRUZIONE DELL'IMPALCATO*

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e getto in opera di traversi e soletta collaboranti.

Le travi sono autoportanti, non necessitano quindi di alcun rompitratta o puntellamento provvisorio durante l'esecuzione dell'impalcato.

Si distinguono due fasi successive di lavoro:

PRIMA FASE

Le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono da sole al peso proprio ed a quello della soletta gettata in opera.

SECONDA FASE

Il sistema misto travi precomprese e soletta gettata in opera, divenuto solidale dopo la maturazione del calcestruzzo, resiste al peso delle sovrastrutture e dei carichi accidentali.

5.3. *MODALITA' DI COSTRUZIONE DELLE TRAVI*

Le travi vengono costruite in uno stabilimento di prefabbricazione e successivamente trasportate a piè d'opera e varate.

Il sistema di precompressione è del tipo a fili aderenti.

I trefoli che costituiscono l'armatura di precompressione vengono tesati sino alla tensione σ_{spi} prevista nella presente relazione.

Disposta l'armatura lenta per gli sforzi di taglio (staffe), ultimata la tesatura e fissata la cassetatura, si procede al getto del calcestruzzo.

La maturazione del calcestruzzo avviene con ciclo termico a vapore opportunamente tarato in funzione del mix-design e della resistenza R_{ckj} che è richiesta al momento del taglio dei trefoli.

Una volta raggiunta la resistenza R_{ckj} si procede all'allentamento delle armature di precompressione ed allo stoccaggio del manufatto.

5.4. METODO ED IPOTESI DI CALCOLO

L'impalcato viene realizzato con travi in semplice appoggio collaboranti tra loro grazie all'azione della soletta.

Esso si presenta quindi come una lastra appoggiata sui lati opposti e che presenta una forte ortotropia.

Per la ricerca delle sollecitazioni nei vari elementi componenti l'impalcato si ricorre al metodo di Massonnet che permette, mediante l'ausilio di opportuni coefficienti, di risolvere la ripartizione dei carichi e conoscere le sollecitazioni.

Questo metodo fu proposto da Guyon nel 1946 per un grigliato di travi prive di rigidità torsionale, ripreso da Massonnet nel 1950 per tener conto della torsione, infine esteso da Bares; questi ultimi Autori hanno sistemato in modo definitivo la materia in un libro ("Les calculs des grillages de pontres ed dalles orthotropes selon la Méthod Guyon - Massonnet - Bares", Dunod, Parigi, 1966) che fornisce un gran numero di tabelle direttamente utilizzabili dal progettista e che ne ha agevolato una larga diffusione.

Nel grigliato ortotropo il procedimento di Massonnet trae origine dallo studio di un graticcio appoggiato in corrispondenza degli estremi delle travi principali longitudinali e libero sugli altri estremi; graticcio che si suppone equivalente ad una piastra ortotropa.

Se si osserva un graticcio di travi si constata che si tratta di una struttura a travi bidirezionali a direzioni per lo più ortogonali.

Il comportamento dell'impalcato dipende essenzialmente dalle rigidità flessionali e torsionali dei due ordini di travi e dalla loro reciproca influenza.

Si può, pertanto, pensare di assimilare l'impalcato ad una piastra ortotropa nella quale la caratterizzazione di comportamento nelle due direzioni sia data dalle rigidità flessionali e torsionali anziché dai legami costitutivi dei materiali.

Il metodo di Massonnet considera l'impalcato reale come una lastra rettangolare di larghezza teorica

$$2 \times B = n \times i$$

$n = n.\text{travi}$, $i = \text{interasse travi}$

e lunghezza pari alla luce di calcolo; tiene conto della differente deformabilità della lastra in senso longitudinale e in senso trasversale.

Si considera una condizione di carico

$$p(x;e) = P_m \text{ sen } (\pi x/l)$$

variabile con legge sinusoidale ed agente parallelamente all'asse x con eccentricità e; per tale carico la deformata ha una legge $w(x,y;e)$ che si ottiene integrando l'equazione di Huber. Esprimendo in serie di Levy, la deformata assume la forma

$$w(x,y;e) = w(1/2,y;e) \text{ sen } (\pi x/l)$$

considerando una condizione di carico avente la stessa legge di variazione e lo stesso P_m ma distribuito su tutta la larghezza dell'impalcato

$$p(x;e) = (P_m/2b) \text{ sen } (\pi x/l)$$

si avrà una deformata cilindrica che può assumere la forma

$$w(x) = w(1/2) \text{ sen } (\pi x/l)$$

Si può, quindi, definire per una trave di ordinata y e carico di eccentricità e, il coefficiente di ripartizione trasversale (adimensionale)

$$K(y;e) = w(x,y;e) / w(x) = w(1/2,y;e) / w(1/2)$$

Si ha, pertanto, per il carico unitario di eccentricità e, il rapporto fra il carico su una trave di ordinata y e il carico medio $1/n$ dove n è il numero delle travi.

Il valore di $K(y;e)$ è stato calcolato dal Massonnet e tabellato in base ai parametri dai quali dipende e precisamente

- a) dal rapporto y/b rappresentante la posizione della trave longitudinale presa in considerazione (e lungo la quale y ha sempre lo stesso valore);
- b) dal rapporto e/b che rappresenta la posizione del carico
- c) dal rapporto di rigidezza torsionale (compreso tra 0 e 1)
- d) dal rapporto adimensionale di rigidezza flessionale

Non viene considerato nel calcolo l'effetto dei traversi di testata.

5.5. *SISTEMA DI RIFERIMENTO*

Si considera l'impalcato come un piano in cui un sistema di assi ortogonali x,y individua ogni punto di esso.

L'asse x è assunto longitudinalmente all'asse delle travi, l'asse y ortogonalmente.

L'origine di questo sistema di riferimento è posizionata sulla intersezione tra l'asse di simmetria delle travi prefabbricate e un asse degli appoggi (è indifferente quale dei due assi appoggi viene assunto come origine x).

Le grandezze y rappresentano perciò le eccentricità dei carichi ed hanno segno negativo verso destra e positivo verso sinistra guardando le sezioni nelle figure allegate.

Le grandezze x sono sempre positive.

L'asse delle z , ortogonale al piano x,y , ha lo zero sul fondo delle travi prefabbricate ed ha valori positivi verso l'alto.

5.6. DATI GEOMETRICI IMPALCATO

Luce di calcolo	15,00
Larghezza cordolo sinistro	1,75
Larghezza carreggiata	7,00
Larghezza cordolo destro	1,75
Larghezza fuori tutto impalcato	10,50
Numero travi	4
Tipo trave	VH130
Interasse travi	2,66
Larghezza travi	2,50
Lunghezza retrotrave	0,50
Lunghezza ringrosso	0,00
Lunghezza svasatura	0,00
Eccentricità travi-soletta	0,00
Spessore medio soletta	0,25
Spessore minimo soletta	0,25
Luce di calcolo soletta	0,00
Larghezza marciapiede sinistro	1,00
Dist. marciapiede sinistro	0,51
Larghezza marciapiede destro	1,00
Dist. marciapiede destro	0,51
Spessore medio cordoli	0,16

Traversi in testata

Altezza sezione traversi	1,10
Spessore sezione traversi	0,40
n.	Pos.
1	0,00
2	15,00

5.7. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE PREFABBRICATA

Trave tipo VH130

Sezione in campata

Vertice n.	y	z
1	-0,482	0,000
2	-0,653	1,140
3	-0,900	1,270
4	-1,250	1,350
5	-1,250	1,400
6	-0,550	1,400
7	-0,382	0,281
8	-0,313	0,216
9	0,000	0,190
10	0,313	0,216
11	0,382	0,281
12	0,550	1,400
13	1,250	1,400
14	1,250	1,350
15	0,900	1,270
16	0,653	1,140
17	0,482	0,000
18	-0,482	0,000
19	0,000	0,000

Altezza della sezione	1,30
Spessore complessivo anime	0,28
Area sezione di calcestruzzo	0,70
Ordinata y baricentro	0,71
Ascissa x baricentro	0,00
J baricentro	0,18
Peso specifico	24,5250
Modulo elastico	35000000,00
Coefficiente torsionale	0,15

Sezione in testata

Vertice n.	y	z
1	-0,482	0,000
2	-0,653	1,140
3	-0,900	1,270
4	-1,250	1,350
5	-1,250	1,400
6	-0,408	1,400
7	-0,242	0,270
8	-0,170	0,204
9	0,000	0,190
10	0,170	0,204
11	0,242	0,270
12	0,408	1,400
13	1,250	1,400
14	1,250	1,350
15	0,900	1,270
16	0,653	1,140
17	0,482	0,000
18	-0,482	0,000
19	0,000	0,000

Altezza della sezione	1,30
Spessore complessivo anime	0,56
Area sezione di calcestruzzo	1,03
Ordinata y baricentro	0,74
Ascissa x baricentro	0,00
J baricentro	0,22
Coefficiente torsionale	0,00

Lunghezza trave in asse	16,00
-------------------------	-------

5.8. RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI

Parametri di Massonnet

Trave verificata: 2 eccentricità= -1,33

Luce di calcolo travi principali $L = 15,00$

Interasse traversi $L1 = 1,00$

Semilarghezza teorica impalcato $B = 5,32$

Interasse travi $B1 = 2,66$

Trave:

$A_p = 1,36$ (area sezione cls trave+soletta)

$D_p = 1,11$ (quota baricentro)

$J_p = 0,41$ (momento d'inerzia flessionale)

$C_p = 0,15$ (coefficiente di torsione)

Traverso:

$A_e = 0,25$ (area sezione traverso/soletta)

$D_e = 0,13$ (quota baricentro da base sezione)

$J_e = 0,00$ (momento d'inerzia flessionale)

$C_e = 0,00$ (coefficiente di torsione)

Larghezza soletta collaborante con il traverso = 1,00

Coeff. omogen. E cls soletta / E cls trave = 1,00

Teta = 1,168 Radice alfa = 1,000

Si calcolano i coefficienti d'influenza della 2a trave che ha una eccentricita' $y = 1,33$ cm e che risulta essere la piu' sollecitata:

Y	5,320	3,990	2,660	1,330	0,000	-1,330	-2,660	-3,990	-5,320
K_0	-0,416	-0,165	0,216	0,929	1,990	2,710	1,975	0,711	-0,549
K_1	0,166	0,269	0,474	0,860	1,445	1,903	1,530	1,045	0,742
K_α	0,166	0,269	0,474	0,860	1,445	1,903	1,530	1,045	0,742
$\mu\alpha$	-0,009	-0,010	-0,011	0,001	0,067	0,001	-0,011	-0,010	-0,009

5.9. ANALISI DEI CARICHI

5.9.1. Valori caratteristici delle azioni permanenti

Fase 1

Lunghezza trave in asse	16,00	[m]
Peso trave (sezione filante)	17,08	[KN/m]
Peso totale trave prefabbricata	273,33	[KN]
Larghezza soletta collaborante con la trave	2,66	[m]
Peso soletta gravante sulla trave	16,31	[KN/m]
Peso trasverso in testata	0,00	[KN]

Fase 2

Peso pavimentazione (3,00 [KN/m²]) gravante sulla trave 6,37 [KN/m]

La larghezza della carreggiata viene suddivisa in 20 intervalli uguali e per ciascuno di essi si determina il valore del coefficiente K_{α} di Massonnet in corrispondenza del proprio baricentro. Si procede poi alla somma di tali effetti in modo da ottenere la porzione del carico pavimentazione agente sulla trave considerata

Massetto Pendenze 1,50 [KN/m²]

Cordoli

Descrizione	Peso [KN/m]	Ecc. Y	K Massonnet	μ Massonnet
cordolo sinistro	6,867	4,38	0,233	-0,010
cordolo destro	6,867	-4,38	0,941	-0,010

Lineari per trave

Vengono considerati concentrati in direzione y e uniformemente distribuiti in direzione x.

n.	Descrizione	[KN/m]	Ecc. Y	K Massonnet	μ Massonnet
1	BARRIERA DX	1,500	4,00	0,268	-0,010
2	VELETTA DX	2,000	-5,25	0,755	-0,009
3	VELETTA SX	2,000	5,25	0,170	-0,009
4	RETE DX	0,750	-5,13	0,778	-0,009
5	RETE SX	0,750	5,13	0,178	-0,009
6	BARRIERA SX	1,500	-4,00	1,042	-0,010

5.9.2. Valori caratteristici delle azioni variabili

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo dei ponti è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, comprese le eventuali banchine di rispetto e per sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti e di altezza inferiore a 20 cm, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.00 m. In ogni caso il numero delle colonne non deve essere inferiore a 2, a meno che la larghezza della sede stradale sia inferiore a 5,40 m. La disposizione dei carichi ed il numero delle colonne sulla carreggiata saranno volta per volta quelli che determinano le condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la struttura, membratura o sezione considerata.

Categoria ponte : *Stradale 1a Categoria*

Carichi mobili

colonna	Nome	Q	q	alfaQ	alfa q
1	Colonna 1	300,00	9,00	1,00	1,00
2	Colonna 2	200,00	2,50	1,00	1,00
3	Colonna 3	100,00	2,50	1,00	1,00

Carico folla sui marciapiedi= 5,00 [KN/m²]

Descrizione	Q*α[KN]	q*α[KN/m]	Ecc. Y	Larghezza	Ka
Colonna 1	300,000	9,00	-1,600	3,000	1,883
Colonna 2	200,000	2,50	1,400	3,000	0,835
Zona Rimanente	0,000	2,50	-3,300	0,400	1,276
Zona Rimanente	0,000	2,50	3,200	0,600	0,373

Descrizione	q	Ecc. Y	Larghezza	Ka
Folla marc. sx	5,000	4,51	1,000	0,222
Folla marc. dx	5,000	-4,51	1,000	0,908

Coefficiente di incremento dinamico = 1.0

Le colonne di carico vengono posizionate in direzione x in modo da generare la massima sollecitazione nella specifica sezione di verifica.

5.10. PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE GENERATI DALLE AZIONI CARATTERISTICHE SULLA TRAVE PREFABBRICATA

5.10.1. Sollecitazioni sulla trave 2

Coefficienti di combinazione Stati Limite Ultimi

Coeff. sicurezza carichi permanenti	1,35	1,00
Coeff. sicurezza carichi traffico	1,35	0,00
Coeff. sicurezza carichi vento	1,50	0,00

Coefficienti di combinazione Stati Limite di Esercizio

Carico	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
LM1/UDL	0,40	0,40	0,00
LM1/TS	0,75	0,75	0,00
forze orizzontali	0,00	0,00	0,00
carico pedonale	0,00	0,00	0,00
LM4 folla	0,00	0,75	0,00
LM3	0,00	0,00	0,00
asse singolo LM2	0,00	0,00	0,00
vento	0,60	0,20	0,00
termico	0,60	0,60	0,50

Valori caratteristici sollecitazioni in prima fase

Sez.	Descrizione	PP. Trave		PP. trasverso/soletta	
		M	V	M	V
0,00	APPOGGIO	0,00	128,13	0,00	122,32
7,50	MEZZERIA	480,47	0,00	458,69	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-128,13	0,00	-122,32

Valori caratteristici sollecitazioni in fase 2: carichi permanenti

Sez.	Descrizione	Cordoli + Sbalzi		
		M	V	T
0,00	APPOGGIO	0,00	15,11	16,80
7,50	MEZZERIA	56,66	0,00	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-15,11	-16,80

Sez.	Descrizione	Perm. portati		
		M	V	T
0,00	APPOGGIO	0,00	85,80	9,16
7,50	MEZZERIA	321,74	0,00	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-85,80	-9,16

Valori caratteristici sollecitazioni in fase 2: carichi da traffico

Sez.	Descrizione	Tandem-TS		
		M	V	T
0,00	APPOGGIO	0,00	351,34	-3,04

7,50	MEZZERIA	1262,61	-168,35	-0,10
15,00	APPOGGIO	0,00	-351,34	3,04

Sez.	Descrizione	Distribuito-UDL		
		M	V	T
0,00	APPOGGIO	0,00	110,53	-16,09
7,50	MEZZERIA	414,48	21,80	-0,09
15,00	APPOGGIO	0,00	-110,53	16,09

Sez.	Descrizione	Folla marciapiedi		
		M	V	T
0,00	APPOGGIO	0,00	10,59	-31,08
7,50	MEZZERIA	39,72	0,00	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-10,59	31,08

Frecce massime condizioni carichi 1 fase

Trave	PP trave	PP soletta/traversi	carichi aggiuntivi
1	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00

Frecce massime carichi permanenti 2a fase

Trave	Cordoli+Sbalzi	Perm.Portati
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,00	0,00
4	0,00	0,00

Frecce massime carichi da traffico

Trave	Tandem-TS	Distribuito-UDL	Folla marciapiedi
1	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00

Combinazioni SLU: prima fase al taglio dei trefoli

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	APPOGGIO	0,00	172,97
7,50	MEZZERIA	648,63	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-172,97

Combinazioni SLU: prima fase al getto della soletta

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	APPOGGIO	0,00	338,10
7,50	MEZZERIA	1267,87	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-338,10

Combinazioni SLU: Seconda fase P/T

Sez.	Descrizione	M	V	T
0,00	APPOGGIO	0,00	1104,99	35,05
7,50	MEZZERIA	4069,59	-197,84	-0,25
15,00	APPOGGIO	0,00	-1104,99	-35,05

Combinazioni SLE: prima fase al taglio dei trefoli

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	APPOGGIO	0,00	128,13
7,50	MEZZERIA	480,47	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-128,13

Combinazioni SLE: Prima fase al getto della soletta

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	APPOGGIO	0,00	250,44
7,50	MEZZERIA	939,16	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-250,44

5.11. PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE GENERATI DALLE AZIONI CARATTERISTICHE SUL TRAVERSO

Valori caratteristici M per carichi permanenti

Sez.	Descrizione	Cordoli + Sbalzi	Perm Portati	
-5,32	estremità dx	0,00	0,00	
-5,00		0,49	-0,32	
-4,00		1,06	-0,52	
-3,00		-0,57	-0,14	
-2,00		-0,92	0,11	
-1,00		-0,92	0,16	
0,00		mezzeria	-0,89	0,16
1,00			-0,92	0,16
2,00			-0,92	0,11
3,00			-0,57	-0,14
4,00	1,06	-0,52		
5,00	0,49	-0,32		
5,32	estremità sx	0,00	0,00	

Valori caratteristici M per carichi traffico

Sez.	Descrizione	Tandem-TS		
		Mmax	Mmin	
-5,32	estremità dx	0,00	0,00	
-5,00		0,00	-1,88	
-4,00		0,00	-4,27	
-3,00		11,14	-3,28	
-2,00		3,54	-3,26	
-1,00		4,06	-3,34	
0,00		mezzeria	12,70	-0,36
1,00			4,06	-3,34
2,00			3,54	-3,26
3,00			11,14	-3,28

4,00		0,00	-4,27
5,00		0,00	-1,88
5,32	estremità sx	0,00	0,00

Sez.	Descrizione	Distribuito-UDL	
		Mmax	Mmin
-5,32	estremità dx	0,00	-0,63
-5,00		0,00	-1,10
-4,00		0,13	-1,90
-3,00		1,52	-1,54
-2,00		11,11	-1,90
-1,00		11,13	-2,00
0,00	mezzeria	1,80	-1,77
1,00		11,13	-1,96
2,00		11,11	-1,87
3,00		1,52	-1,89
4,00		0,13	-1,87
5,00		0,00	-0,63
5,32	estremità sx	0,00	0,00

Sez.	Descrizione	Folla Marciapiedi	
		Mmax	Mmin
-5,32	estremità dx	0,00	-0,01
-5,00		0,47	-0,01
-4,00		0,48	-0,04
-3,00		0,00	-0,54
-2,00		0,00	-0,70
-1,00		0,00	-0,66
0,00	mezzeria	0,00	-0,64
1,00		0,00	-0,67
2,00		0,00	-0,70
3,00		0,00	-0,43
4,00		0,48	-0,04
5,00		0,47	-0,01
5,32	estremità sx	0,00	0,00

Combinazioni SLU P/T

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-5,32	estremità dx	0,37	-2,59
-5,00		0,72	-4,49
-4,00		1,19	-7,84
-3,00		16,96	-7,88
-2,00		19,97	-8,39
-1,00		18,35	-8,40
0,00	mezzeria	18,84	-4,30
1,00		20,36	-8,75
2,00		17,45	-8,71
3,00		11,03	-7,77
4,00		1,38	-7,65
5,00		0,37	-2,59
5,32	estremità sx	0,00	0,00

Combinazioni SLE rare

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-5,32	estremità dx	0,28	-1,88
-5,00		0,54	-3,27
-4,00		0,88	-5,68
-3,00		12,38	-5,84

-2,00		14,59	-6,21
-1,00		13,41	-6,22
0,00	mezzeria	13,77	-3,19
1,00		14,88	-6,48
2,00		12,70	-6,45
3,00		7,99	-5,76
4,00		1,02	-5,50
5,00		0,28	-1,88
5,32	estremità sx	0,00	0,00

Combinazioni SLE frequenti

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-5,32	estremità dx	0,14	-1,16
-5,00		0,21	-2,01
-4,00		0,57	-3,45
-3,00		8,54	-3,81
-2,00		6,60	-3,93
-1,00		6,41	-3,90
0,00	mezzeria	9,52	-1,71
1,00		6,89	-4,12
2,00		5,82	-4,14
3,00		5,63	-3,67
4,00		0,67	-3,30
5,00		0,14	-1,16
5,32	estremità sx	0,00	0,00

Combinazioni SLE quasi permanenti

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-5,32	estremità dx	0,14	0,14
-5,00		0,21	0,21
-4,00		0,52	0,52
-3,00		-0,71	-0,71
-2,00		-0,79	-0,79
-1,00		-0,72	-0,72
0,00	mezzeria	-0,73	-0,73
1,00		-0,78	-0,78
2,00		-0,85	-0,85
3,00		-0,68	-0,68
4,00		0,63	0,63
5,00		0,14	0,14
5,32	estremità sx	0,00	0,00

5.12. REAZIONI MASSIME AGLI APPOGGI CONDIZIONI STATICHE

Forze Orizzontali

Azione del vento :	
Altezza barriera	2,84
Pressione cinetica	2,50
Forza totale sull'impalcato Fyw	186,00
Azione longitudinale di frenamento q3 :	
Forza totale sull'impalcato Fxq	400,50
Azione centrifuga Q4 :	
Raggio di curvatura	0,00
Forza totale sull'impalcato Fyq	0,00

Reazioni Rz condizioni singole carichi 1a fase

Trave	PP trave	PP soletta/traverso
1	136,67	127,04
2	136,67	130,47
3	136,67	130,47
4	136,67	127,04

Reazioni Rz condizioni singole carichi 2 fase

Trave	Cordoli+Sbalzi	Perm.Portati
1	38,85	64,89
2	16,12	82,45
3	16,12	82,45
4	38,85	64,89

Carichi da Traffico

Trave	Tandem-TS	Distribuito-UDL	Folla Marciapiedi
1	195,24	68,10	28,46
2	351,34	110,53	11,30
3	292,76	69,83	11,30
4	137,17	33,38	28,46

Lineari di 2a fase

Trave	x=0	x=Luce
1	22,60	22,60
2	8,50	8,50
3	8,50	8,50
4	22,60	22,60

Reazioni appoggi: combinazioni SLU P/T

Trave	Rz max	Rz min
1	901,28	390,05
2	1136,32	374,21

3	1002,31	374,21
4	776,00	390,05

Reazione laterale totale $R_y = 279,00$

Reazione longitudinale totale $R_x = 540,68$

Reazioni appoggi: combinazioni SLE rare

Trave	Rz max	Rz min
1	667,61	0,00
2	841,72	0,00
3	742,45	0,00
4	574,82	0,00

Reazione laterale totale $R_y = 186,00$

Reazione longitudinale totale $R_x = 400,50$

Reazioni appoggi: combinazioni SLE frequenti

Trave	Rz max	Rz min
1	563,72	0,00
2	681,92	0,00
3	621,71	0,00
4	506,27	0,00

Reazione laterale totale $R_y = 37,20$

Reazione longitudinale totale $R_x = 0,00$

Reazioni appoggi: combinazioni SLE quasi permanenti

Trave	Rz max	Rz min
1	390,05	0,00
2	374,21	0,00
3	374,21	0,00
4	390,05	0,00

Reazione laterale totale $R_y = 0,00$

Reazione longitudinale totale $R_x = 0,00$

5.13. AZIONE SISMICA

Parametri per la determinazione dell'azione sismica

Categoria di sottosuolo C
 Categoria topografica T1
 Coeff. di combinazione sismica 0,2

Peso Impalcato 3067,13
 Peso Carichi Mobili 1252,00
 Aliquota Carichi Mobili 0,20
 Peso Totale Struttura 3317,53

Forze orizzontali (SLV)

Si assume la forza trasmessa pari alla massa per l'accelerazione di picco al suolo pari a 0.195 a_g/g .

Valori

Spettro di risposta elastico in accelerazione (componente trasversale)
 Forza 324 kN (sulla singola spalla)
 Spettro di risposta elastico in accelerazione (componente longitudinale)
 Forza 647 kN (in corrispondenza della spalla con apparecchi di appoggio fissi)

Forze verticali

Valori per SLE

S_s 1,00
 Fattore di amplificazione spettrale massima F_v 1,01
 Spettro di risposta elastico in accelerazione S_{ve} 0,1321

Azione sismica caratteristica sulla trave

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	APPOGGIO	0,00	58,78	2,51
7,50	MEZZERIA	218,96	-3,87	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-58,78	-2,51

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	APPOGGIO	0,00	46,43	3,43
7,50	MEZZERIA	174,11	0,00	0,00

15,00 APPOGGIO 0,00 -46,43 -3,43

Combinazione

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	APPOGGIO	0,00	503,56	29,39
7,50	MEZZERIA	1875,91	-33,18	-0,04
15,00	APPOGGIO	0,00	-503,56	-29,39

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	APPOGGIO	0,00	397,78	21,54
7,50	MEZZERIA	1491,67	0,00	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-397,78	-21,54

Valori per SLU

S_s 1,00

S_s 1,00

Fattore di amplificazione spettrale massima F_v 1,24

Spettro di risposta elastico S_{ve} 0,2410

Azione sismica caratteristica sulla trave

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	APPOGGIO	0,00	107,19	4,59
7,50	MEZZERIA	399,31	-7,06	-0,01
15,00	APPOGGIO	0,00	-107,19	-4,59

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	APPOGGIO	0,00	84,67	6,26
7,50	MEZZERIA	317,52	0,00	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-84,67	-6,26

Combinazione

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	APPOGGIO	0,00	551,97	32,22
7,50	MEZZERIA	2056,27	-36,37	-0,05
15,00	APPOGGIO	0,00	-551,97	-32,22

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	APPOGGIO	0,00	436,02	23,61
7,50	MEZZERIA	1635,09	0,00	0,00
15,00	APPOGGIO	0,00	-436,02	-23,61

6. VERIFICHE TRAVE

La trave oggetto dell'analisi prevede l'utilizzo di precompressione a cavi aderenti.

Viene analizzato lo stato di sollecitazione agente sulla trave nelle sue diverse fasi di vita: al taglio dei cavi, in fase di trasporto, in fase di sollevamento, ed in opera, compresa l'eventuale fase di getto della soletta collaborante. In ognuna delle diverse fasi viene specificato lo stato di vincolo della trave e vengono valutate le perdite di tensione sui cavi.

Nell'ultima fase in opera vengono poi analizzate le diverse combinazioni di calcolo tenendo conto dei carichi permanenti e variabili, eventualmente mobili, presenti sulla trave.

Le perdite di tensione si suddividono in perdite elastiche (al momento del taglio dei cavi la trave si deforma provocando accorciamento sui cavi), perdite dovute al ritiro del conglomerato, perdite dovute allo scorrimento viscoso del conglomerato e perdite dovute al rilassamento dei cavi quando restano in tensione per lungo periodo.

6.1. DATI E CARATTERISTICHE TRAVE

Geometria trave

Lunghezza trave 16.00 [m]

Sezioni della trave

Allineamento delle sezioni:

N°	Inferiore	Descrizione	Ascissa
1		Sezione a cassoncino T H=130	
2		trasverso	

Geometria soletta

Base soletta	2.66	[m]
Altezza soletta	0.25	[m]

Fase in opera

Ascissa vincolo sinistro	0.50	[m]
Ascissa vincolo destro	15.50	[m]

Fase taglio dei cavi

Ascissa vincolo sinistro	0.00	[m]
Ascissa vincolo destro	16.00	[m]

Fase di sollevamento

<i>Vincolo sinistro</i> [Appoggio semplice]		
Ascissa	1.00	[m]
<i>Vincolo destro</i> [Appoggio semplice]		
Ascissa	15.00	[m]

Fase di trasporto

<i>Vincolo sinistro</i> [Appoggio semplice]		
Ascissa	1.00	[m]
<i>Vincolo destro</i> [Appoggio semplice]		
Ascissa	15.00	[m]

Caratteristiche materiali utilizzati

R_{ck} calcestruzzo (<i>Fase taglio dei cavi</i>)	40	[MPa]
R_{ck} calcestruzzo (<i>Fase in opera</i>)	50	[MPa]
Peso specifico calcestruzzo	25.00	[kN/mc]
Modulo elastico del calcestruzzo	39858.00	[MPa]
Coefficiente di Poisson		0.15

Materiale armatura lenta trave

Tipo di acciaio utilizzato	B450C	
Tensione ammissibile acciaio	359.321	[MPa]
Tensione ammissibile cls (σ_{amm})	24.900	[MPa]
Tensione tang.ammissibile cls (τ_{c0})	0.863	[MPa]
Tensione tang.ammissibile cls (τ_{c1})	2.381	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione cls tesoro/compresso	1.00	
Coeff. omogeneizzazione armatura lenta/cls	15.00	
Coeff. omogeneizzazione cavi/cls	6.00	
Coeff. di dilatazione termica	0.00	

Materiale calcestruzzo soletta

R _{ck} calcestruzzo	40.000	[MPa]
Peso specifico calcestruzzo	25.0000	[kN/mc]
Modulo elastico del calcestruzzo	35650.555	[MPa]
Coefficiente di Poisson	0.20	

Materiale armatura soletta

Tipo di acciaio utilizzato	B450C	
Tensione ammissibile acciaio	359.321	[MPa]
Tensione ammissibile cls (σ_{amm})	19.920	[MPa]
Tensione tang.ammissibile cls (τ_{c0})	0.729	[MPa]
Tensione tang.ammissibile cls (τ_{c1})	2.096	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione acciaio/cls	15.00	

Cavi e tiro dei cavi

Simbologia adottata

n°	numero di trefoli dello stesso tipo
D	diametro del singolo trefolo espressa in [mm]
A	area del singolo trefolo espressa in [cmq]
f _{ptk}	Tensione caratteristica di rottura espressa in [MPa]
f _{pyk}	Tensione convenzionale caratteristica di snervamento espressa in [MPa]
Atot	Area totale del gruppo di trefoli dello stesso tipo espressa in [cmq]

Descrizione	n°	D	A	f _{ptk}	f _{pyk}	Atot
Trefolo 0,6	50	15.20	1.39	1863.3	1667.2	69.50
Totale	50					69.50

Simbologia adottata

T _t	Tensione unitaria al tiro espressa in [MPa]
L _{g(S)}	Lunghezza guaina sinistra espressa in [m]
L _{g(D)}	Lunghezza guaina destra espressa in [m]
L _{cavo}	Lunghezza cavo espressa in [m]
Tiro	Tiro totale sul cavo espresso in [kN]

n°Descrizione	Tt	Lg(S)	Lg(D)	Lcavo	Tiro
1Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
2Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
3Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
4Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
5Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
6Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
7Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
8Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
9Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
10Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
11Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
12Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
13Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
14Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
15Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
16Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
17Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
18Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
19Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
20Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
21Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
22Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
23Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
24Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
25Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
26Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
27Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
28Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
29Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
30Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
31Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984

32Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
33Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
34Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
35Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
36Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
37Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
38Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
39Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
40Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
41Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
42Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
43Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
44Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
45Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
46Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
47Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
48Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
49Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
50Trefolo 0,6	1304.305	0.00	0.00	16.00	181.2984
Totale					9064.92

Cadute di tensione

Simbologia adottata

P(Rit) Cadute di tensione per fenomeni di ritiro espressa in [%]
P(Vis) Cadute di tensione per fenomeni di viscosità espressa in [%]
P(Ril) Cadute di tensione per fenomeni di rilassamento espressa in [%]

Fase	P(Rit)	P(Vis)	P(Ril)
Taglio cavi	0.00	0.00	36.40
Trasporto	7.39	29.25	39.87
Sollevamento	18.84	40.32	44.73
In opera	100.00	100.00	100.00

ϵ_{cs} Deformazione totale da ritiro	0.00041		
ϕ Coefficiente di viscosità	1.97		
ψ Coefficiente di rilassamento	0.206		
h_0 dimensione convenzionale $2 \cdot A/u$	168.54	mm	
f_{ck} resistenza caratteristica a compressione del cls	41.47	MPa	
Classe di armatura	0		

Sezione corrente:

Oltre ai cavi di precompressione la trave presenta armatura lenta e staffe per il taglio.

Armatura lenta (6 Ø20) lungo tutto lo sviluppo della trave.

Le condizioni di carico considerate, e le sollecitazioni elementari che ne conseguono, sono quelle riportate al paragrafo specifico. Tali azioni vengono combinate secondo le indicazioni del testo unico 2008 per le verifiche di stato limite ultimo e di esercizio.

6.2. COMBINAZIONI

Combinazione n° 1

Fase: Taglio cavi - Tipo combinazione: SLU - A1M1

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35

Combinazione n° 4

Fase: In opera a breve termine - Tipo combinazione: SLU - A1M1

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35
2	Peso soletta	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35

Combinazione n° 6

Fase: In opera a lungo termine - Tipo combinazione: SLU - A1M1

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35
2	Peso soletta	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35
3	Permanente	SFAVOREVOLE	1.00	1.50	1.50
4	Mob M max	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35

Combinazione n° 7

Fase: In opera a lungo termine - Tipo combinazione: SLU - A1M1

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35
2	Peso soletta	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35
3	Permanente	SFAVOREVOLE	1.00	1.50	1.50
4	Mob T Max	SFAVOREVOLE	1.00	1.35	1.35

Combinazione n° 12

Fase: In opera a lungo termine - Tipo combinazione: SLE - Quasi permanente

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
2	Peso soletta	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
3	Permanente	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
4	Mob M max	SFAVOREVOLE	0.20	1.00	0.20

Combinazione n° 14

Fase: In opera a lungo termine - Tipo combinazione: SLE - Frequente

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
2	Peso soletta	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
3	Permanente	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
4	Mob M max	SFAVOREVOLE	0.40	1.00	0.40

Combinazione n° 16

Fase: In opera a lungo termine - Tipo combinazione: SLE - Rara

n°	Nome condizione	F/S	Ψ	γ	$\Psi \times \gamma$
1	Peso trave	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
2	Peso soletta	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
3	Permanente	SFAVOREVOLE	1.00	1.00	1.00
4	Mob M max	SFAVOREVOLE	0.75	1.00	0.75

Il calcolo della sezione è effettuato nell'ipotesi di precompressione totale.

Opzioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a compressione	1.50
Coefficiente di sicurezza calcestruzzo a trazione	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.20

Opzioni verifiche SLE

Condizioni ambientali
Armatura ad aderenza migliorata

ORDINARIE

Verifica fessurazione

Sensibilità delle armature	Sensibile
Valori limite delle aperture delle fessure	$w_1 = 0.20$ $w_2 = 0.30$ $w_3 = 0.40$

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico	σ_c	σ_{ct}	σ_r
Rara	$< 0.60 f_{ck}$	$< 1.00 f_{ck}$	$< 0.80 f_{yk}$
Quasi permanente	$< 0.45 f_{ck}$	$< 1.00 f_{ck}$	$< 1.00 f_{yk}$
Frequente	$< 1.00 f_{ck}$	$< 1.00 f_{ck}$	$< 1.00 f_{yk}$
Taglio dei cavi		$< 0.70 f_{ck}$	$< 1.00 f_{ckj}$

6.3. VERIFICHE FLESSIONALI

Si riportano le verifiche flessionali della trave relativamente alla sezione di mezzeria.

Simbologia adottata nelle verifiche a rottura

X	Ascissa della sezione espressa in [m]
M	Momento dovuto ai soli carichi agente sulla sezione espresso in [kNm]
Mu	Momento ultimo della sezione espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza
Coefficiente di sicurezza a rottura richiesto FS = 1.20	

Simbologia adottata nelle verifiche tensionali

X	Ascissa della sezione espressa in [m]
$\sigma_{c,max}$	Tensione massima nel calcestruzzo espressa in [MPa]
$\sigma_{c,min}$	Tensione minima nel calcestruzzo espressa in [MPa]
$\sigma_{r,max}$	Tensione massima nell'armatura lenta espressa in [MPa]
$\sigma_{r,min}$	Tensione minima nell'armatura lenta espressa in [MPa]
σ_{cavi}	Tensione nei cavi espressa in [MPa]

Comb SLU	X	M	Mu	FS
1	7.50	649.00	3128.00	4.82
4	7.50	1268.00	3957.00	3.12
6	7.50	4070.00	7692.30	1.89

Comb SLE	X	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{r,max}$	$\sigma_{r,min}$	σ_{cavi}
12	7.50	14.155	-0.635	0.000	-56.789	-875.564
14	7.50	14.155	-0.635	0.000	-56.789	-875.564
16	7.50	15.062	-1.986	0.000	-84.467	-867.632

6.4. VERIFICHE A TAGLIO

Simbologia adottata nelle verifiche a rottura

X	Ascissa della sezione espressa in [m]
T	Taglio agente nella sezione espresso in [kN]
V_{Rd}	Resistenza a taglio della sezione senza armatura trasversale espressa in [kN]
V_{Rsd}	Resistenza a taglio a trazione della sezione con armatura trasversale espressa in [kN]
V_{Rcd}	Resistenza a taglio a compressione della sezione con armatura trasversale espressa in [kN]

Si riportano le verifiche a taglio della trave relativamente alla sezione di appoggio:

X = 0.50 m					
Comb SLU	X	T	V_{Rd}	V_{Rsd}	V_{Rcd}
7	0.50	1105	1589.62	2789.62	1823.32

6.5. VERIFICHE A FESSURAZIONE

Si riportano le verifiche per fessurazione della trave relativamente alla sezione di mezzeria.

Simbologia adottata

X	Ascissa della sezione espressa in [m]
M_{pf}	Momento di prima fessurazione espresso in [kNm]
M_c	Momento dovuto al solo carico espresso in [kNm]
ϵ_{sm}	Deformazione espresso in [%]
s_m	Distanza media tra le fessure espresso in [mm]
w	apertura delle fessure espresso in [mm]

Comb	X	Mpf	M	ϵ_{sm}	S_m	W	W_{lim}
12 (Q perm)	7.50	2958.79	2698.45	0.0108	185.27	0.032	0.200
14 (Freq)	7.50	2958.79	3014.07	0.0211	185.27	0.059	0.300