

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

**ADEGUAMENTO NODO DI PONTEDECIMO VIADOTTO 1
Relazione di Calcolo Impalcato**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 0 7 0 X	0 0 4	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	Leonardo Struture 	17/09/2012	Ing. F. Colla 	18/09/2012	E. Pagani 	21/09/2012	Ing. E. Ghislandi

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00
-----------	---------------------------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00</p>	<p>Foglio 3 di 46</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
1.1	Generalità	5
1.2	Normative di riferimento	5
1.3	Caratteristiche dei materiali	6
1.3.1	Calcestruzzo	6
1.3.2	Armature per c.a.	7
1.3.3	Acciaio da carpenteria	7
1.3.4	Acciaio per cavi di pretensione:	7
1.4	Ipotesi di Calcolo	7
1.5	Coefficienti sismici	7
2	ANALISI DEI CARICHI	9
2.1	Prima fase (p.p. soletta + p.p. trave)	9
2.2	Seconda fase (permanente portato)	9
2.3	Terza fase (Accidentali)	9
2.3.1	Ripartizione trasversale	9
2.3.2	Stese di carico	10
2.4	Sollecitazioni esterne	11
2.5	Caratteristiche geometrico-meccaniche della trave	11
2.6	Perdita di tensione nei cavi	12
2.6.1	Ritiro del calcestruzzo	12
2.6.2	Viscosità	12
2.6.3	Rilassamento	12
2.6.4	Accorciamento elastico	12
2.6.5	Perdita totale acciaio	12
3	VERIFICA SEZIONI TRAVE	13
3.1	Verifica a fessurazione	30
3.1.1	Verifica a rottura	30
3.1.2	Verifiche a taglio	30
3.2	Scorrimento trave-soletta	31
3.2.1	Sezione A-A	31
3.2.2	Sezione 1-1	31
3.2.3	Sezione 2-2	31
3.2.4	Tratto A-1	31
3.2.5	Tratto 1-2	31
4	SOLETTA IMPALCATO	32
4.1	Coppella prefabbricata sbalzo max interno	32
4.1.1	Generalità	32
4.1.2	Analisi dei carichi	32
4.1.3	Caratteristiche geometriche della sezione resistente	32
4.1.4	Verifiche	33
4.2	Verifica della soletta in condizioni di esercizio	33
4.2.1	Condizioni di carico	33
4.2.2	Verifica in campata fra le travi	33
4.2.3	Verifica della soletta sullo sbalzo interno	34
4.2.4	Verifica della soletta a flessione e taglio	35
4.2.5	Verifica della soletta nel caso di urto di un veicolo in svio	36
4.2.6	Verifica della soletta sullo sbalzo esterno	37
4.2.7	Verifica della soletta a flessione e taglio	38
4.2.8	Verifica della soletta nel caso di veicolo su marciapiede	40
4.2.9	Scorrimento tra coppella prefabbricata e getto	41



5	APPARECCHI D'APPOGGIO	42
5.1	Analisi dei carichi	42
5.1.1	Permanenti	42
5.1.2	Accidentali	42
5.1.3	Frenatura	42
5.1.4	forza centrifuga	42
5.1.5	Vento trasversale	42
5.1.6	sisma	43
5.2	Verifica apparecchi d'appoggio	43
5.2.1	Caratteristiche geometriche:	43
5.2.2	Azioni verticali	43
5.2.3	Azioni orizzontali	44
5.2.4	Rotazioni	44
5.2.5	Tensioni tangenziali dovute ad H	44
5.2.6	Tensioni tangenziali dovute ad α	45
5.2.7	Tensioni normali	45
5.2.8	Tensioni tangenziali dovute ad N	45
5.2.9	Deformazioni	45
5.2.10	Verifiche di resistenza	45
5.2.11	Verifiche allo slittamento	46
5.2.12	Verifica di stabilità	46
5.2.13	Verifica delle armature metalliche	46

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00
	Foglio 5 di 46

1 INTRODUZIONE

1.1 Generalità

La presente relazione si riferisce alla progettazione esecutiva dell'impalcato del Viadotto 1, nell'ambito degli interventi relativi alla nuova viabilità da realizzare in corrispondenza della frazione di Pontedecimo in sponda destra del torrente Verde e al collegamento della viabilità urbana con un nuovo ponte alla S.P. n.6 che corre in sinistra idraulica.

Tale intervento è inserito nell'ambito delle attività collaterali previste per la cantierizzazione della tratta Alta Velocità Milano – Genova, III Valico.

La zona dell'intervento è classificata sismica in zona 4, secondo l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.2003.

Il viadotto in oggetto (denominato Viadotto 1) è previsto sulla rampa con pendenza pari a circa il 6% necessaria per il raggiungimento, dal piazzale antistante la scuola, della quota attuale del Ponte delle Piane e sarà costituito da tre campate di 12,50 di luce e due da 15,00, per una lunghezza complessiva di 67,50m.

L'impalcato in oggetto è costituito da n. 15 travi in c.a. prefabbricate con soletta collaborante superiore gettata in opera. Le travi sono del tipo a "T" rovescia in cemento armato precompresso con armatura a fili aderenti, affiancate di altezza h=60cm. Le travi sono collegate con soletta in c.a di spessore min. s=25cm gettata in opera su coppelle prefabbricate e da due traversi di testata.

1.2 Normative di riferimento

- | | | | |
|----|----------------------------------|---------------------|---|
| a) | D.M. LL.PP.
+istruz. relative | 16.01.1996 | Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi». |
| b) | Circ.Min.LL.PP. | 04.07.1996, n.156AA | Istruzioni relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al D.M. 16/01/96. |
| c) | Legge | 05.11.1971, n.1086 | Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. |
| d) | D.M. LL.PP. | 09.01.1996 | Norme tecniche per l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche. |
| e) | D.M. LL.PP. | 04.05.1990 | Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali. |

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 46</p>

f)	D.M.LL.PP.	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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
g)	D.M.LL.PP.	16.01.1996	Norme Tecniche per le costruzioni in Zone Sismiche.
h)	Circ.Min.LL.PP.	10.04.1997, n.65 AAGG	Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996".
i)	Circ.Min.LL.PP.	15.10.1996, n.252 AAGG	Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche".
j)	Circ.Min.LL.PP.	25.02.1991, n.34233	Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali.
k)	D.M.LL.PP.	03.12.1987	Norme tecniche per la progettazione esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
l)	Circ.Min.LL.PP.	16.03.1989	Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
m)	Norme CNR	10024/86	Analisi strutturale mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.
n)	Ordinanza P.C.M.	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".

1.3 Caratteristiche dei materiali

1.3.1 Calcestruzzo

Trave prefabbricata in c.a.p.

Classe di Resistenza	:	C45/55 (ex $R_{ck} = 550 \text{ kg/cm}^2$)	
tensioni normali ammissibili:			$\sigma_{c,amm \text{ compr}} = 171 \text{ daN/cm}^2$
			$\sigma_{c,amm \text{ traz}} = -16,5 \text{ daN/cm}^2$
armatura sussidiaria:			$\sigma_{c,amm \text{ traz}} = -33,0 \text{ daN/cm}^2$
Classe di Esposizione	:	XF1	
Copriferro	:	c = 30 mm	
Classe di consistenza slump	:	S 4 ÷ 5	
Diametro max aggregato	:	20 mm	
Classe contenuto cloruri	:	Cl 0,2	

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00

Foglio
7 di 46

Resistenza caratteristica al taglio dei trefoli
con tensioni normali in esercizio:

$$R'_{ck} = 450 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{c,amm\ compr.} = 216 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,amm\ traz} = -18,0 \text{ daN/cm}^2$$

con armatura sussidiaria

$$\sigma_{c,amm\ traz} = -36,0 \text{ daN/cm}^2$$

Soletta impalcato e traversi

Classe di Resistenza : C32/40 (ex $R_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$)

tensioni normali ammissibili: $\sigma_{f,amm} = 122,5 \text{ kg/cm}^2$

tensioni tangenziali ammissibili: $\tau_{co} = 7,33 \text{ kg/cm}^2$

Classe di Esposizione : XF1

Copriferro : $c = 40 \text{ mm}$

Classe di consistenza slump : S 3 ÷ 5

Diametro max aggregato : 32 mm

Classe contenuto cloruri : Cl 0,2

1.3.2 Armature per c.a.

Acciaio per armature lente B450C

1.3.3 Acciaio da carpenteria

Acciaio utilizzato per i pali: S275 J2

tensione di snervamento $f_y \geq 2750 \text{ daN/cm}^2$

tensione ammissibile $\sigma_{fa} = 1900 \text{ daN/cm}^2$

1.3.4 Acciaio per cavi di pretensione:

Acciaio preteso in trefolo da 0,6"

Tensione caratteristica all'1% di deformazione

$$f_{tp(1)k} \geq 17000 \text{ daN/cm}^2$$

Tensione caratteristica di rottura

$$f_{ptk} \geq 19000 \text{ daN/cm}^2$$

1.4 Ipotesi di Calcolo

Le azioni sulle strutture sono dovute essenzialmente alla spinta del terreno, ai carichi permanenti della struttura, ai carichi accidentali trasmessi dall'impalcato e dal rilevato, e al sisma.

Il calcolo viene condotto con i metodi della Scienza delle Costruzioni, basati sull'ipotesi dell'elasticità lineare dei materiali, con l'ausilio di fogli di calcolo (Excel) i cui risultati sono di seguito dettagliati. Le verifiche di resistenza sono state effettuate con il metodo delle tensioni ammissibili.

Le unità di misura sono essenzialmente kNewton [kN] ed il metro [m], tranne che per le verifiche delle sezioni in c.a. ove si adotta il [Kg] ed il [cm].

1.5 Coefficienti sismici

Nell'analisi in condizioni sismiche viene recepita la normativa attuale per quanto riguarda la classificazione sismica del territorio nazionale, mantenendo la modalità di verifica secondo la normativa ancora vigente nel periodo di transizione.

Per quanto sopra nella classificazione del territorio la struttura ricade in zona 4, che possiamo assimilare ad una zona a bassa sismicità. La classificazione suddivide il territorio in quattro diverse zone sismiche, mentre la pregressa normativa faceva riferimento ad una suddivisione di zone sismiche e non sismiche, ponendo poi nelle zone dichiarate sismiche tre diversi gradi di sismicità.

A favore di sicurezza le verifiche di seguito riportate terranno conto di una condizione sismica con sismicità $S = 6$.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 46</p>

Per il calcolo sono stati assunti i seguenti coefficienti :

coeff. di protezione sismica	$I = 1.0$
coeff. di struttura	$\beta = 1.0$ per apparecchi di appoggio $\beta = 2,5$
coeff. di fondazione	$\varepsilon = 1.0$
coeff. di risposta	$R = 1$
coeff. di intensità sismica	$c = 0.04$

2 ANALISI DEI CARICHI

2.1 Prima fase (p.p. soletta + p.p. trave)

p.p. trave	$0.1562 \times 25 =$	3,91 kN/m (al rilascio dei trefoli)
p.p. soletta	$9.25 \times 0.25 \times 25 =$	57,81 kN/m
su una trave	$5,781/15 = 0.385$ t/m	

2.2 Seconda fase (permanente portato)

pavimentazione	$3,00 \times 7.50 =$	22,50 kN/m
cordoli	$0.25 \times (0.30 + 0.25) \times 2 \times 25 =$	6,88 kN/m
barriere + parapetto	$2,00 \times 2 =$	<u>4,00</u> kN/m
		33,38 kN/m

Carico su una trave: $P_2 = 33,38 / 15 = 2,23$ kN/m

2.3 Terza fase (Accidentali)

2.3.1 Ripartizione trasversale

luce di calcolo $L_c = 15.50$ m
 incremento dinamico $\varphi = 1.4 - (L_c - 10) / 150 = 1.383$

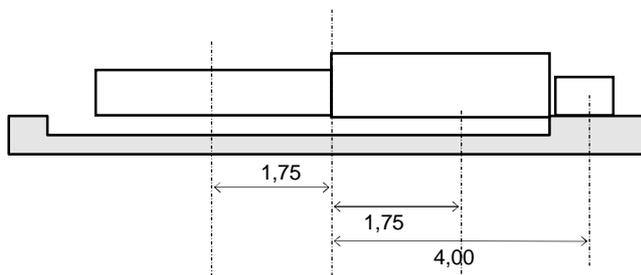
Si individuano i carichi sulla trave di bordo secondo la ripartizione di Courbon

Coefficienti di Courbon $R = 1 / n + e / w$

dove $n = 15$ travi

$$Wt = 2 \times (3.50^2 + 3.00^2 + 2.50^2 + 2.00^2 + 1.50^2 + 1.00^2 + 0.50^2) / 3.50 = 20 \text{ m}^3$$

Schema Trasversale : due colonne lato torrente + folla su marciapiede



per Q_1 ($e_1 = 1.75$ m)	per Q_2 ($e_2 = -1.75$ m)	per Q_f ($e_3 = 4.00$ m)
$R_1 = 0.154$	$R_1 = -0.021$	$R_1 = 0.266$

Carichi sulla trave di bordo:

$$Q_{1a} = \text{asse da } 200 \text{ kNt} = 200 \times 0.154 \times 1.383 = 42,6 \text{ kN}$$

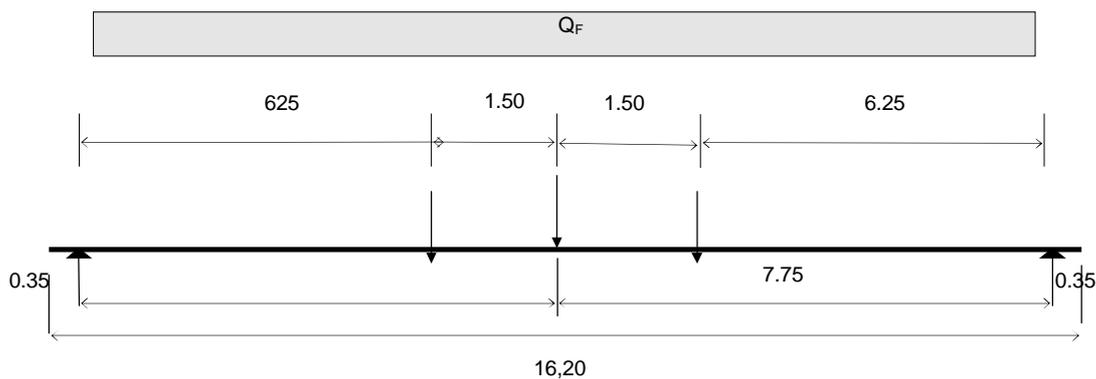
$$q_{1a} = \text{asse da } 30 \text{ kN/m} = 30 \times 0.154 \times 1.383 = 6,39 \text{ kN/m}$$

$$Q_f = 4,00 \text{ t/m} = 4,00 \times 0,266 \times 1,383 = 1,47 \text{ kN/m}$$

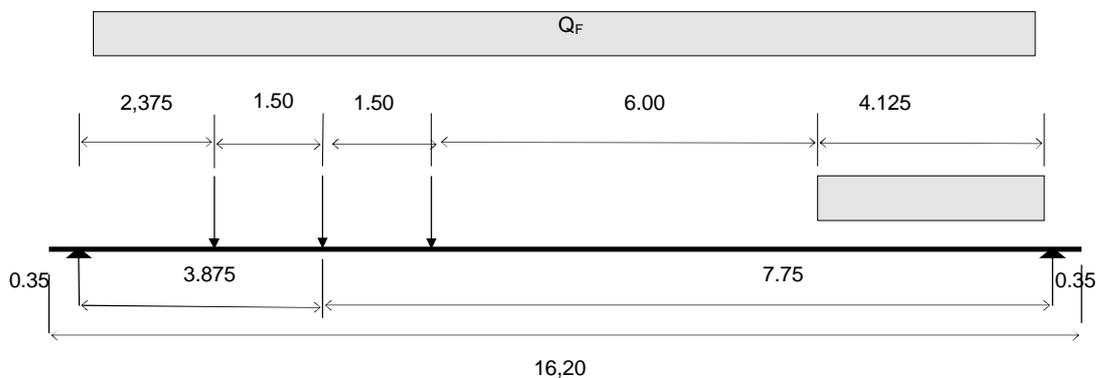
2.3.2 Stese di carico

Si analizza il caso della trave con luce massima (campata n.3 trave esterno curva)

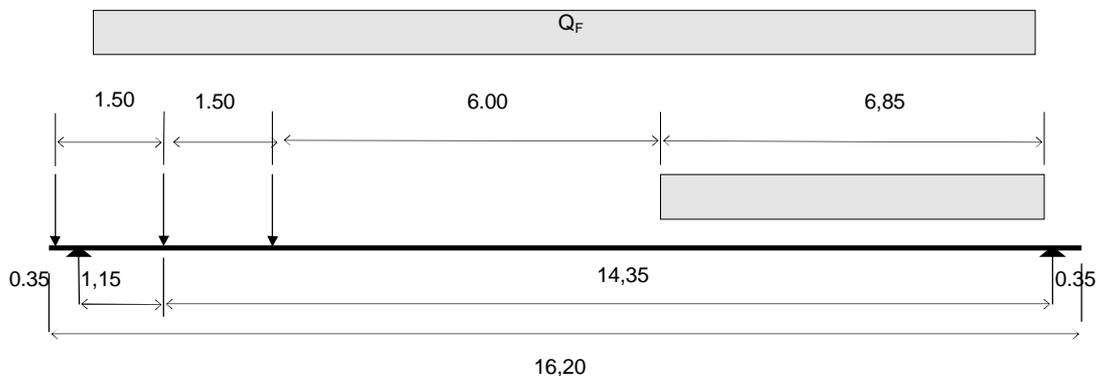
Cdc a)



Cdc b)



Cdc c)



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00		Foglio 11 di 46

2.4 Sollecitazioni esterne

Con l'ausilio di una semplice procedura su foglio di calcolo tipo Excel sono state determinate le caratteristiche della sollecitazione nelle sezioni nell'ipotesi di trave in semplice appoggio.

Caratteristiche della sollecitazione

Sez	Peso proprio		peso soletta		Permanente Portato		Carichi Accidentali	
	M	T	M	T	M	T	M	T
Appoggio	0	30,30	0,000	29,84	0,000	17,28	-14,9	85,39
X = 3.875	87,83	15,15	86,48	14,92	50,09	8,64	321,11	56,75
Mezzeria	117,2	0	115,4	0,000	66,8	0,000	431,52	0,000

2.5 Caratteristiche geometrico-meccaniche della trave

Per le caratteristiche geometriche della sezione si è fatto uso di una semplice procedura in Basic, i cui tabulati sono di seguito riportati :

Per Sezione corrente :

Armatura di precompressione	A trefolo	1,39 cm ²	Φ 0,6"
n	Ya	nxYa	
7	5	35	
4	10	40	
0	55	0	
0	65	0	
11		75	

baricentro armature

= 6,818182 cm

Trave prefabbricata :

Area	1821 cm ²
Ordinata baricentro	21,1 cm
Momento di inerzia rispetto a x	541509 cm ⁴
Modulo di resistenza superiore	13929,4 cm ³
Modulo di resistenza inferiore	25633,7 cm ³

Trave + soletta

Area	3375,1 cm ²
Ordinata baricentro	44,8 cm
Momento di inerzia rispetto a x	2835537 cm ⁴
Modulo di resistenza superiore soletta	70493,9 cm ³
Modulo di resistenza superiore	186256 cm ³
Modulo di resistenza inferiore	63327 cm ³

Per Sezione in corrispondenza appoggio
n. 5 trefoli inguainati a livello y=5

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00	Foglio 12 di 46

n.2 trefoli inguainati a livello $y = 10$

Armatura di precompressione	A trefolo	1,39 cm ²	Φ0,6"
n	Ya	nxYa	
2	5	10	
2	10	20	
0	15	0	
0	65	0	
4		30	
baricentro armature =		7,5	cm

2.6 Perdita di tensione nei cavi

Al rilascio dei trefoli il cls dovrà avere $R'_{ckj} \geq 450 \text{ Kg/cm}^2$

Moduli elastici: $E_a = 2000000 \text{ Kg/cm}^2$
 $E_c = 371080 \text{ Kg/cm}^2$
 $n = 5.39$

la tensione nel cls al livello del baricentro dei trefoli nella sezione di mezzeria vale:

$$\sigma_{\text{sup}} = (131-63)/70 \times 55 + 63 = 116 \text{ Kg/cm}^2$$

2.6.1 Ritiro del calcestruzzo

L'accorciamento dovuto al ritiro viene assunto pari a:

$$\varepsilon = 0,0003$$

e la conseguente caduta di tensione nell'acciaio da precompressione viene calcolata in base al modulo elastico dell'acciaio stesso :

$$\Delta\sigma_a = 0.0003 \times E_a = 600 \text{ Kg/cm}^2$$

2.6.2 Viscosità

Il valore della deformazione lenta del calcestruzzo (viscosità) al fine del calcolo delle cadute di tensione dell'acciaio si assume, secondo le norme pari a 2,3 volte la deformazione elastica

$$\Delta\sigma_{a(v)} = 2.3 \times 116 \times 5.39 = 1443 \text{ Kg/cm}^2$$

2.6.3 Rilassamento

La caduta di tensione dell'acciaio da precompressione per rilassamento dell'acciaio stesso, viene calcolata in base alla tensione iniziale di precompressione

posto: $f_{pti} = 13800$
 $f_{ptn} = 19000$

$$f_{pti} / f_{ptn} = 0.726$$

$r_x \leq 0.054$ dichiarato per trefolo stabilizzato

$$\Delta\sigma_{a(ri)} = 0.054 \times (1 - 2.5 \times (1443+600) / 13800) \times 13800 = 469 \text{ Kg/cm}^2$$

2.6.4 Accorciamento elastico

$$\Delta\sigma_{a(el)} = 116 \times 5.39 = 625 \text{ Kg/cm}^2$$

2.6.5 Perdita totale acciaio

$$\Delta\sigma = 600 + 1443 + 469 = 2512 \text{ Kg/cm}^2$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00	Foglio 13 di 46

3 VERIFICA SEZIONI TRAVE

Per valutare lo stato di sollecitazione della trave distingueremo le seguenti fasi :

Prima fase (Sola trave) :

- 1- al rilascio dei trefoli
- 2- sconto del 40% delle perdite
- 3- getto soletta e traversi

Seconda Fase (Trave + Soletta)

- 4- Permanente portato e sconto perdite residue
- 5- Carichi Accidentali

La verifica sismica non è stata condotta in quanto le sollecitazioni sono sempre inferiori a quelle di esercizio. L'analisi dello stato tensionale delle travi al lembo superiore ed inferiore per tutte le sopracitate fasi di lavoro e per le sezioni di cui abbiamo calcolato le sollecitazioni, è di seguito riportato:

SEZIONE: **Mezzeria**
FASE : **1 - Al rilascio dei Trefoli**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 5,4915 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{ss} = \text{----} \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 71,7906 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = 39,0111 \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	---	----------------------------------	----------------------------------

Forza di Precompressione :
 $N_p = 211,00 \text{ t}$
Eccentricità :
 $ea = 14,28 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = 30,135 \text{ [tm]}$
Momento esterno : $M_e = -11,720 \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = \underline{18,415 \text{ [tm]}}$

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = 211 \times \text{----} - 18,415 \times \text{----} = \text{----} \text{ [t/m}^2\text{]}$
$\Delta\sigma_s = 211 \times 5,4915 - 18,415 \times 71,7906 = -163,30 \text{ [t/m}^2\text{]}$
$\Delta\sigma_i = 211 \times 5,4915 + 18,415 \times 39,0111 = 1877,10 \text{ [t/m}^2\text{]}$

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} = \text{----} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$
$\sigma_s = -16,3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$
$\sigma_i = 187,7 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00		Foglio 15 di 46

$$\Delta\sigma_s = 0,00 \times 5,4915 - 11,54 \times 71,7906 = 828,46 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = 0,00 \times 5,4915 + 11,54 \times 39,0111 = -450,19 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{ss} = \text{---} + \text{---} = \text{---} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_s = -9,0 + 82,8 = 73,8 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_i = 170,7 + -45,0 = 125,7 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Mezzeria**

FASE : **4 - Sconto perdite residue + permanente portato**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 2,9629 m ²	1/W _{ss} = 14,1856 m ³	1/W _s = 5,369 m ³	1/W ₁ = 15,791 m ³
-----------------------------	--	---	--

Forza di Precompressione :

$$N_p = -23,05 \text{ t} \quad \text{Eccentricità :} \quad ea = 37,982 \text{ cm}$$

Momento di precompressione :

$$M_p = -8,753 \text{ [tm]}$$

Momento esterno :

$$M_e = -6,68 \text{ [tm]}$$

Momento risultante :

$$M_r = -15,43 \text{ [tm]}$$

Incremento di tensione normale

$$\Delta\sigma_{ss} = -23,05 \times 2,9629 - 15,43 \times 14,186 = 150,65 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_s = -23,05 \times 2,9629 - 15,43 \times 5,3690 = 14,58 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = -23,05 \times 2,9629 + 15,43 \times 15,7911 = -312,0 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{ss} = \text{---} + 15,06 = 15,06 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_s = 73,8 + 1,5 = 75,3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_i = 125,7 + -31,2 = 94,5 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Mezzeria**

FASE : **5 - Carichi accidentali**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 2,9629 m ²	1/W _{ss} = 14,1856 m ³	1/W _s = 5,3690 m ³	1/W ₁ = ##### m ³
-----------------------------	--	--	---

Forza di Precompressione :

$$N_p = 0,00 \text{ t} \quad \text{Eccentricità :} \quad ea = 37,982 \text{ cm}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 Foglio 16 di 46

Momento di precompressione : $M_p = 0,000$ [tm]
Momento esterno : $M_e = -43,152$ [tm]
Momento risultante : $M_r = -43,152$ [tm]

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = 0,00 \times 2,9629 - -43,15 \times 14,186 = 612,14$ [t/m²]
 $\Delta\sigma_s = 0,00 \times 2,9629 - -43,15 \times 5,369 = 231,68$ [t/m²]
 $\Delta\sigma_i = 0,00 \times 2,9629 + -43,15 \times 15,791 = -681,42$ [t/m²]

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} = 15,06 + 61,21 = 76,28$ [Kg/cm²]
 $\sigma_s = 75,3 + 23,2 = 98,5$ [Kg/cm²]
 $\sigma_i = 94,5 + -68,1 = 26,4$ [Kg/cm²]

SEZIONE: **Sez-2**
FASE : 1 - **Al rilascio dei Trefoli**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 5,4915$ m ⁻²	$1/W_{ss} =$ ---- m ⁻³	$1/W_s = 71,7906$ m ⁻³	$1/W_1 = 39,0111$ m ⁻³
--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

Forza di Precompressione : $N_p = 211,00$ t Eccentricità : $ea = 14,28$ cm

Momento di precompressione : $M_p = 30,135$ [tm]
Momento esterno : $M_e = -8,783$ [tm]
Momento risultante : $M_r = 21,352$ [tm]

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = 211 \times ---- - 21,352 \times ---- = ----$ [t/m²]
 $\Delta\sigma_s = 211 \times 5,4915 - 21,352 \times 71,791 = -374,15$ [t/m²]
 $\Delta\sigma_i = 211 \times 5,4915 + 21,352 \times 39,011 = 1991,68$ [t/m²]

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} = ----$ [Kg/cm²]
 $\sigma_s = -37,4$ [Kg/cm²]
 $\sigma_i = 199,2$ [Kg/cm²]

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : $T_e = 1,515$ t
Fattore di Taglio $v = 9,552$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 Foglio 17 di 46

Incremento tensione tangenziale :

$$\Delta\tau = 1,4 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione tangenziale Risultante :

$$\tau = 0 + 1,4 = 1,4 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 199,2 - (199,2 - 37,4) \times 0,55/0,7 = 13,28 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_a = 6,64 - (13,28^2 + 1,4^2)^{0,5} = -0,16 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Sez. 2**

FASE : **2 - Sconto 40%perdite**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 5,4915 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{ss} = \text{----} \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 71,7906 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = 39,0111 \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	---	----------------------------------	----------------------------------

Forza di Precompressione :

$$N_p = -15,60 \text{ t}$$

Eccentricità :

$$e_a = 14,28 \text{ cm}$$

Momento di precompressione :

$$M_p = -2,228 \text{ [tm]}$$

Momento esterno :

$$M_e = 0 \text{ [tm]}$$

Momento risultante :

$$M_r = -2,228 \text{ [tm]}$$

Incremento di tensione normale

$$\Delta\sigma_{ss} = -15,36 \times \text{----} - 2,228 \times \text{----} = \text{----} \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_s = -15,36 \times 5,4915 - 2,228 \times 71,791 = 75,60 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = -15,36 \times 5,4915 + 2,228 \times 39,011 = -171,29 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{ss} = \text{----} + \text{----} = \text{----} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_s = -37,4 + 7,6 = -29,9 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_i = 199,2 + -17,1 = 182,0 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 <div style="float: right;">Foglio 18 di 46</div>

SEZIONE: **Sez. 2**
FASE : **3 - Getto soletta e Trasversi**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 5,4915 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{ss} = \text{----} \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 71,7906 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = 39,0111 \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	---	----------------------------------	----------------------------------

Forza di Precompressione :
 $N_p = 0,00 \text{ t}$
Eccentricità :
 $ea = 14,28 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = 0,000 \text{ [tm]}$

Momento esterno : $M_e = \underline{-8,648} \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = \underline{-8,648} \text{ [tm]}$

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = 0,00$	x	----	-	-8,65	x	----	=	----	[t/m ²]
$\Delta\sigma_s = 0,00$	x	5,4915	-	-8,65	x	71,791	=	620,85	[t/m ²]
$\Delta\sigma_i = 0,00$	x	5,4915	+	-8,65	x	39,011	=	-337,37	[t/m ²]

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} = \text{----}$	+	----	=	----	[Kg/cm ²]
$\sigma_s = -29,9$	+	62,1	=	32,2	[Kg/cm ²]
$\sigma_i = 182,0$	+	-33,7	=	148,3	[Kg/cm ²]

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : $T_e = 1,492 \text{ t}$
Fattore di Taglio $v = 9,552$

Incremento tensione tangenziale :

$\Delta\tau = 1,4 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione tangenziale Risultante :

$\tau = 1,4 + 1,4 = 2,9 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$\sigma_a = 148,3 - (148,3 - 32,2) \times 0,56/0,7 = 55,44 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$S_a = 27,72 - (55,44^2 + 2,9^2)^{0,5} = -0,15 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

SEZIONE: **Sez.2**
 FASE : **4 - Sconto perdite residue + permanente portato**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 2,9629 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{ss} = 14,18562 \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 5,3690 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = 5 \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	----------------------------

Forza di Precompressione :
 $N_p = 0,60 \times 1,39 \times 74 \times 2427 = -23,40 \text{ t}$

Eccentricità :
 $ea = 37,982 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = -8,889 \text{ [tm]}$

Momento esterno : $M_e = -5,09 \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = -13,979 \text{ [tm]}$

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = -23,40 \times 2,9629 - (-13,98 \times 14,186) = 128,96 \text{ [t/m}^2\text{]}$

$\Delta\sigma_s = -23,40 \times 2,9629 - (-13,98 \times 5,369) = 5,71 \text{ [t/m}^2\text{]}$

$\Delta\sigma_i = -23,40 \times 2,9629 + (-13,98 \times 15,791) = -290,08 \text{ [t/m}^2\text{]}$

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} = 12,90 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$\sigma_s = 32,8 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$\sigma_i = 119,3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : $T_e = 0,86 \text{ t}$
 Fattore di Taglio $v = 9,31 \text{ m}^{-2}$

Incremento tensione tangenziale :
 $\Delta\tau = 40,982 \times 1,03 = 0,8 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione tangenziale Risultante :
 $\tau = 2,9 + 0,8 = 3,7 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :
 $\sigma_a = 119,3 - (119,3 - 32,8) \times 0,56 / 0,70 = 50,10 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$S_a = 25,05 - (25,05^2 + 3,7^2)^{0,5} = -0,27 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Foglio 20 di 46

IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00

SEZIONE: **Sez.2**
FASE : **5 - Carichi accidentali**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 2,9629 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{ss} = 14,18562 \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 5,3690 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = \frac{15,7910}{5} \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	--

Forza di Precompressione :
 $N_p = 0,00 \text{ t}$ Eccentricità :
 $ea = 0 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = 0,000 \text{ [tm]}$

Momento esterno : $M_e = -32,11 \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = -32,110 \text{ [tm]}$

Incremento di tensione normale

$$\Delta\sigma_{ss} = 0,00 \times 2,9629 - (-32,11) \times 14,186 = 455,50 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_s = 0,00 \times 2,9629 - (-32,11) \times 5,369 = 172,40 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = 0,00 \times 2,9629 + (-32,11) \times 15,791 = -507,05 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{ss} = 12,90 + 45,55 = 58,45 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_s = 32,8 + 17,2 = 50,0 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_i = 119,3 + (-50,7) = 68,6 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : $T_e = 5,675 \text{ t}$
Fattore di Taglio $v = 9,31 \text{ m}^{-2}$

Incremento tensione tangenziale :

$$\Delta\tau = \frac{107,091 \times 1,03}{5,3} = 5,3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione tangenziale Risultante :

$$\tau = 3,7 + 5,3 = 9,0 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 68,6 - \left(\frac{68,6 - 50,0}{0,56/0,7} \right) \times 0 = 53,75 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_a = 26,87 - \left(\frac{26,87^2 + 9,0^2}{0,5} \right)^{0,5} = -1,45 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	Foglio 21 di 46

IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00

Foglio
21 di 46

SEZIONE: **Sez-1**
FASE : **1 - Al rilascio dei Trefoli**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 5,4915 m ⁻²	1/W _{ss} = ---- m ⁻³	1/W _s = 71,7906 m ⁻³	1/W ₁ = 39,0111 m ⁻³
------------------------------	--	--	--

Forza di Precompressione :
N_p = = 76,73 t Eccentricità :
ea = 14,28 cm

Momento di precompressione : M_p = 10,958 [tm]
Momento esterno : M_e = -3,202 [tm]

Momento risultante : M_r = 7,756 [tm]

Incremento di tensione normale

 $\Delta\sigma_{ss} = 211 \times \text{----} = 7,756 \text{ [t/m}^2\text{]}$
 $\Delta\sigma_s = 211 \times 5,4915 = 7,756 \text{ [t/m}^2\text{]}$
 $\Delta\sigma_i = 211 \times 5,4915 + 7,756 = 1461,29 \text{ [t/m}^2\text{]}$

Tensione normale risultante:

 $\sigma_{ss} = \text{----} \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$
 $\sigma_s = 60,2 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$
 $\sigma_i = 146,1 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : T_e = 2,58 t
Fattore di Taglio v = 9,552

Incremento tensione tangenziale :

 $\Delta\tau = 2,5 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione tangenziale Risultante :

 $\tau = 0 + 2,5 = 2,5 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

 $\sigma_a = 146,1 - (146,1 - 60,2) \times 0,55/0,7 = 78,61 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$
 $S_a = 39,30 - (78,61^2 + 2,5^2)^{0,5} = -0,08 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

SEZIONE: **Sez. 1**
FASE : **2 - Sconto 40%perdite**

Caratteristiche geometriche della sezione

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 Foglio 23 di 46

$$\begin{aligned} \sigma_{SS} &= \text{----} + \text{----} = \text{----} \quad [\text{Kg/cm}^2] \\ \sigma_s &= 57,6 + 22,6 = 80,2 \quad [\text{Kg/cm}^2] \\ \sigma_i &= 134,5 + -12,3 = 122,2 \quad [\text{Kg/cm}^2] \end{aligned}$$

Tensioni Tangenziali :

$$\begin{aligned} \text{Sforzo Tagliante esterno :} & \quad \text{Te} = 2,54 \text{ t} \\ \text{Fattore di Taglio} & \quad \quad \quad v = 9,552 \end{aligned}$$

Incremento tensione tangenziale :

$$\Delta\tau = 2,4 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

Tensione tangenziale Risultante :

$$\tau = 2,5 + 2,4 = 4,9 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 122,2 - (122,2 - 80,2) \times 0,56/0,7 = 88,61 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

$$S_a = 44,31 - (88,61^2 + 4,9^2)^{0,5} = -0,27 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

SEZIONE: **Sez.1**

FASE : **4 - Sconto perdite residue + permanente portato**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 2,9629 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{SS} = 14,18562 \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 5,3690 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = \frac{15,7910}{5} \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	--

Forza di Precompressione :

$$N_p = 0,60 \times 1,39 \times 74 \times 2427 = -8,51 \text{ t}$$

Eccentricità :

$$e_a = 37,982 \text{ cm}$$

Momento di precompressione :

$$M_p = -3,232 \text{ [tm]}$$

Momento esterno :

$$M_e = -1,826 \text{ [tm]}$$

Momento risultante :

$$M_r = -5,058 \text{ [tm]}$$

Incremento di tensione normale

$$\Delta\sigma_{SS} = -8,51 \times 2,9629 - 5,06 \times 14,1856 = 46,54 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_s = -8,51 \times 2,9629 - 5,06 \times 5,36895 = 1,94 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = -8,51 \times 2,9629 + 5,06 \times 15,7911 = -105,09 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{SS} = \text{----} + 4,65 = 4,65 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

$$\sigma_s = 80,2 + 0,2 = 80,4 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 Foglio 24 di 46

$$\sigma_i = 122,2 + (-10,5) = 111,7 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : $T_e = 1,472 \text{ t}$
 Fattore di Taglio $v = 9,31 \text{ m}^{\wedge}2$

Incremento tensione tangenziale :
 $\Delta\tau = 40,982 \times 1,03 = 1,4 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione tangenziale Risultante :
 $\tau = 4,9 + 1,4 = 6,3 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 111,7 - (111,7 - 80,4) \times 0,56 / 0,70 = 86,66 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_a = 43,33 - (43,33^{\wedge}2 + 6,3^{\wedge}2)^{\wedge}0,5 = -0,45 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Sez.1**
 FASE : **5 - Carichi accidentali**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 2,9629 \text{ m}^{\wedge}2$	$1/W_{ss} = 14,18562 \text{ m}^{\wedge}3$	$1/W_s = 5,3690 \text{ m}^{\wedge}3$	$1/W_1 = \frac{15,7910}{5} \text{ m}^{\wedge}3$
------------------------------------	---	--------------------------------------	---

Forza di Precompressione : $N_p = 0,00 \text{ t}$ Eccentricità : $ea = 0 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = 0,000 \text{ [tm]}$

Momento esterno : $M_e = -8,329 \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = -8,329 \text{ [tm]}$

Incremento di tensione normale

$$\Delta\sigma_{ss} = 0,00 \times 2,9629 - 8,33 \times 14,1856 = 118,15 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_s = 0,00 \times 2,9629 - 8,33 \times 5,36895 = 44,72 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = 0,00 \times 2,9629 + 8,33 \times 15,7911 = -131,52 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{ss} = 4,65 + 11,82 = 16,47 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_s = 80,4 + 4,5 = 84,9 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_i = 111,7 + (-13,2) = 98,6 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$



Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno :

$$Te = 8,54 \text{ t}$$

Fattore di Taglio

$$v = 9,31 \text{ m}^2$$

Incremento tensione tangenziale :

$$\Delta\tau = 107,091 \times 1,03 = 8,0 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione tangenziale Risultante :

$$\tau = 6,3 + 8,0 = 14,2 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 98,6 - \left(\frac{98,6 - 84,9}{0,56/0,7} \right) \times 0 = 87,61 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_a = 43,81 - \left(\frac{43,81^2 + 14,2^2}{0,5} \right)^{0,5} = -2,25 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Sez - Appoggio**
 FASE : **1 - Al rilascio dei Trefoli**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 5,4915 m ²	1/W _{ss} = ---- m ³	1/W _s = 71,7906 m ³	1/W ₁ = 39,0111 m ³
-----------------------------	---	---	---

Forza di Precompressione :
 N_p = = 76,73 t Eccentricità :
 ea = 13,60 cm

Momento di precompressione : M_p = 10,435 [tm]
 Momento esterno : M_e = 0 [tm]

Momento risultante : M_r = 10,435 [tm]

Incremento di tensione normale

Δσ_{ss} = 211,002 x ---- - 10,435 x ---- = ---- [t/m²]
 Δσ_s = 211,002 x 5,491 - 10,435 x 71,791 = 409,58 [t/m²]
 Δσ_i = 211,002 x 5,491 + 10,435 x 39,011 = 1565,80 [t/m²]

Tensione normale risultante:

σ_{ss} = ---- [Kg/cm²]
 σ_s = 41,0 [Kg/cm²]
 σ_i = 156,6 [Kg/cm²]

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : T_e = 3,03 t
 Fattore di Taglio v = 3,583

Incremento tensione tangenziale :

Δτ = 1,1 [Kg/cm²]

Tensione tangenziale Risultante :

τ = 0 + 1,1 = 1,1 [Kg/cm²]

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

σ_a = 156,6 - (156,6 - 41,0) x 0,56/0,70 = 64,08 [Kg/cm²]

S_a = 32,04 - (64,08² + 1,1²)^{0,5} = -0,018 [Kg/cm²]

SEZIONE: **Sez - Appoggio**
 FASE : **2 - Sconto 40%perdite**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 5,4915 m ²	1/W _{ss} = ---- m ³	1/W _s = 71,7906 m ³	1/W ₁ = 39,0111 m ³
-----------------------------	---	---	---

Forza di Precompressione : Eccentricità :

$N_p = -5,67 \text{ t}$ $ea = 13,60 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = -0,772 \text{ [tm]}$
 Momento esterno : $M_e = 0 \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = -0,772 \text{ [tm]}$

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = -15,36$	x	----	-	$-0,772$	x	----	=	----	[t/m ²]
$\Delta\sigma_s = -15,36$	x	5,491	-	$-0,772$	x	71,791	=	-28,98	[t/m ²]
$\Delta\sigma_i = -15,36$	x	5,491	+	$-0,772$	x	39,011	=	-114,47	[t/m ²]

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} =$	----	+	----	=	----	[Kg/cm ²]
$\sigma_s =$	41,0	+	-2,9	=	38,1	[Kg/cm ²]
$\sigma_i =$	156,6	+	-11,4	=	145,1	[Kg/cm ²]

SEZIONE: **Sez - Appoggio**
 FASE : **3 - Getto soletta e Trasversi**

Caratteristiche geometriche della sezione

$1/A = 5,4915 \text{ m}^{-2}$	$1/W_{ss} = \text{----} \text{ m}^{-3}$	$1/W_s = 71,7906 \text{ m}^{-3}$	$1/W_1 = 39,0111 \text{ m}^{-3}$
-------------------------------	---	----------------------------------	----------------------------------

Forza di Precompressione : $N_p = 0,00 \text{ t}$ Eccentricità : $ea = 13,60 \text{ cm}$

Momento di precompressione : $M_p = 0,000 \text{ [tm]}$
 Momento esterno : $M_e = 0 \text{ [tm]}$

Momento risultante : $M_r = 0,000 \text{ [tm]}$

Incremento di tensione normale

$\Delta\sigma_{ss} = 0,00$	x	----	-	$0,00$	x	----	=	----	[t/m ²]
$\Delta\sigma_s = 0,00$	x	5,49149	-	$0,00$	x	71,7906	=	0,00	[t/m ²]
$\Delta\sigma_i = 0,00$	x	5,49149	+	$0,00$	x	39,0111	=	0,00	[t/m ²]

Tensione normale risultante:

$\sigma_{ss} =$	----	+	----	=	----	[Kg/cm ²]
$\sigma_s =$	38,1	+	0,0	=	38,1	[Kg/cm ²]
$\sigma_i =$	145,1	+	0,0	=	145,1	[Kg/cm ²]

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : $Te = 2,984 \text{ t}$
 Fattore di Taglio $v = 3,583$

Incremento tensione tangenziale :

$\Delta\tau = 1,1 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

Tensione tangenziale Risultante :

$$\tau = 1,1 + 1,1 = 2,2 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 145,1 - (145,1 - 38,1) \times 0,56 / 0,70 = 59,47 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_a = 29,74 - (59,47^2 + 2,2^2)^{0,5} = -0,08 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Sez - Appoggio**

FASE : **4 - Sconto perdite residue + Permanente portato**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 2,9629 m ⁻²	1/W _{ss} = 14,18562 m ⁻³	1/W _s = 5,3690 m ⁻³	1/W ₁ = 15,79105 m ⁻³
------------------------------	--	---	---

Forza di Precompressione :

$$N_p = 0,60 \times 1,39 \times 74 \times 2427 = -23,40 \text{ t}$$

Eccentricità :

$$e_a = 37,9818 \text{ cm}$$

Momento di precompressione :

$$M_p = -8,889 \text{ [tm]}$$

Momento esterno :

$$M_e = 0 \text{ [tm]}$$

Momento risultante :

$$M_r = -8,889 \text{ [tm]}$$

Incremento di tensione normale

$$\Delta\sigma_{ss} = -23,40 \times 2,9629 - 8,89 \times 14,1856 = 56,75 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_s = -23,40 \times 2,9629 - 8,89 \times 5,36895 = -21,62 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

$$\Delta\sigma_i = -23,40 \times 2,9629 + 8,89 \times 15,7911 = -209,70 \text{ [t/m}^2\text{]}$$

Tensione normale risultante:

$$\sigma_{ss} = 5,68 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_s = 38,1 + (-2,2) = 35,9 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_i = 145,1 + (-21,0) = 124,2 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno :

$$T_e = 1,728 \text{ t}$$

Fattore di Taglio

$$v = 3,892 \text{ m}^{-2}$$

Incremento tensione tangenziale :

$$\Delta\tau = 40,982 \times 1,03 = 0,7 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione tangenziale Risultante :

$$\tau = 2,2 + 0,7 = 2,8 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

$$\sigma_a = 124,2 - (124,2 - 35,9) \times 0,56 / 0,70 = 53,55 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

$$S_a = 26,78 - (26,78^2 + 2,8^2)^{0,5} = -0,15 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

SEZIONE: **Sez - Appoggio**
 FASE : **5 - Accidentali**

Caratteristiche geometriche della sezione

1/A = 2,9629 m ⁻²	1/W _{ss} = 14,18562 m ⁻³	1/W _s = 5,3690 m ⁻³	1/W ₁ = 15,79105 m ⁻³
------------------------------	--	---	---

Forza di Precompressione :
 N_p = 0,00 t Eccentricità :
 ea = 0 cm

Momento di precompressione : M_p = 0,000 [tm]
 Momento esterno : M_e = -1,49 [tm]

Momento risultante : M_r = -1,490 [tm]

Incremento di tensione normale

Δσ_{ss} = 0,00 x 2,9629 - -1,49 x 14,1856 = 21,14 [t/m²]
 Δσ_s = 0,00 x 2,9629 - -1,49 x 5,36895 = 8,00 [t/m²]
 Δσ_i = 0,00 x 2,9629 + -1,49 x 15,7911 = -23,53 [t/m²]

Tensione normale risultante:

σ_{ss} = 5,68 + 2,11 = 7,79 [Kg/cm²]
 σ_s = 35,9 + 0,8 = 36,7 [Kg/cm²]
 σ_i = 124,2 + -2,4 = 121,8 [Kg/cm²]

Tensioni Tangenziali :

Sforzo Tagliante esterno : T_e = 8,54 t
 Fattore di Taglio v = 3,892 m⁻²

Incremento tensione tangenziale :

Δτ = 107,091 x 1,03 = 3,3 [Kg/cm²]

Tensione tangenziale Risultante :

τ = 2,8 + 3,3 = 6,2 [Kg/cm²]

Tensione Principale :

Tensione normale al baricentro della sezione completa :

σ_a = 121,8 - (121,8 - 36,7) x 0,56 / 0,70 = 53,72 [Kg/cm²]

S_a = 26,86 - (26,86² + 6,2²)^{0,5} = -0,70 [Kg/cm²]

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00	Foglio 30 di 46

3.1 Verifica a fessurazione

Tensione di trazione ammissibile del calcestruzzo:

$$R'_{ck} = 1.2 \times 0.58 \times \sqrt[3]{R^2_{ck}} = 1.2 \times 0.58 \times \sqrt[3]{(550)^2} = 46.7 \text{ daN/cm}^2$$

$$M_{esterno} = 730.92 \text{ kNm}$$

$$M_f = 730,92 + (4670+2640) \times 0,06333 = 1193,86 \text{ kNm}$$

$$v = M_f / M_e = 1.63 > 1.30$$

3.1.1 Verifica a rottura

Il momento di servizio risulta :

$$M = 126.53 \text{ tm}$$

La verifica a rottura è stata effettuata con una semplice procedura in Basic, i cui tabulati sono allegati in Appendice C.

Si ottiene:

$$v = 2.23 > 1.5$$

3.1.2 Verifiche a taglio

3.1.2.1 Sezione d'appoggio

Verifica a taglio di sezione in cemento armato ordinario

Taglio prima fase

$$T_1 = 30,3 + 29,8 = 60,1 \text{ kN}$$

$$\tau_1 = 6010 \times 0.0003583 = 2.15 \text{ daN/cm}^2$$

Taglio seconda fase

$$T_2 = 17.28 + 85,4 = 102.68 \text{ kN}$$

$$\tau_2 = 10268 \times 0.0003892 = 4.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_{tot} = \tau_1 + \tau_2 = 2.2 + 4.0 = 6.2 \text{ Kg/cm}^2 < \tau_{c1}$$

$$\theta = 35 \times 100 \times 6.2 = 21700 \text{ Kg}$$

$$\theta_{st} = 2 \times 1.54 \times 5 \times 2200 = 33880 > \theta$$

⇒ staffe 1Φ14/20

3.1.2.2 Sezione 1

In corrispondenza della sezione 1 si è in presenza di pretensioni:

$$\text{tensione principale di trazione: } s_1 = -2.25 \text{ daN/cm}^2$$

$$\text{tensione tangenziale totale max: } \tau = 14.2 \text{ daN/cm}^2$$

$$\text{posto tg } \beta = s_1 / \tau = 0.0027$$

Area staffe per un intervallo $\Delta x = 1.00 \text{ m}$:

$$A_{st \text{ nec}} = T_d / (h \sigma_s) \Delta x \text{ tg } \beta$$

$$\text{dove: } T_d = 30,3 + 29,84 + 17,28 + 85,40 = 162,28 \text{ kN}$$

$$\sigma_s = 1800 \text{ Kg/cm}^2$$

$$h = 0,85 \text{ m}$$

$$A_{st \text{ nec}} = 0.28 \text{ cm}^2$$

$$A_{st \text{ prog}} = 1.54 \times 2 \times 5 = 15.4 \text{ cm}^2$$

$$>> A_{st \text{ nec}}$$

⇒ staffe Φ14/20

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00</p>	<p>Foglio 31 di 46</p>

3.2 Scorrimento trave-soletta

3.2.1 Sezione A-A

$$T_a = 40.35 + 1.91 = 42.26 \text{ t}$$

$$S_R = 120 \times 30 \times 0.798 \times 32 = 91930 \text{ cm}^3$$

$$J = 7120496 \text{ cm}^4$$

$$\theta = T \times S_r / J = 545 \text{ Kg/cm}$$

3.2.2 Sezione 1-1

$$T_1 = 28.37 + 1.34 = 29.71 \text{ t}$$

$$S_R = 120 \times 30 \times 0.798 \times 29 = 83311 \text{ cm}^3$$

$$J = 6650894 \text{ cm}^4$$

$$\theta = T \times S_r / J = 372 \text{ Kg/cm}$$

3.2.3 Sezione 2-2

$$T_1 = 16.38 + 0.78 = 17.16 \text{ t}$$

$$S_R = 120 \times 30 \times 0.798 \times 29 = 83311 \text{ cm}^3$$

$$J = 6650894 \text{ cm}^4$$

$$\theta = T \times S_r / J = 215 \text{ Kg/cm}$$

3.2.4 Tratto A-1

$$\theta_M = (545 + 372) / 2 = 459 \text{ Kg/cm}$$

$$A_f = 459 \times 150 / 2400 = 28.69 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armatura prevista } A_p = 150 / 15 \times 2 \times 1.54 = 30.8 \text{ cm}^2 > A_f \Rightarrow \Phi 14/15$$

3.2.5 Tratto 1-2

$$\theta_M = (372 + 215) / 2 = 186 \text{ Kg/cm}$$

$$A_f = 186 \times 150 / 2400 = 11.6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Armatura prevista } A_p = 150 / 20 \times 2 \times 1.13 = 16.95 \text{ cm}^2 > A_f \Rightarrow \Phi 12/20$$

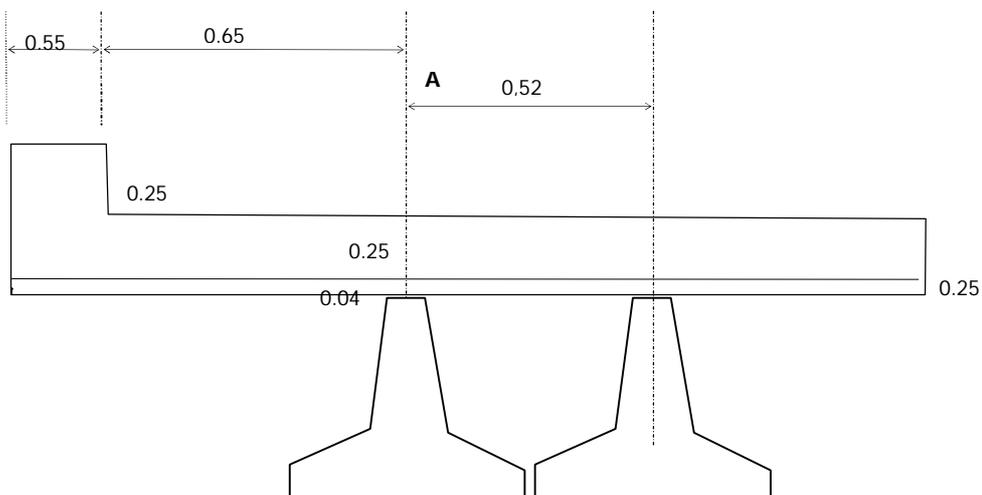
4 SOLETTA IMPALCATO

4.1 Coppella prefabbricata sbalzo max interno

4.1.1 Generalità

Massimo sbalzo in corrispondenza appoggi
 Da bordo impalcato ad asse trave di bordo $i = 1,20\text{m}$

Per il calcolo si adotta il seguente schema:



4.1.2 Analisi dei carichi

Il getto di prima fase sullo sbalzo dovrà essere interrotto ad una distanza $d = 0.70\text{ m}$ dal bordo dell'ala esterna della trave

p.p. coppella	$0.04 \times 25 \times 1.20 =$	1,20	x	0.60	=	0,72	kNm/m
p.p. getto in opera	$0.35 \times 25 \times 1.20 =$	3,68	x	0.35	=	1,65	kNm/m
mezzi d'opera	$0.5 \times 0.70 =$	0,35	x	0.35	=	0,123	kNm/m
		T =				2,49	kNm/m
							5,23 kN/m

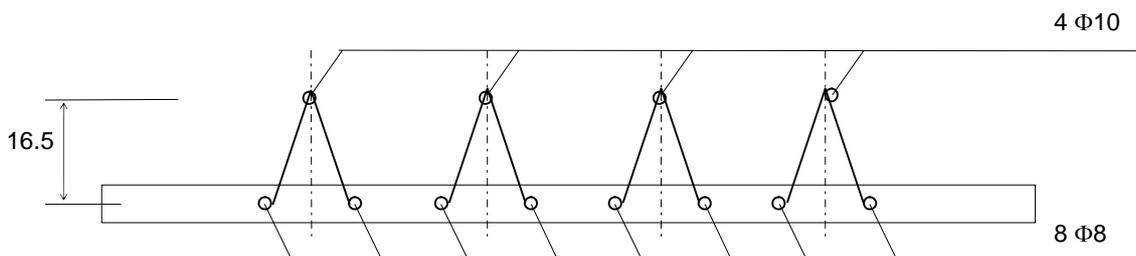
per coppella

$$T = 5,23 \times 1.20 = 6,28 \text{ kN}$$

$$M = 2,49 \times 1.20 = 3,00 \text{ kNm}$$

4.1.3 Caratteristiche geometriche della sezione resistente

Per il calcolo si considera il seguente schema:



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Foglio 33 di 46
IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00		

$$\begin{array}{rclclcl}
4 \times 0.785 & = & 3.14 & \times & 15.5 & = & 48.67 \text{ cm}^3 \\
8 \times 0.50 & = & 4.00 & \times & - & = & - \\
N & = & 7.14 \text{ cm}^2 & & & & 48.67 \text{ cm}^3
\end{array}$$

$$Y_g = 48.67 / 7.14 = 6.8 \text{ cm}$$

$$J = 3.14 \times 8.7^2 + 4.0 \times 6.8^2 = 423 \text{ cm}^4$$

4.1.4 Verifiche

4.1.4.1 Verifica a flessione

$$\begin{array}{rcl}
\sigma_s & = & 29880 \times 8.7 / 423 = 614 \text{ daN/cm}^2 \\
\sigma_i & = & 29880 \times 6.8 / 423 = 480 \text{ daN/cm}^2
\end{array}$$

4.1.4.2 Verifica del corrente inferiore compresso

$$\begin{array}{rcl}
\rho (\phi 8) & = & 0.2 \text{ cm } L_o = 35 / 2 = 17.5 \text{ cm } \lambda = 17.5 / 0.20 = 87.5 \\
\omega & = & 1.52 \text{ (secondo prospetto 7-IIIa delle norme CNR 10011/85)} \\
\sigma_{\text{punta}} & = & 480 \times 1.52 = 730 \text{ daN/cm}^2
\end{array}$$

4.1.4.3 Verifica a carico di punta della biella compressa del traliccio (vincoli alle estremità cerniera - incastro $l_o = 2/3 l$)

Taglio max. = 6,28 kN

$$\begin{array}{rcl}
\alpha & = & 60^\circ \quad \beta = 18^\circ \\
S_d & = & 6,28 / 8 \times (\sin 60 \times \cos 18) = 0,65 \text{ kN}
\end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
\rho (\phi 6) & = & 0.15 \text{ cm } \quad L_o = 2 / 3 \times 16.5 / (\sin 60 \cos 18) = 13.35 \quad \lambda = 13.35 / 0.15 = 89 \\
\omega & = & 1.54 \text{ (secondo prospetto 7-IIIa delle norme CNR 10011/85)} \\
\sigma_{\text{punta}} & = & 65 \times 1.54 / 0.282 = 355 \text{ daN/cm}^2
\end{array}$$

4.2 Verifica della soletta in condizioni di esercizio

4.2.1 Condizioni di carico

4.2.1.1 Permanenti

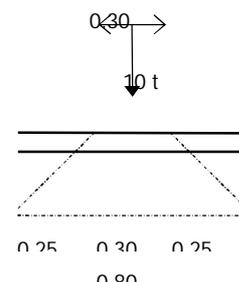
$$\begin{array}{rcl}
1) \text{ pavimentazione} & p_1 = & 3,00 \text{ kN/m}^2 \\
2) \text{ cordoli} & p_2 = 0.25 \times 25 = & 6,25 \text{ kN/m}^2
\end{array}$$

4.2.2 Verifica in campata fra le travi

Cautelativamente la soletta viene schematizzata come una piastra rettangolare di lunghezza indefinita, appoggiata sui due lati e caricata uniformemente su una zona rettangolare.

- 1) Considerando agente sulla soletta un carico isolato da 100 kN. abbiamo la seguente superficie di ripartizione:

$$\begin{array}{l}
t_x = t_y = 0.8 \\
l_x = 1.72 \\
\text{da manuale si ottengono i seguenti coefficienti:} \\
t_x / l_x = 0.80 / 1.72 = 0.465 \\
t_y / l_x = 0.80 / 1.72 = 0.465 \\
\alpha_{xm} = 0.148 \\
\alpha_{ym} = 0.073 \\
\text{coefficiente d'incremento dinamico } \Phi = 1.29
\end{array}$$



$$M_{xm} = 1.29 \times 100 \times 0.148 = 19,09 \text{ kNm/m}$$

$$M_{ym} = 1.29 \times 100 \times 0.073 = 9,42 \text{ kNm/m}$$

- 2) Considerando agente sulla soletta il carico permanente portato dovuto al peso della pavimentazione
 $\rho = 3,00 \text{ kN/m}^2$

$$t_x / l_x = 1$$

$$t_y / l_y = 1$$

$$\alpha_{xm} = 0.077$$

$$\alpha_{ym} = 0.021$$

$$M_{xm} = 3,00 \times 1.72^2 \times 0.077 = 0.68 \text{ kNm/m}$$

$$M_{ym} = 3,00 \times 1.72^2 \times 0.021 = 0.19 \text{ kNm/m}$$

4.2.2.1 Verifica in senso trasversale

$$M = 19,09 + 0.68 = 19,77 \text{ kNm/m} \quad \times 1.20 = 23,73 \text{ kNm}$$

$$A = 25 \quad B = 120 \quad H = 22 \quad H' = 3 \text{ cm}$$

$$A_f = 4 \Phi 12 + 8 \Phi 8 = 8.52 \text{ cm}^2$$

$$A'_f = 6 \Phi 12 = 6.78 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = 31 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_f = 1392 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Sommando lo stato preesistente:

$$\sigma_f = 261 + 1392 = 1653 \text{ Kg/cm}^2$$

4.2.2.2 Verifica in senso longitudinale

$$M = 9,42 + 0.19 = 9,61 \text{ kNm}$$

$$A = 25 \quad B = 100 \quad H = 19 \quad H' = 3 \text{ cm}$$

$$A_f = 5 \Phi 10 = 3.925 \text{ cm}^2$$

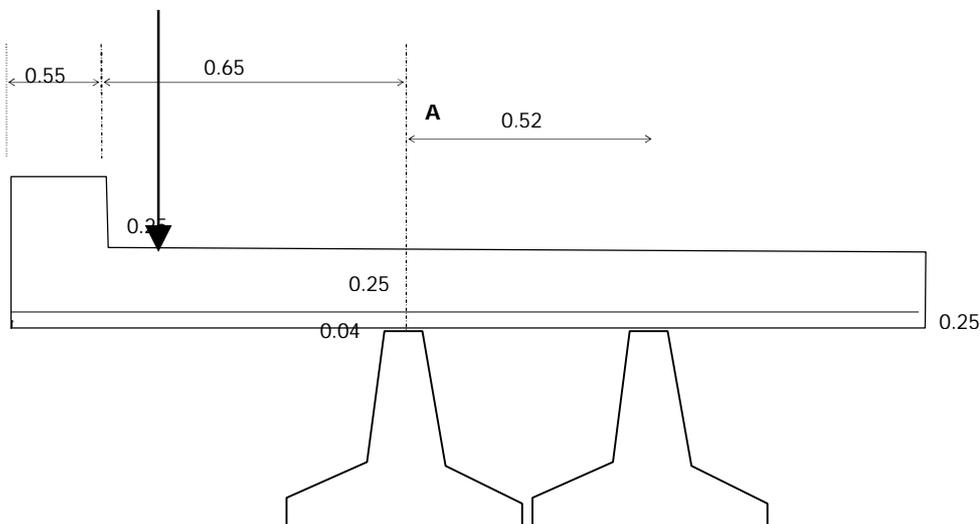
$$A'_f = 5 \Phi 10 = 3.925 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_c = 25 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_f = 1396 \quad \text{Kg/cm}^2$$

4.2.3 Verifica della soletta sullo sbalzo interno

Per il calcolo si adotta il seguente schema:



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00	Foglio 35 di 46

4.2.3.1 Analisi dei carichi

Si calcolano le sollecitazioni in corrispondenza della sez. A-A

Permanenti

cordolo 0.55 x 0.25 x 25 =	3,43	kNm	x 0,925 =	3,173	kNm/m	
soletta 0.25 x 1.20 x 25 =	7,50	kN/m	x 0.60 =	4,50	kNm/m	
pavim. 3,00 x 0.65 =	1,95	kN/m	x 0.325 =	0,6344	kNm/m	
	12,88	kN/m		8,31	kNm/m	
Barriera guardrail+fonoassorbente						
.	=	5,00	kN/m	x 0.925 =	4,63	kNm/m
		17,88	kN/m		12,94	kNm/m

Accidentale

ripartizione trasversale:

$$b = 0.50 + 0.50 + 0.30 = 1.30 \text{ m}$$

$$1.40 \times 100 / 1.30 = 107,70 \text{ kNm} \quad x 0.50 = 53,85 \text{ kNm/m}$$

Vento Trasversale

$$Q = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

$$2,50 \times 3,00 = 7,50 \text{ kNm} \times (1,50 + 0,10 + 0,125) = 12,94 \text{ kNm/m}$$

4.2.4 Verifica della soletta a flessione e taglio

$$M = 12,94 + 53,85 + 0,6 \times 12,94 = 74,55 \text{ kNm}$$

$$T = 17,88 + 107,70 = 125,58 \text{ kNm}$$

Elemento: soletta sbalzo impalcato - interno

Dati

geometrici:	Altezza sezione:	H =	25	cm
	Larghezza sezione	B =	100	cm
	Spaziatura orizzontale barre:	s =	20,00	cm
	Spaziatura verticale barre:	S =	0,00	cm
	Copertura ferro netta:	c =	4,00	cm
	Altezza utile:	h' =	21,00	cm

Armature:

strato arm.	posizione dello strato (cm)	A (cm ²)	barre (n ϕ diam)
1	2	3,35	6,66 ϕ 8
2	4	10,05	5 ϕ 16
3	22	5,65	5 ϕ 12
4	22	20,73	6,6 ϕ 20

Sollecitazioni:	Sforzo normale:	N =	0	daN
	Momento flettente:	M =	7455	daN m
		T =	12558	daN

Verifica a Taglio:		$\tau =$	6,34	daN/cm
---------------------------	--	----------	------	--------

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00		Foglio 36 di 46

2

Verifica a Flessione:

Asse neutro: x
 = 8,99 cm
 daN/cm
 $\sigma_c = 69$ 2
 daN/cm
 $\sigma_s = 1497$ 2

Materiale:

	Acciaio FeB	44	k	$\sigma_{s amm} = 2600$	daN/cm ²
	Calcestruzzo Rbk	350		$\sigma_{c amm} = 110$	daN/cm ²
	Modulo elastico acciaio=	2100000			
rif.2.1.2	Resistenza a trazione del cls fctm=	28,89		$\Phi = E_t / E_c = 0,50$	
rif.4.3.1.2	Resistenza a trazione del cls fck=	24,27		x = 10,59	cm
	Coeff.di omogeneizzazione=	15			

Scelta del valore limite di apertura delle fessure:

rif. 4.3.1.3	Condizione di carico	frequente	
rif. 4.3.1.4	Condizioni ambientali	mod.	aggressive
rif. 4.3.1.5	Armature poco sensibili		
rif. 4.3.1.6	Valore nominale di apertura:	w	0,2 mm

Occorre eseguire il calcolo dell'ampiezza delle fessure.

Verifiche:

Calcolo della distanza media tra le fessure:

rif. B.6.6.3	Barre ad aderenza migliorata(Y/N)?	y	
	Coeff. che caratterizza l'aderenza:	k2	0,4
	Coeff. che tiene conto del diagramma delle tensioni:	k3	0,188
	Larghezza efficace:	b _{eff.}	100,00 cm
	Altezza efficace:	d _{eff.}	7,20 cm
	Area efficace:	Ac _{eff.}	720,28 cm ²
	Area acciaio posta in Ac _{eff.} :	As	26,39 cm ²
	Percentuale di armatura efficace:	ρ_r	0,0366
	Distanza media tra le fessure:	S _{rm}	16,09 cm

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura:

	Tensione dell'acciaio:	σ_s	1496,61	daN/cm ²
	Tensione dell'acciaio 1° fessurazione:	σ_{sr}	608,81	daN/cm ²
	Coeff. rappresentativo aderenza:	β_1	1	
	Carichi di lunga durata(Y/N)?	y		
	Coeff. durata carichi:	β_2	0,5	
	Deformazione unitaria media:	ϵ_{sm}	0,0006537	

rif.4.3.1.7.1.2	Calcolo ampiezza delle fessure:	wk	0,179 mm	<	0,200 mm
-----------------	--	----	----------	---	----------

4.2.5 Verifica della soletta nel caso di urto di un veicolo in svio

Si considera agente un carico orizzontale H = 45 kN

$$M = 45 \times (0.60 + 0.21) = 36,45 \text{ kNm}$$

Larghezza di ripartizione almeno su due montanti:
 $b = 0.70 \times 2 + 1,15 = 2,55 \text{ m}$

$$M = 36,45 / 2,55 + 66,79 = 81,08 \text{ tm/m}$$

4.2.5.1 Verifica a tensoflessione

Elemento: soletta sbalzo impalcato - urto

Dati

geometrici:

Altezza sezione:	H =	25	cm
Larghezza sezione	B =	100	cm
Spaziatura orizzontale barre:	s =	20,00	cm
Spaziatura verticale barre:	S =	0,00	cm
Copertura ferro netta:	c =	4,00	cm
Altezza utile:	h' =	21,00	cm

Armature:

strato arm.	posizione dello strato (cm)	A (cm ²)	barre (n φ diam)
1	2	3,35	6,66 φ 8
2	4	10,05	5 φ 16
3	22	5,65	5 φ 12
4	22	20,73	6,6 φ 20

Sollecitazioni:	Sforzo normale:	N =	0	daN
	Momento flettente:	M =	8108	daN m
		T =	12558	daN

Verifica a Taglio:

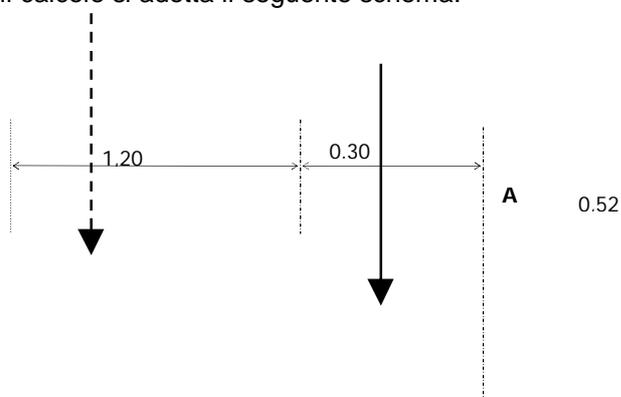
			5	daN/cm
		$\tau =$	6,34	2

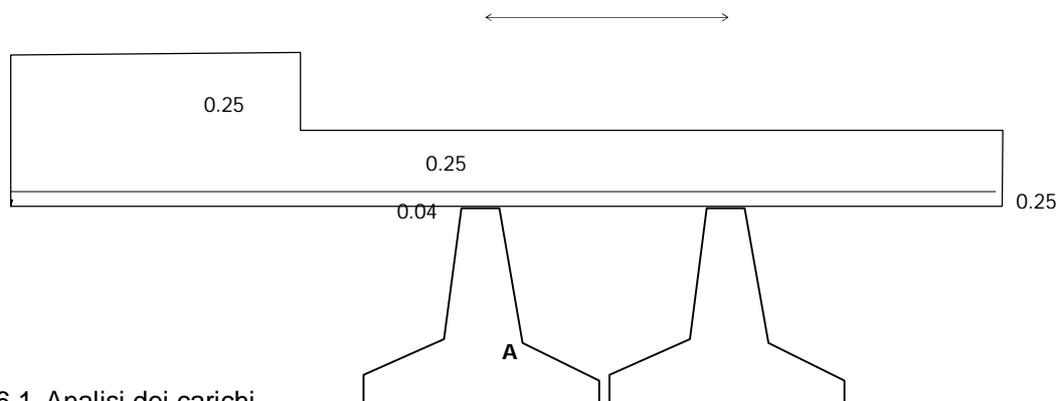
Verifica a Flessione:

	Asse neutro: x	=	8,99	cm
				daN/cm
	$\sigma_c =$		75	2
				daN/cm
	$\sigma_s =$		1628	2

4.2.6 Verifica della soletta sullo sbalzo esterno

Per il calcolo si adotta il seguente schema:





4.2.6.1 Analisi dei carichi

Si calcolano le sollecitazioni in corrispondenza della sez. A-A

Permanenti

marciapiede	$1,20 \times 0,25 \times 25 =$	$7,5$	kNm	$\times 0,90 =$	$6,75$	kNm/m
soletta	$0,25 \times 1,50 \times 25 =$	$9,375$	kNm/m	$\times 0,75 =$	$7,03$	kNm/m
pavim.	$3,00 \times 0,30 =$	$0,90$	kNm/m	$\times 0,15 =$	$0,135$	kNm/m
		$17,78$	kNm/m		$13,92$	kNm/m
parapetto						
.	$=$	$1,50$	kN/m	$\times 1,40 =$	$2,1$	kNm/m
		$19,28$	kN/m		$16,02$	kNm/m

Accidentale

ripartizione trasversale:

$$b = 2 \times 0,225 + 2 \times 0,15 + 0,30 = 1,05\text{m}$$

$$1,40 \times 100 / 1,05 = 133,33 \text{ kNm} \quad \times 0,150 = 20,00 \text{ kNm/m}$$

Vento Trasversale

$$Q = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

$$2,50 \times 3,00 = 7,50 \text{ kNm} \times (1,50 + 0,10 + 0,125) = 12,94 \text{ kNm/m}$$

4.2.7 Verifica della soletta a flessione e taglio

$$M = 16,02 + 20,00 + 0,6 \times 12,94 = 43,78 \text{ kNm}$$

$$T = 19,28 + 133,33 = 152,61 \text{ kN}$$

Elemento: soletta sbalzo esterno

Dati

geometrici:	Altezza sezione:	H =	25 cm
	Larghezza sezione	B =	100 cm
	Spaziatura orizzontale barre:	s =	20,00 cm
	Spaziatura verticale barre:	S =	0,00 cm
	Copertura ferro netta:	c =	4,00 cm
	Altezza utile:	h' =	21,00 cm

Armature:

strato arm.	posizione dello strato (cm)	A (cm ²)	barre (n ϕ diam)
1	2	3,35	6,66 ϕ 8

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE		Foglio 39 di 46
		IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00	

2	4	10,05	5	ϕ	16
3	22	10,05	5	ϕ	16
4	22	9,50	2,5	ϕ	22

Sollecitazioni: Sforzo normale: N = 0 daN
Momento flettente: M = 4378 daN m
T = 15261 daN

Verifica a Taglio: $\tau = 7,71 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$

Verifica a Flessione: Asse neutro:
x = 8,00 cm
 $\sigma_c = 45 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$
 $\sigma_s = 1169 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$

Materiale: Acciaio FeB 44 k $\sigma_{s \text{ amm}} = 2600 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$
Calcestruzzo Rbk 400 $\sigma_{c \text{ amm}} = 122,5 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$
Modulo elastico acciaio= 2100000 daN/cm²
Resistenza a trazione del cls fctm= 31,58 daN/cm² $\Phi = \frac{E_t}{E_c} = 0,50$
Resistenza a trazione del cls fck= 26,53 daN/cm² x = 9,59 cm
Coeff.di omogeneizzazione= 15

Scelta del valore limite di apertura delle fessure:

rif. 4.3.1.3 Condizione di carico frequente
rif. 4.3.1.4 Condizioni ambientali mod. aggressive
rif. 4.3.1.5 Armature poco sensibili
rif. 4.3.1.6 Valore nominale di apertura: w 0,2 mm

Occorre eseguire il calcolo dell'ampiezza delle fessure.

Verifiche: Calcolo della distanza media tra le fessure:

rif. B.6.6.3 Barre ad aderenza migliorata(Y/N)? y
Coeff. che caratterizza l'aderenza: k2 0,4
Coeff. che tiene conto del diagramma delle tensioni: k3 0,188
Larghezza efficace: beff. 100,00 cm
Altezza efficace: deff. 7,70 cm
Area efficace: Ac.eff. 770,44 cm²
Area acciaio posta in Ac.eff.: As 19,56 cm²
Percentuale di armatura efficace: ρ_r 0,0254
Distanza media tra le fessure: Srm **18,50** cm

Calcolo della deformazione unitaria media dell'armatura:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 Foglio 40 di 46

Tensione dell'acciaio:	σ_s	1169,39	daN/cm ²
Tensione dell'acciaio 1° fessurazione:	σ_{sr}	783,69	daN/cm ²
Coeff. rappresentativo aderenza:	β_1	1	
Carichi di lunga durata(Y/N)?	y		
Coeff. durata carichi:	β_2	0,5	
Deformazione unitaria media:	ϵ_{sm}	0,0004318	

rif.4.3.1.7.1.2 **Calcolo ampiezza delle fessure:** wk = 0,136 mm < 0,200 mm

4.2.8 Verifica della soletta nel caso di veicolo su marciapiede

Accidentale

ripartizione trasversale:

$$b = 2x (0.125 + 0.25) + 2x1,25 + 3.30 = 6,55m$$

non si applica incremento dinamico al mezzo in sormonto del marciapiede considerando tre semiassi da 100kN ciascuno:

$$300 / 6,55 = 45,80 \text{ kNm} \quad x 1,25 = 57,25 \text{ kNm/m}$$

$$\begin{aligned}
 M &= 16,02 + 57,25 = 73,27 \text{ kNm} \\
 T &= 19,28 + 45,80 = 65,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Elemento: soletta sbalzo esterno con sormonto

Dati

geometrici:	Altezza sezione:	H =	25 cm
	Larghezza sezione	B =	100 cm
	Spaziatura orizzontale barre:	s =	20,00 cm
	Spaziatura verticale barre:	S =	0,00 cm
	Copertura ferro netta:	c =	4,00 cm
	Altezza utile:	h' =	21,00 cm

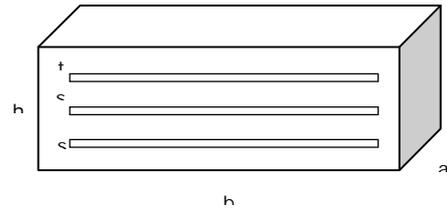
Armature:

strato arm.	posizione dello strato (cm)	A (cm ²)	barre (n ϕ diam)
1	2	3,35	6,66 ϕ 8
2	4	10,05	5 ϕ 16
3	22	5,65	5 ϕ 12
4	22	15,71	5 ϕ 20

Sollecitazioni: Sforzo normale: N = 0 daN

5 APPARECCHI D'APPOGGIO

L'apparecchio d'appoggio è del tipo multistrato in gomma elastomerica con interposti dei lamierini in acciaio



5.1 Analisi dei carichi

Per i valori sotto riportati vedi analisi dei carichi per verifica pulvini Pile

5.1.1 Permanenti
 $P_P = 74,93 \text{ kN}$

5.1.2 Accidentali
 $P_A = 136,08 \text{ kN}$

5.1.3 Frenatura
 $H_L = 90,0 / 15 = 6,00 \text{ kN}$

5.1.4 forza centrifuga
 $H_T = 337,50 / 15 = 22,25 \text{ kN}$
 Al piano appoggi:

$$M_T = 22,25 \times (1,00 + 0,95) = 43,38 \text{ kNm}$$

Posto Wt per trave di bordo = 20 m^3 (vedi calcolo azioni sul pulvino)

$$\Delta N = 43,38 / 20,00 = \pm 2,17 \text{ kN}$$

5.1.5 Vento trasversale

a) Permanenti

$$H_T = 31,88 / 15 = 2,125 \text{ kN}$$

Al piano appoggi:

$$M_T = 31,88 \times (1,10/2 + 0,10) = 20,72 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = 20,72 / 20,0 = \pm 1,04 \text{ kN}$$

b) Accidentali

$$H_T = 53,44 / 15 = 3,562 \text{ kN}$$

Al piano appoggi:

$$M_T = 31,88 \times (1,50 + 0,10 + 0,85 + 0,10) = 81,29 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = 81,29 / 20,0 = \pm 4,06 \text{ kN}$$

5.1.6 sisma

5.1.6.1 Sisma verticale

$$\beta = 2.5$$

$$N = 2 \times 1.2 \times 1.0 \times 2.5 \times 0.04 \times 74,93 = \pm 17,98 \text{ kN}$$

5.1.6.2 Sisma orizzontale

Sisma longitudinale

$$H_L = 1.2 \times 1.0 \times 2.5 \times 0.04 \times 74,93 = 8,99 \text{ kN}$$

Sisma trasversale

$$H_L = 1.2 \times 1.0 \times 2.5 \times 0.04 \times 74,93 = 8,99 \text{ kN}$$

$$M_T = 2.5 \times 258,98 = 647,45 \text{ kNm}$$

$$\Delta N = 647,45 / 20 = \pm 32,37 \text{ kN}$$

5.2 Verifica apparecchi d'appoggio

5.2.1 Caratteristiche geometriche:

profondità cuscino	a =	15,0	cm
larghezza cuscino	b =	30,0	cm
distanza dal bordo esterno	t =	0,3	cm
distanza fra i lamierini	s =	1,2	cm
spessore lamierini	sa =	0,2	cm
numero lamierini	n =	3	
spessore complessivo gomma	hg =	3,0	cm
spessore complessivo lamierini	ha =	0,6	cm
altezza cuscino	h = hg + ha =	3,6	cm
Area cuscino	Ac = a b =	450,0	cm ²
coefficiente di forma:			
	$\mu = a b / [2 s (a + b)] =$	4,2	
modulo di elasticità tangenziale della gomma	G =	10,0	Kg/cm ²

5.2.2 Azioni verticali

Per le azioni trasmesse dall'impalcato si rimanda ai tabulati relativi.

Permanenti:	fase 1	N =	7493	daN	permanente
	fase 2	N =	104	daN	vento
		Np =	7597	daN	

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p style="text-align: center;">IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 44 di 46</p>

Accidentali	fase 3	Na =	13608,0 daN	Accidentale N
			8129,0 daN	Accidentale MT
			217,0 daN	Centrifuga MT
			<u>104,0 daN</u>	vento MT
			22058 daN	

Sisma		Ns = 2 c Np =	1798,0 daN	sisma N
			<u>3237,0 daN</u>	sisma MT
			5035,0 daN	

5.2.3 Azioni orizzontali

Permanenti:	fase 1	H1 =	212,5 daN	vento
	fase 2	H2 =	<u>0 daN</u>	
		Hp =	213 daN	

Accidentali	fase 3	HaL =	600,0 daN	Frenatura HL
			2226,0 daN	Centrifuga HT 1
			<u>356,2 daN</u>	Vento HT 1
		Ha T =	2582,2 daN	

Sisma		Hs =	899,0 daN	HT = HL
-------	--	------	-----------	---------

5.2.4 Rotazioni

rotazioni dovute alla	fase 1	$\alpha_1 =$	0,00213	rad
rotazioni dovute alla	fase 2	$\alpha_2 =$	0,00056	rad
rotazioni dovute alla	fase 3	$\alpha_3 =$	0,00281	rad
rotazioni dovute ad errori di posa		$\alpha_p =$	0,005	rad
rotazioni dovute a:				
permanent		$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_p =$	0,00769	rad
perm. + acc.		$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_p =$	0,01050	rad

5.2.5 Tensioni tangenziali dovute ad H

$$\tau H = (H_p + 0,5 H_a) / A_c$$

perm. + acc.	$\tau H_{p+a} =$	1,14	Kg/cm ²
perm. + acc.	$\tau H_{p+a} =$	2,87	Kg/cm ²
perm. + sisma	$\tau H_s =$	2,00	Kg/cm ²

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV07-0X-004-A00 Foglio 45 di 46

scorrimento elastico dovuto ad H

perm. + acc.	$tg \gamma_{p+a} = \tau_p / G =$	0,114
perm. + sisma	$tg \gamma_s = \tau_s / G =$	0,200

spostamento orizzontale elastico dovuto ad H

perm. + acc.	$u_{p+a} = hg \, tg \, \gamma =$	0,342	cm
perm. + sisma	$u_s = hg \, tg \, \gamma =$	0,599	cm

5.2.6 Tensioni tangenziali dovute ad α

$$\tau = Ga^2 / (2 s \, hg) \, tg \alpha$$

permanente	$\tau_{Hp} =$	2,40	Kg/cm ²
perm. + acc.	$\tau_{Hp+a} =$	3,28	Kg/cm ²

5.2.7 Tensioni normali

Area ridotta soggetta al carico N

$$Ar = a \, b \, (1 - u_a / a) =$$

permanente	$\sigma_v p = N_p / Ar =$	17,58	Kg/cm ²
accidentale	$\sigma_v a = N_a / Ar =$	51,06	Kg/cm ²
sisma	$\sigma_v s = N_s / Ar =$	11,65	Kg/cm ²

5.2.8 Tensioni tangenziali dovute ad N

$$\tau_v = 1,5 \, \sigma_v / \mu$$

permanente	$\tau_v p =$	6,33	Kg/cm ²
accidentale	$\tau_v a =$	18,38	Kg/cm ²
sisma	$\tau_v s =$	4,20	Kg/cm ²

5.2.9 Deformazioni

Accorciamento elastico dell'appoggio

$$\Delta h = \sigma_v \, hg / (5 \, G \, \mu^2 + 3 \, \sigma_v)$$

perm. + acc.	$\Delta h_{p+a} =$	0,192	cm
perm. + sisma	$\Delta h_{p+s} =$	0,092	cm

5.2.10 Verifiche di resistenza

a. permanente + accidentale	$\sigma_v =$	68,64	daN/cm ²	< 150	daN/cm ²
-----------------------------	--------------	-------	---------------------	-------	---------------------

b. permanente + sisma	$\sigma'v =$	29,24	daN/cm ²	< 100	daN/cm ²
c. $[\tau N + \tau \alpha]_{p+a} \leq 3 G$	$\tau N + \tau \alpha =$	27,99	daN/cm ²	< 30	daN/cm ²
d. $[\tau N + \tau \alpha]_{p+s} \leq 3 G$	$\tau N + \tau \alpha =$	13,81	daN/cm ²	< 30	daN/cm ²
e. $[\tau H]_{p+a} \leq 0,5 G$	$\tau H =$	1,14	daN/cm ²	< 5	daN/cm ²
f. $[\tau H]_{p+s} \leq 0,5 G$	$\tau H =$	2,00	daN/cm ²	< 5	daN/cm ²
g. $[\Delta h]_{p+a} \geq a \operatorname{tg} \alpha / 6$	$\Delta h p =$	0,192	cm	> 0,026	cm
h. $[\Delta h]_{p+s} \geq a \operatorname{tg} \alpha / 6$	$\Delta h p+a =$	0,092	cm	> 0,026	cm

5.2.11 Verifiche allo slittamento

a. $(H / N)_{\max} \leq f$

posto un coefficiente d'attrito gomma-cls pari a:

perm.	$f = 0,1 + 0,2 / \sigma v p =$	0,21			
acc.	$f = 0,1 + 0,2 / \sigma v a =$	0,14	$f p+s =$	0,49	
sisma	$f = 0,1 + 0,2 / \sigma v s =$	0,27	$f p+a =$	0,35	

permanenti + sisma	$[H / N]_{p+s} =$	0,09		< f	
perm. + acc.	$[H / N]_{p+a} =$	0,03			

b. $\sigma v \min \geq 15 \text{ Kg/cm}^2$ $\sigma v \min =$ 17,58 daN/cm² > 15 daN/cm²

5.2.12 Verifica di stabilità

Poiché l'appoggio risulta:

$$h = 3,6 \text{ cm} > 3 \text{ cm} = a / 5$$

necessita di verifica di stabilità:

$[\sigma v]_{p+a} \leq 2/3 a/h \mu G$	$\sigma v =$	68,64	daN/cm ²	< 115,74	daN/cm ²
$[\sigma v]_{p+s} \leq 2/3 a/h \mu G$	$\sigma v =$	29,24	daN/cm ²	< 115,74	daN/cm ²

5.2.13 Verifica delle armature metalliche

Lo spessore d'acciaio deve risultare:

dove $\sigma_{amm} = 1600 \text{ daN/cm}^2$

$sa \geq 2 s [\sigma v]_{p+a} / \sigma_{amm}$	$sa =$	0,20	cm	> 0,04	cm
$sa \geq 2 s [\sigma v]_{p+s} / \sigma_{amm}$	$sa =$	0,20	cm	> 0,10	cm