

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**  
**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE**

**CAVALCAFERROVIA al km 29+500**

Impalcato – Relazione di calcolo

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

NR1J 01 D 29 CL IV0107 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Serrau	10-2018	M. Monda	10-2018	T. Paoletti	10-2018	F. Arduini Direzione Tecnica Infrastrutture Centro ITALFERR S.p.A. Orizzonti - Edificio Arduini Via degli Ingegneri della Provincia di Roma N. 13500 - 00144
B	Revisione	F. Serrau	Magg.2020	M. Monda	Magg.2020	T. Paoletti	Magg.2020	

## INDICE

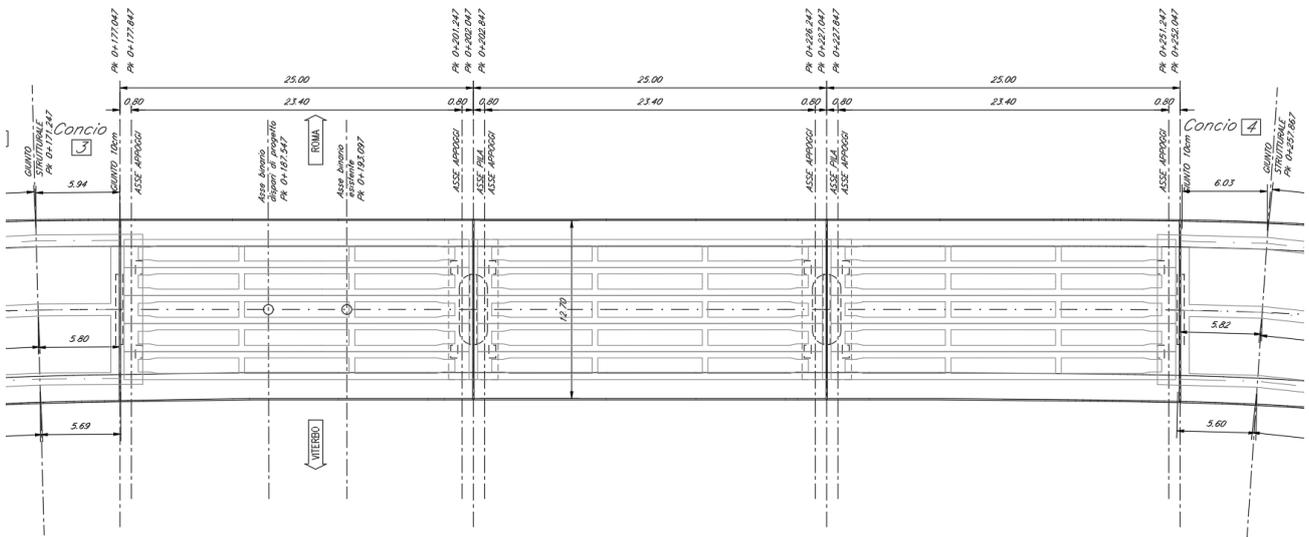
1	PREMESSA .....	5
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....	9
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	9
2.2	ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO .....	9
3	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA .....	11
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	13
4.1	DATI GENERALI.....	13
4.2	CARATTERISTICHE TECNICHE .....	13
5	ANALISI DEI CARICHI .....	16
5.1	AZIONI SULLA STRUTTURA IN CONDIZIONI STATICHE .....	16
	<i>Pesi propri strutturali (<math>g_1</math>) .....</i>	<i>16</i>
	5.1.1.1 <i>Cassoncini in C.A.P .....</i>	5.1.1.1 <i>16</i>
	5.1.1.2 <i>Impalcato .....</i>	5.1.1.2 <i>17</i>
	5.1.2 <i>Permanenti portati (<math>g_2</math>) .....</i>	5.1.2 <i>18</i>
	5.1.3 <i>Carichi mobili (<math>q_1</math>).....</i>	5.1.3 <i>18</i>
	5.1.4 <i>Azione longitudinale di frenamento o di accelerazione (<math>q_3</math>) (§ 5.1.3.5) .....</i>	5.1.4 <i>23</i>
	5.1.5 <i>Ritiro calcestruzzo (<math>\epsilon_2</math>).....</i>	5.1.5 <i>24</i>
	5.1.6 <i>Variazioni termiche (<math>\epsilon_3</math>) .....</i>	5.1.6 <i>26</i>
	5.1.7 <i>Scorrimenti viscosi (<math>\epsilon_4</math>) .....</i>	5.1.7 <i>26</i>
	5.1.8 <i>Azione centrifuga (<math>q_4</math>).....</i>	5.1.8 <i>27</i>
	5.1.9 <i>Azione del vento (<math>q_5</math>).....</i>	5.1.9 <i>28</i>
	5.1.10 <i>Resistenze passive dei vincoli (<math>q_9</math>).....</i>	5.1.10 <i>33</i>
	5.1.11 <i>Urto del veicolo in svio sulle barriere sicurvvia (<math>q_8</math>) .....</i>	5.1.11 <i>33</i>
5.2	AZIONI SULLA STRUTTURA IN CONDIZIONE SISMICA .....	36
	5.2.1 <i>Individuazione della pericolosità del sito.....</i>	5.2.1 <i>37</i>
	5.2.2 <i>Scelta della strategia di progettazione.....</i>	5.2.2 <i>38</i>

5.2.3	Determinazione del fattore di struttura.....	38
5.2.4	Determinazione dell'azione di progetto.....	38
5.2.5	Parametri per lo stato limite SLV .....	40
6	COMBINAZIONI DI CARICO .....	42
6.1	COMBINAZIONI ELEMENTARI DI CALCOLO.....	42
6.2	DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI DI CARICO.....	42
6.3	COMBINAZIONI RELATIVE AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	44
6.4	COMBINAZIONI STATICHE SLU E SLE.....	45
6.5	TRAFFICO .....	45
6.6	AZIONE SISMICA .....	47
6.7	COEFFICIENTI PARZIALI – EFFETTI GLOBALI .....	47
6.8	COEFFICIENTI PARZIALI – EFFETTI LOCALI .....	51
7	IMPOSTAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO STRUTTURALE .....	57
7.1	MODELLO LOCALE .....	57
7.2	MODELLO GLOBALE .....	57
8	IMPALCATO: ANALISI EFFETTI GLOBALI .....	73
8.1	TRAVI PRINCIPALI .....	74
8.1.1	Sezione in mezzeria (M+).....	74
8.1.1.1	Verifica SLE- tensionale.....	76
8.1.1.2	Verifica SLU-STR.....	87
8.1.1.3	Verifica fessurazione.....	87
8.1.2	Sezione a 5 metri dall'appoggio.....	88
8.1.2.1	Verifiche SLE – tensionali .....	90
8.1.2.2	Verifiche SLU-STR.....	101
8.1.3	Sezione all'appoggio: verifica a taglio.....	101
8.2	TRAVERSI .....	104
8.2.1	Momento positivo.....	104
8.2.1.1	Verifica SLE- tensionale.....	104
8.2.1.2	Verifica SLU-STR.....	116

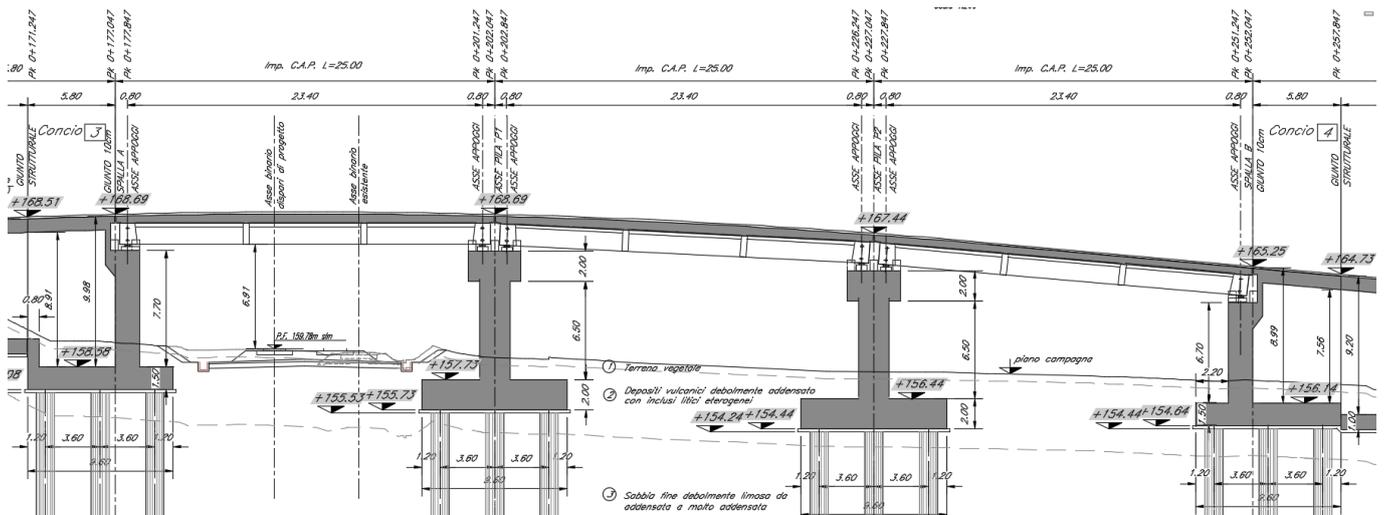
8.2.2	Momento negativo .....	117
8.2.2.1	Verifica SLE -tensionale.....	117
8.2.2.2	Verifica SLU_STR.....	130
8.3	APPARECCHI DI APPOGGIO.....	132
8.3.1	Scarichi sugli apparecchi di appoggio .....	132
8.3.2	Verifica varchi e spostamenti apparecchi di appoggio .....	133
8.4	VERIFICA DEFORMABILITÀ IMPALCATO.....	135
9	IMPALCATO: ANALISI EFFETTI LOCALI.....	137
9.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	137
9.1.1	Caratteristiche geometriche dei frames.....	137
9.1.2	Condizioni di vincolo del modello.....	138
9.1.3	Descrizione delle condizioni di carico.....	138
9.1.3.1	Carichi strutturali e carichi permanenti .....	138
9.1.3.2	Carichi mobili q <sub>1</sub> .....	141
9.1.3.3	Carichi Schema 1:.....	142
9.1.3.4	Carichi Schema 2:.....	143
9.1.3.5	Azione del vento q <sub>5</sub> .....	145
9.1.3.6	Salto termico ε <sub>3</sub> .....	145
9.1.3.7	Urto dei veicoli in svio .....	146
9.1.4	Analisi dei risultati .....	146
9.2	VERIFICHE STRUTTURALI.....	147
9.2.1	Soletta .....	148
9.2.1.1	Verifica armatura trasversale .....	148
9.2.1.2	Verifica a taglio.....	153
9.2.2	Verifica nervature travi CAP .....	153
9.2.3	Verifica predalles in fase di getto.....	159
10	INCIDENZE.....	162

**1 PREMESSA**

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo dell'impalcato del cavalcaferrovia IV01 previsto nell'ambito dell'intervento della realizzazione del raddoppio della ferrovia Roma - Viterbo nella tratta extraurbana tra la stazione di Cesano di Roma e la stazione di Vigna di Valle, da progr. Km 27+811 a progr. Km 39+280, con relativa eliminazione dei passaggi a livello.



**Fig. 1 – Stralcio planimetrico cavalcaferrovia IV01**



**Fig. 2 – Profilo cavalcaferrovia IV01**

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le disposizioni vigenti in Italia e con riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale, secondo il DM 17 gennaio 2018 e a quanto previsto dal MdP RFI.

L'impalcato oggetto della presente relazione, è realizzato con un sistema di travi prefabbricate in cemento armato precompresso. La precompressione è realizzata mediante: 44 trefoli da 0.6" nella parte centrale della trave e 32 trefoli da 0.6" nella zona terminale (5 m dall'appoggio). Lo schema statico è quello di tre travi semplicemente appoggiate alle estremità di luce netta pari a 23.40 m. Ogni impalcato è caratterizzato da una larghezza complessiva pari a 12.70 m (di cui 9.00 m relativi alla carreggiata stradale).

La struttura dell'impalcato si compone con cassoncini prefabbricati in c.a.p., aventi un interasse di 2 m e lunghezza pari a 24.40 m. Le travi principali sono solidarizzate da 4 traversi (2 sull'asse-appoggi e 2 in campata) prefabbricati insieme alle travi (precompressione con 1 cavo superiore da 7 trefoli da 0.6" e 1 cavo inferiore da 7 trefoli da 0.6"). Le travi hanno un'altezza costante pari a 1.40 m, una larghezza superiore di 2 m ed inferiore di 1 m. Lo spessore medio della soletta inferiore è di 0.23 m mentre quello delle anime è di 0.14 m. La soletta di completamento in cemento armato ha uno spessore variabile tra 0.25÷0.48 m.

Il viadotto che interessa l'impalcato in oggetto è composto da tre campate appoggiate su due pile.

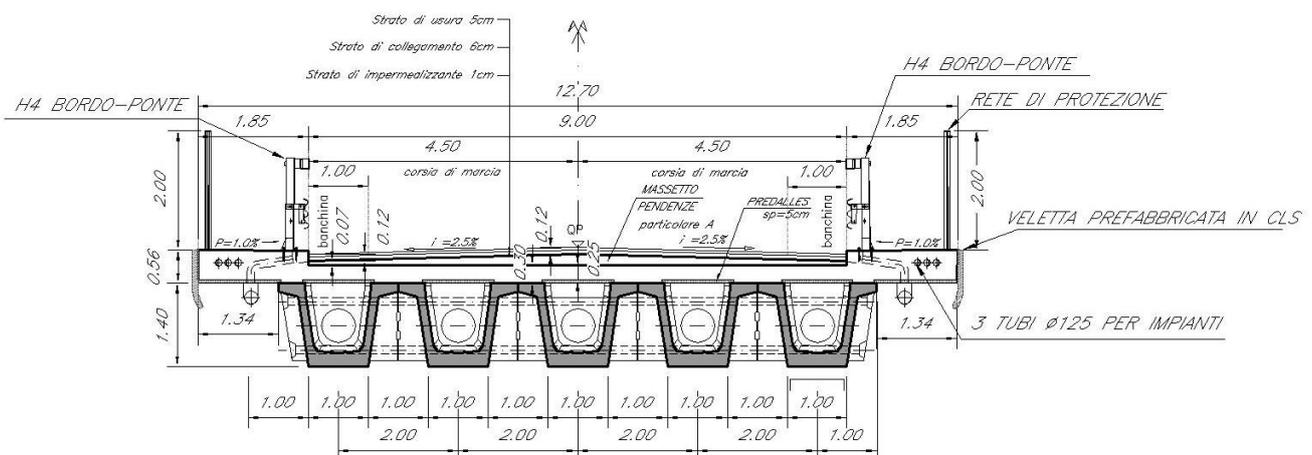


Fig. 3 – Sezione impalcato in retto

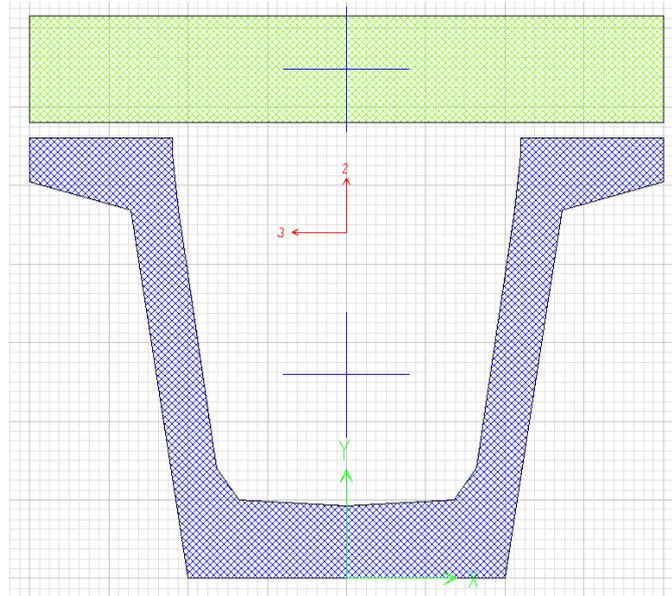


Fig. 4 – Sezione tipo cassoncino in c.a.p. con soletta collaborante superiore, modello di calcolo SAP2000

Lo schema di vincolo di ogni impalcato prevede cinque apparecchi di appoggio per ognuna delle estremità, con schema globale di tipo fisso – unidirezionale.

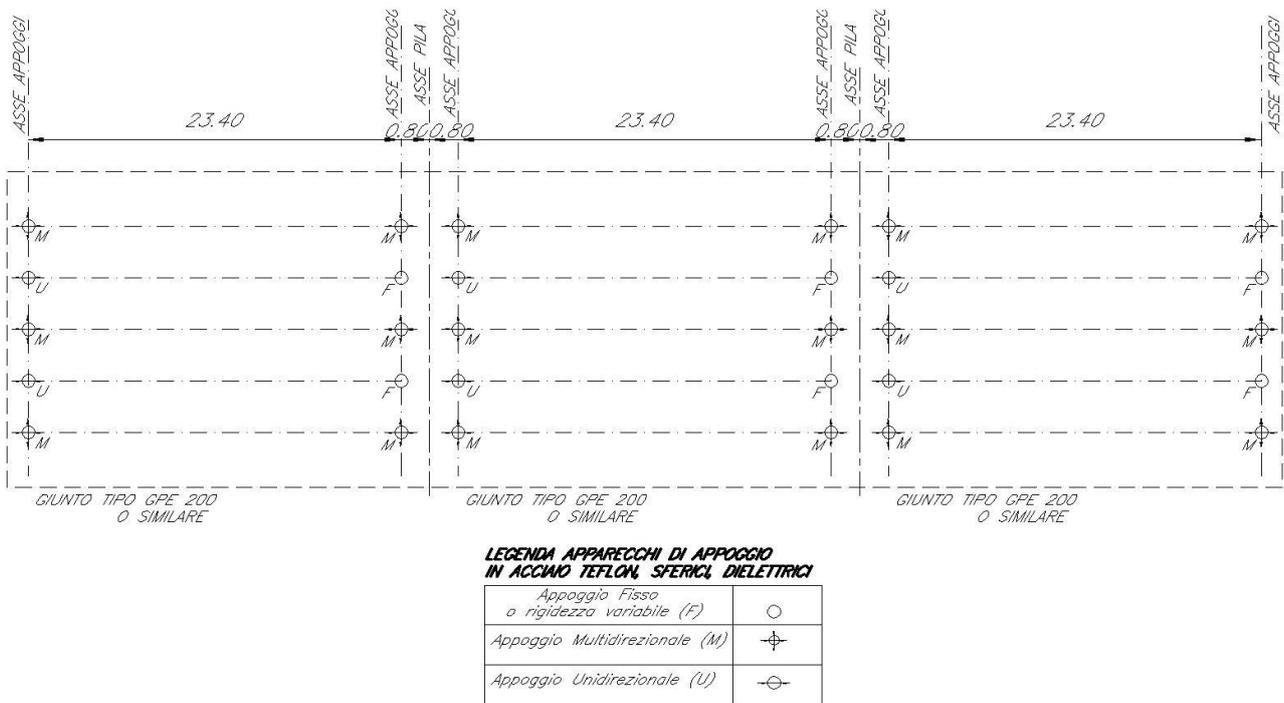


Fig. 5 – Schema appoggi fissi-mobili

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 8 di 162

Le travi e i traversi vengono realizzati in stabilimento mediante il getto del calcestruzzo in casseformi metalliche, vibrato ad alta frequenza per la compattazione e trattato con ciclo termico. La precompressione delle travi è realizzata mediante la pretensione di trefoli, a tiro multiplo, sulle piste di confezionamento prevedendo la posa in opera di guaine per la quota parte dei trefoli che verranno in seguito tagliati: si provvederà inoltre a sfilare da apposite cassette i tratti di armatura non aderente, con successiva iniezione dei condotti e sigillatura delle cassette. La precompressione dei traversi viene eseguita con armatura post-tesa.

La soletta in cemento armato è prevista gettata in opera utilizzando delle predalle in c.a. aventi spessore di 5 cm.

Una volta disposte le predalles si provvede alla posa dell'armatura trasversale integrativa e dell'armatura longitudinale di ripartizione e quindi si esegue il getto a spessore definitivo.

## 2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative:

- [1] D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [2] Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B del 22-12-17: “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” (MdP 2018) Parte II - Sezione 3: Corpo stradale;
- [4] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B del 22-12-17: “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” (MdP 2018) Parte II - Sezione 2: Ponti e strutture;
- [5] UNI EN 206-1:2016. “Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- [6] UNI 11104-2016: Calcestruzzo,” Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale, in funzione delle condizioni ambientali”;
- [7] UNI EN 1992-1-1:2015. “Eurocodice 2: Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- [8] UNI EN 1997-1:2013 – “Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”;
- [9] UNI EN 1998-5:2005 – “Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.

### 2.2 Elaborati di progetto di riferimento

Titolo	Scala																					
IV01 - Relazione tecnica descrittiva	-	N	R	1	J	0	1	D	2	9	R	O	I	V	0	1	0	0	0	0	1	A
IV01 - Planimetria di progetto	1:500	N	R	1	J	0	1	D	2	9	P	8	I	V	0	1	0	0	0	0	1	A
IV01 - Relazione di calcolo spalla	-	N	R	1	J	0	1	D	2	9	C	L	I	V	0	1	0	4	0	0	1	A



### 3 UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Si utilizza il Sistema Internazionale. Di seguito si riportano le descrizioni delle unità di misura principali:

- unità di misura principali

**N** (Newton) unità di forza

**m** (metro) unità di lunghezza

**kg** (kilogrammo-massa) unità di massa

**s** (secondo) unità di tempo

- unità di misura derivate

**kN** (kiloNewton)  $10^3$  N

**MN** (megaNewton)  $10^6$  N

**kgf** (kilogrammo-forza)  $1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$

**cm** (centimetro)  $10^{-2}$  m

**mm** (millimetro)  $10^{-3}$  m

**Pa** (Pascal)  $1 \text{ N/m}^2$

**kPa** (kiloPascal)  $10^3 \text{ N/m}^2$

**Mpa** (megaPascal)  $10^6 \text{ N/m}^2$

**N/m<sup>3</sup>** (peso specifico)

**g** (accelerazione di gravità)  $\sim 9.81 \text{ m/s}^2$

- corrispondenze notevoli

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$$

$1 \text{ kN/m}^3 \sim 100 \text{ kgf/m}^3$

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

$\gamma$	(gamma)	peso dell'unità di volume	( $\text{kN/m}^3$ )
$\sigma$	(sigma)	tensione normale	( $\text{N/mm}^2$ )
$\tau$	(tau)	tensione tangenziale	( $\text{N/mm}^2$ )
$\varepsilon$	(epsilon)	deformazione	(m/m - adimensionale)
$\varphi$	(fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)

## 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 4.1 Dati generali

L'opera è in calcestruzzo cementizio armato. Sono previste anche parti minori in carpenteria metallica.

Le caratteristiche dei materiali previsti dal progetto sono le seguenti:

- Calcestruzzo

Sono previsti due tipi di calcestruzzo, rispettivamente per le travi in CAP prefabbricate e la soletta gettata in opera.

- Armature lente in barre

Si utilizza acciaio tipo B450C.

- Armature da precompressione

Si utilizza acciaio in trefoli con  $f_{tpk}$  1860 Mpa.

### 4.2 Caratteristiche tecniche

#### CALCESTRUZZO PER SOLETTA

Classe	C30/37		
$R_{ck} =$	37.00	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	30.00	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$\alpha_{cc} =$	0.85	-	coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$f_{cd} =$	16.46	N/mm <sup>2</sup>	resistenza di progetto
$c =$	40	mm	copriferro minimo
	XC3	-	classe di esposizione

## CALCESTRUZZO PER TRAVI IN PRECOMPRESSO E TRASVERSI

Classe C45/55

$R_{ck} =$	55.00	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	45.00	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$\alpha_{cc} =$	0.85	-	coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$f_{cd} =$	25.50	N/mm <sup>2</sup>	resistenza di progetto
$c =$	40	mm	copriferro minimo
	XC4	-	classe di esposizione

## ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

B 450 C			controllato in stabilimento
$f_{yk} \geq$	450.0	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica di snervamento
$\gamma_M =$	1.15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU elastico
$f_{yd} =$	391.3	N/mm <sup>2</sup>	resistenza di progetto
$E_s =$	200000	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico

## ACCIAIO DA PRECOMPRESSIONE

<i>trefoli <math>\phi</math> 0.6" stabilizzati</i>			<i>(travi)</i>
$f_{ptk} \geq$	1860	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica di rottura
$f_{p(0.1)k} \geq$	1670	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	15 di 162

$E_s = 195\,000\text{ N/mm}^2$  modulo elastico

*Cavi da 7 trefoli  $\phi 0.6''$  stabilizzati (traversi)*

$f_{ptk} \geq 1860\text{ N/mm}^2$  tensione caratteristica di rottura

$f_{p(0.1)k} \geq 1670\text{ N/mm}^2$  tensione caratteristica allo 0.1% di deformazione

$E_s = 195\,000\text{ N/mm}^2$  modulo elastico

## 5 ANALISI DEI CARICHI

### 5.1 Azioni sulla struttura in condizioni statiche

Si riporta nel seguito una descrizione dei carichi considerati per il dimensionamento delle strutture in oggetto. I carichi agenti sull'impalcato (pesi propri strutturali, permanenti portati e carichi mobili) sono stati ripartiti trasversalmente sulle travi a cassone utilizzando una distribuzione geometrica secondo le rispettive aree di influenza

Nel seguito sono sviluppate le analisi per definire i pesi propri della struttura; nella tabella seguente sono invece definiti i pesi specifici dei materiali utilizzati nella struttura in oggetto:

<i>Materiale</i>	<i>Peso</i>	<i>U.M.</i>
<i>Calcestruzzo</i>	<i>25,00</i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
<i>Pavimentazione stradale</i>	<i>20,00</i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>
<i>Acciaio</i>	<i>78,50</i>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>

#### *Pesi propri strutturali (g<sub>1</sub>)*

Il peso proprio degli elementi strutturali (travi longitudinali, trasversi e soletta) è computato considerandoli di sezione piena in calcestruzzo ed è stato applicato come un carico uniformemente distribuito sulle travi.

#### 5.1.1.1 Cassoncini in C.A.P.

<i>Dati generali travi C.A.P.</i>			
n Tr	5		N° travi
L tr	25	m	L trave
D [a-t]	0.5	m	Distanza appoggio-testata
Lct	24.4	m	L calc trave
L1	7.80	m	Posizione trasversi
L2	7.80	m	

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	17 di 162

L3	7.80	m	
A sez c	0.7	m <sup>2</sup>	A sezione corrente
P sez c	17.5	kN/m	Peso sezione corrente
A sez a	1	m <sup>2</sup>	A sezione in appoggio
P sez r	25	kN/m	Peso sezione ringrossata
L sez r	1.8	m	Lunghezza sezione ringrossata
D [a-cs]	1.3	m	Distanza appoggio-cambio sezione

5.1.1.2 Impalcato

**Dati impalcato C.A.P.**

H	1.4	m	Altezza travi
L imp	12.70	m	Larghezza impalcato
L bit	9.00	m	Larghezza bitumato
l tr	2	m	Interasse travi
S sol	0.25	m	Spessore soletta impalcato
$\Delta S s \max$	0.18	m	Variazione spessore calcestruzzo per inclinazione max
$\Delta S s \min$	0.07	m	Variazione spessore calcestruzzo per inclinazione min
$\Delta S s \text{ med}$	0.125	m	Variazione spessore calcestruzzo per inclinazione media
S mar	0.57	m	Spessore marciapiede
h pr	0.05	m	Altezza predalles
n c	3	m	Numero corsie

**Sezione trasverso di testata**

L tr	0.4	m	Larghezza trasverso
H tr	1.4	m	Altezza trasverso

**Sezione trasverso corrente**

L tr	0.4	m	Larghezza trasverso
H tr	1.4	m	Altezza trasverso

**Marcia piede a sbalzo**

L m	1.85	m	Larghezza marciapiede
P m	14.25	kN/m <sup>2</sup>	Peso marciapiede

**5.1.2 Permanenti portati ( $g_2$ )**

I carichi permanenti portati sono stati applicati come un carico uniformemente distribuito sulle quattro travi principali per quanto riguarda le seguenti tipologie:

**Elementi non strutturali**

p.s. bit	20	kN/m <sup>3</sup>	Peso di volume bitumato
S bit	0.12	m	Spessore bitumato
P p	1	kN/m	Peso parapetto
P i	1	kN/m	Peso impianti
P sicur	1.4	kN/m	Peso sicurvia
P v	2.5	kN/m	Peso veletta

**5.1.3 Carichi mobili ( $q_1$ )**

La determinazione dei carichi mobili è stata effettuata in conformità alla normativa di riferimento (punto 5.1.3.3 - D.M. 2018).

**Corsie convenzionali (§5.1.3.3.2)**

Numero guard-rail laterali	2		
Larghezza pavimentazione	9.00	m	
Larghezza carreggiata ( $w$ )	9.00	m	
<b>Numero di corsie convenzionali (<math>n</math>)</b>	<b>3</b>	<b>m</b>	<b>Tab. 5.1.I</b>

Larghezza di una corsia convenzionale	3.00	m	Tab. 5.1.I
Larghezza zona rimanente	2.50	m	Tab. 5.1.I

### Schemi di carico considerati (§5.1.3.3)

Si prendono in considerazione i seguenti carichi mobili per ponti di 1° categoria (**Schema 1**):

- Prima colonna di carico costituita da due carichi assiali  $Q_{1k} = 600$  kN e un carico uniformemente distribuito  $q_{1k} = 9$  kN/m<sup>2</sup> su una larghezza convenzionale pari a 3.00m;
- seconda colonna di carico analoga alla precedente, ma con carichi rispettivamente pari a  $Q_{2k} = 400$  kN e  $q_{2k} = 2.5$  kN/m<sup>2</sup>;
- terza colonna di carico analoga alla precedente, ma con carichi rispettivamente pari a  $Q_{3k} = 200$  kN e  $q_{3k} = 2.5$  kN/m<sup>2</sup>;
- quarta colonna di carico e/o area rimanente costituita da un carico uniformemente distribuito pari a  $q_{rk} = 2.5$  kN/m<sup>2</sup>.

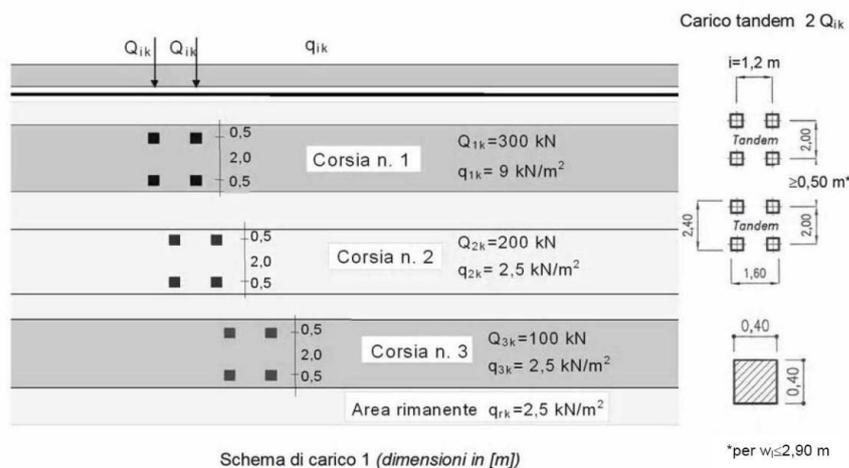


Fig. 6 – Stesa di carico NTC 2018 – Schema 1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>				
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B FOGLIO 20 di 162

Esclusivamente per le verifiche locali, lo **Schema 2** costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m e di altezza 0,35 m. Nel caso sia più gravoso, si considera il peso di una singola ruota da 200 kN.

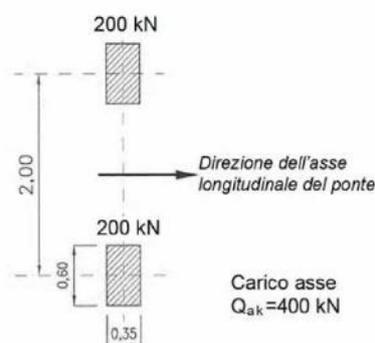


Fig. 7 – Stesa di carico NTC 2018 – Schema di carico 2 per verifiche locali

Dati tutti i marciapiedi e passerelle pedonali provvisti di sicurvia, si è escluso lo schema 3. Queste sono state comunque verificate localmente considerando lo schema 4 dato da un carico isolato di 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m:

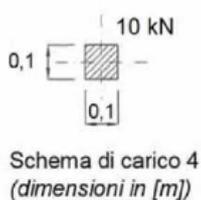


Fig. 8 – Stesa di carico NTC 2018 – Schema di carico 4 per verifiche locali su marciapiedi e passerelle

L'effetto della folla su tutta la carreggiata, inclusi marciapiedi e piste ciclabili è computato considerando lo **schema 5** di folla compatta che considera un carico di 5 KN/m<sup>2</sup> da applicare su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale.

Nelle combinazioni del gruppo di azioni 1 si è invece adottato il valore di 2,5 KN/m<sup>2</sup> come riportato in [5.1.3.12 Tab. 5.1.IV]. Data la luce dell'impalcato inferiore ai 300 m, si è escluso lo schema 6.

I carichi mobili sono stati applicati come un carico uniformemente distribuito sulle travi principali in base alla loro area di influenza.

Strutture secondarie di impalcato (§ 5.1.3.3.6)

La diffusione avviene considerando un angolo di  $45^\circ$  fino al piano medio della soletta sottostante ().

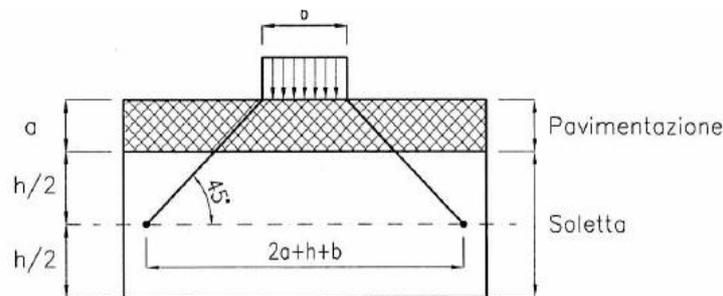


Fig. 9 – Schema di ripartizione azioni sulla soletta

A seconda dello schema di carico varia la larghezza  $b$  dell'impronta.

Spessore pavimentazione ( $a$ )	0.12	m
Spessore medio soletta ( $h$ )	0.425	m

Disposizione dei carichi mobili per realizzare le condizioni di carico più gravose (§ 5.1.3.3.5). Per la verifica globale delle sollecitazioni sull'impalcato, in particolare sulla trave di riva, è stata individuata la seguente disposizione:

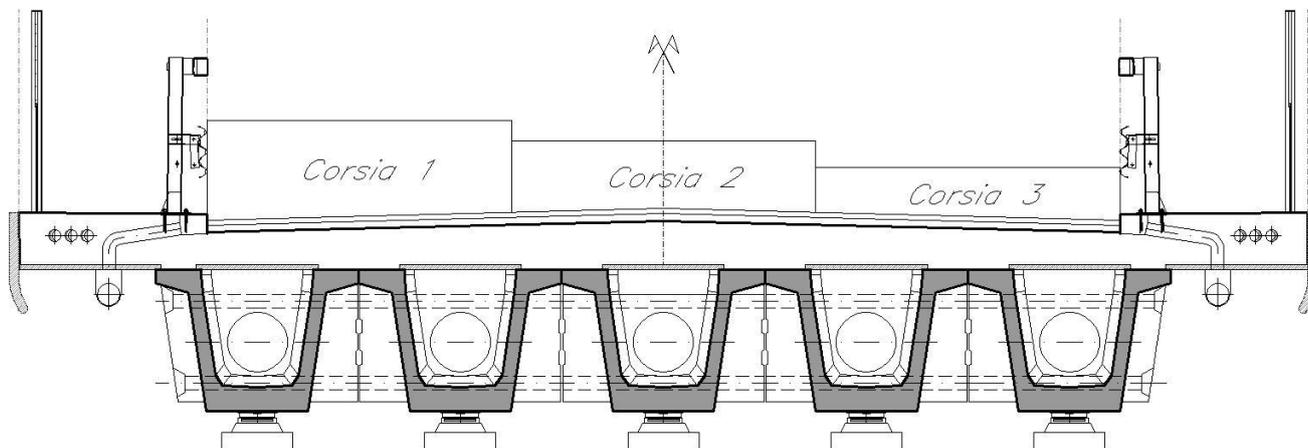


Fig. 10 – Disposizione più gravosa carichi per effetti globali

I carichi applicati con le relative distanze  $d$  dal baricentro delle travi sono i seguenti:

<b>Corsia 1</b>			
	$d$ [m]	Baricentro corsia	Coefficiente di ripartizione
Trave 1	1.00	1	0.50
Trave 2	1.00	1	0.50

<b>Corsia 2</b>			
	$d$ [m]	Baricentro corsia	Coefficiente di ripartizione
Trave 2	2.00	2	0.1667
Trave 3	0.00	2	0.6667
Trave 4	2.00	2	0.1667

**Corsia 3**

	d [m]	Baricentro corsia	Coefficiente di ripartizione
Trave 4	1.00	3	0.50
Trave 5	1.00	3	0.50

**5.1.4 Azione longitudinale di frenamento o di accelerazione (q<sub>3</sub>) (§ 5.1.3.5)**

Per i ponti di 1° categoria la forza di frenamento/accelerazione è determinata secondo la seguente relazione:

$$180\text{kN} \leq q_3 = 0.6 (2Q_{1k}) + 0.1q_{1k} w_1 L \leq 900\text{kN}$$

Q <sub>1k</sub>	300.00	KN
q <sub>1k</sub>	9	KN/m <sup>2</sup>
w <sub>1</sub>	3.00	m
L	25	m
Calcolo	427.5	kN
<b>Frenatura e accelerazione</b>	<b>427.5</b>	<b>kN</b>
<b>Forza distribuita sull'impalcato</b>	<b>17.1</b>	<b>kN/m</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 24 di 162

La forza così ricavata ed il relativo momento di trasporto, sono stati applicati alle travi sulle quali insiste la corsia di carico 1

<i>Frenatura</i>			
	d [m]	Baricentro corsia	Coefficiente di ripartizione
Trave 1	1.00	1	0.50
Trave 2	1.00	1	0.50

### 5.1.5 Ritiro calcestruzzo ( $\epsilon_2$ )

Nell'espressione precedente  $\epsilon_{cd}$  rappresenta la deformazione per ritiro da essiccamento e  $\epsilon_{ca}$  la deformazione per ritiro autogeno.

L'età del conglomerato a partire dalla quale si considera l'effetto del ritiro ( $t_0$ ) è quella per cui si ha l'applicazione della precompressione (15 gg). Gli effetti del ritiro sulla struttura composta si calcolano come perdita di precompressione nel calcolo delle tensioni.

Si è assunta l'ipotesi per cui la trave abbia già scontato tutto il suo ritiro nel momento del getto della soletta, pertanto nascerà un accorciamento differenziale che indurrà una forza eccentrica nella sezione composta.

In relazione alla geometria della soletta, alle condizioni ambientali, considerando il getto in presenza di umidità relativa media pari a 80%, si assume una deformazione per ritiro a tempo infinito pari a:

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	25 di 162

**DATA**

**Coefficiente di viscosità**

$\varphi(t,t_0)=\varphi_0*\beta_c(t,t_0)$	1.8569	creep coefficient
$\varphi_0=\varphi_{RH}*\beta(f_{cm})*\beta(t_0)$	1.9335	nominal creep coefficient

$\varphi_{RH}$	1.2903	per $f_{cm}>35$ Mpa
$\varphi_{RH}$		per $f_{cm}\leq 35$ Mpa
RH	80 [%]	
$\beta(f_{cm})$	2.7253	
$\beta(t_0)$	0.5498	
h0	222.222222 [mm]	
Ac	5000 [cm <sup>2</sup> ]	
u	450 [cm]	
$\beta_c(t,t_0)$	0.9604	
t	10000 [days]	
t <sub>0</sub>	15 [days]	
t-t <sub>0</sub>	9985 [days]	
$\beta_H$	733.13 TRUE	per $f_{cm}>35$ Mpa
$\beta_H$		per $f_{cm}\leq 35$ Mpa
$\alpha_1$	0.9441	
$\alpha_2$	0.9837	
$\alpha_3$	0.9597	
f <sub>cm</sub>	38.00 [MPa]	
f <sub>ck</sub>	30.00 [MPa]	

**DEFORMAZIONE TOTALE DA RITIRO**

$\epsilon_{cs}=\epsilon_{cd}+\epsilon_{ca}$	0.00025295	deformazione totale da ritiro
$\epsilon_{cd}$	0.00022031	deformazione da ritiro per essiccamento
$\epsilon_{ca}$	3.2648E-05	deformazione da ritiro autogeno

**DEFORMAZIONE DA RITIRO PER ESSICCAMENTO**

$\epsilon_{cde}=\kappa_H*\epsilon_{cd0}$	0.00022323	
$\epsilon_{cd0}$	0.00026895	appendix B for $\epsilon_{cd0}$
$\alpha_{ds1}$	4 CLS class N	
$\alpha_{ds2}$	0.12 CLS class N	
$\beta_{RH}$	0.7564	
RH <sub>0</sub>	100 [%]	
f <sub>cm0</sub>	10 [MPa]	
$\beta_{ds}(t,ts)$	0.98690313	
t	10000	
ts	15	

**DEFORMAZIONE DA RITIRO AUTOGENO**

$\beta_{as}(t)$	0.6529549	
t	28	
$\epsilon_{ca}(t)$	0.00005	

**Carichi equivalenti a creep e shrinkage**

C.A.	C30/37		- Calcestruzzo
A=	0.5	m <sup>2</sup>	- Soletta area
e=	0.5414	m	- distanza tra centro di gravità della sezione combinata e centro di gravità della soletta
E=	33000000	kN/m <sup>2</sup>	- E modul di calcestruzzo
$\varphi$ =	1.8569		- creep coefficiente
$\epsilon_{cs}$ =	0.00025295		- deformazione da creep e shrinkage
E*	11550981.83	MPa	- ridotto E modul per creep e shrinkage
$\sigma$ =	2921.820855	kN/m <sup>2</sup>	- stress da creep e shrinkage in soletta
F <sub>cs</sub> =	1461	kN	- forza normale per l'input in SAP2000
M <sub>cs</sub> =	791	kN*m	- momento per l'inserimento in SAP2000

### 5.1.6 Variazioni termiche ( $\epsilon_3$ )

Si è inoltre considerata una variazione termica differenziale di  $\pm 5^\circ$  tra soletta e trave in c.a.p. ed una variazione termica uniforme dell'impalcato. A causa dell'isostaticità dello schema statico sono stati trascurati gli effetti globali delle variazioni termiche.

Il carico di temperatura viene immesso nel modello SAP2000 come forza e momento equivalenti, che vengono calcolati di seguito:

#### Variazioni termiche carichi equivalenti

C.A.	C30/37		- Calcestruzzo
E=	33000000	MPa	- E modul di calcestruzzo
$\Delta T=$	5	degrees	- variazioni termiche
A=	0.5	m <sup>2</sup>	- soletta area
e=	0.5414	m	- distanza tra centro di gravità della sezione combinata e centro di gravità della soletta
$\alpha_T=$	0.00001		- coefficient of thermal expansion concrete of concrete
$\epsilon_T=$	0.00005		- deformazione da variazioni termiche
$\sigma=$	1650	kN/m <sup>2</sup>	- stress da variazioni termiche in soletta
$F_T=$	825	kN	- forza normale per l'input in SAP2000/per $\Delta T=\pm 5/$
$M_T=$	447	kN*m	- momento per l'inserimento in SAP2000/per $\Delta T=\pm 5/$

### 5.1.7 Scorrimenti viscosi ( $\epsilon_4$ )

Gli effetti conseguenti alla viscosità del calcestruzzo per azioni di lunga durata (sovraccarichi permanenti, ritiro, ecc.) possono essere valutati assumendo nel calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione composta un valore fittizio del modulo di elasticità del calcestruzzo  $E_c^*$  fornito dall'espressione:

$$E_c^* = E_c / (1+\phi) \quad \text{modulo di elasticità ridotto}$$

$$\phi = 1.8569 \quad \text{coefficiente finale di viscosità}$$

### 5.1.8 Azione centrifuga ( $q_4$ )

Una parte marginale dell'impalcato è interessata da una curva planimetrica di raggio  $R = 100$  [m], pertanto si è scelto di considerare la presenza della azione centrifuga, nell'ottica di condurre un calcolo in favore di sicurezza. Come riportato nella normativa di riferimento (punto 5.1.3.6 - D.M. 17.01.2018; Tab 5.1.III), a seconda del raggio planimetrico è fornita l'espressione del carico dovuto all'azione centrifuga:

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

quindi:

Azione Centrifuga					
R	138	m			
$Q_v$	1200	kN			
$Q_4$	240	kN			
Momento_ $Q_4$	9.1	kNm /m			
Trave 1	Trave 2	Trave 3	Trave 4	Trave 5	
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	kN/m
1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	kNm /m

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 28 di 162

### 5.1.9 Azione del vento (q5)

L'azione del vento, in accordo con le prescrizioni di Normativa (Capitolo 3.3 NTC2018), è stata analizzata mediante un'azione statica equivalente utilizzando le seguenti espressioni:

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r C_e C_p C_d$$

dove:

$q_r$  è la pressione cinetica di riferimento

$C_e$  è il coefficiente di esposizione

$C_p$  è il coefficiente di pressione;

$C_d$  è il coefficiente dinamico.

#### Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  (in N/m<sup>2</sup>) è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho V_r^2$$

dove:

$V_r$  è la velocità di riferimento del vento (in m/s);

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>

#### Velocità base di riferimento

La velocità base di riferimento  $V_b$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II, riferita ad un periodo di ritorno  $T_r=50$  anni. Tale velocità è definita dalla relazione:

$$V_b = V_{b,0} * C_a$$

- $V_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare
- $C_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$C_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$C_a = 1 + K_s * \left( \frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

- $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione;
- $a_0, K_s$  sono forniti nella seguente tabella:

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}, a_0, k_z$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_z$
1	Valle d' Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

### Velocità di riferimento

La velocità di riferimento  $v_r$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferita ad un periodo di ritorno  $T_r$ . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$V_r = V_b C_r$$

dove:

- $V_b$  è la velocità base di riferimento;
- $C_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_r$  fornito dalla seguente relazione:

$$C_r = 0.75 \left( 1 - 0.2 * \ln \left( - \ln \left( 1 + \frac{1}{T_r} \right) \right) \right)^{0.5}$$

dove  $T_r$  è il periodo di ritorno espresso in anni.

L'espressione per il calcolo della velocità di riferimento del vento  $V_b(T_R)$  riferita a un generico periodo di ritorno è la seguente:

$$v_b(T_R) = \alpha_R v_b$$

Dove:

- $V_b=$  è la velocità di riferimento del vento associata a un periodo di ritorno di 50 anni;

- $\alpha_R$  è un coefficiente fornito dalla seguente espressione:

$$\alpha_R = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \cdot \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

Nel caso in esame, essendo in zona 3, con  $a_s = 159$  m.s.l.m.,  $v_{b,0} = 27$  [m/s],  $a_0 = 500$  [m] e  $k_s = 0.37$ , per cui risulterà:

- $c_a = 1$  per  $a_s < a_0$
- $V_b = V_{b,0} \cdot C_a = 27 \cdot 1 = 27$  m/s (con  $T_r = 50$  anni)
- $\alpha_r = 1.02$  (con  $T_R = 75$  anni)
- $V_b(T_r) = \alpha_R \cdot V_b = 1.02 \cdot 27 = 27.633$  m/s

La pressione cinetica di riferimento vale quindi:

- $q_r = 0.5 \rho \cdot V_r^2 = 477$  N/m<sup>2</sup>

### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche, ci si riferisce alla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

dove

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono funzione della categoria di esposizione del sito;

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

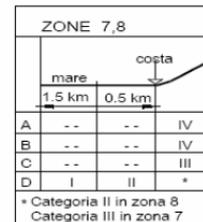
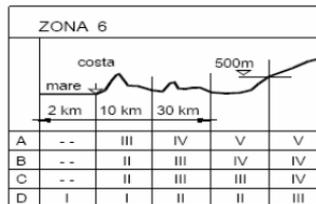
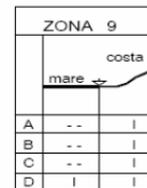
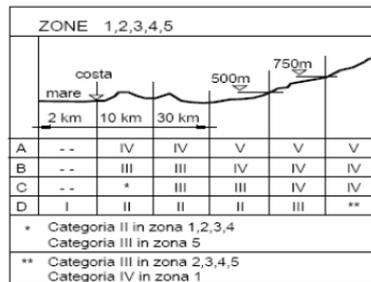
In mancanza di analisi specifiche, la categoria di esposizione è assegnata nella Fig. 3.3.2 in funzione della posizione geografica del sito e della classe di rugosità del terreno definita in Tab. 3.3.III.

Il coefficiente di topografia  $c_t$  è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).



Essendo la struttura in oggetto in zona 3 e classe di rugosità del terreno D, categori di esposizione I, si determinano i seguenti parametri:

$$k_r = 0.17, z_0 = 0,01m, z_{\min} = 2.00 m \text{ e } z = 9.80 m \quad (\text{Tab. 3.3.II})$$

per cui:

$$c_e = 2.76$$

**Coefficiente dinamico**

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

$$c_d = 1.00$$

### Coefficiente di pressione $c_p$

Per la valutazione del coefficiente di pressione  $c_p$ , si fa riferimento alla Circolare del 21 gennaio 2019, al paragrafo C3.3.8.6.1 e C3.3.8.6.2. Si determina il valore del coefficiente  $\varphi$  e si valuta il coefficiente di forma  $c_p$  sulle travi dell'impalcato considerando la riduzione come di seguito:

Nel caso di più travi disposte parallelamente a distanza  $d$  non maggiore del doppio dell'altezza  $h$ , il valore della pressione sull'elemento successivo sarà pari a quello sull'elemento precedente moltiplicato per un coefficiente di riduzione dato da:

$$\mu = 1 - 1,2\varphi \quad \text{per } \varphi \leq \frac{2}{3}$$

$$\mu = 0,2 \quad \text{per } \varphi > \frac{2}{3}$$

Il valore effettivo della distribuzione della pressione del vento sull'impalcato del viadotto, calcolata secondo il procedimento sopra descritto, è pari a:

Vento					
	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
	trave 1	trave 2	trave 3	trave 4	trave 5
Q vento	2.5855	0.5171	0.10342	0.020684	0.0041368
Q vento [marciapiede]	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
	kN/m m				kN/m m
Q vento_momento [marciapiede]	7.8				7.8
Q vento_trasporto	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92
Q vento_momento di trasporto	7.12				7.12

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 33 di 162

**La pressione aereodinamica del treno non è stata considerata nel calcolo degli stessi perché non è dimensionante.**

#### **5.1.10 Resistenze passive dei vincoli (q9)**

La resistenza dei vincoli per attrito nei confronti dello scorrimento è stata trascurata.

#### **5.1.11 Urto del veicolo in svio sulle barriere sicurvia (q8)**

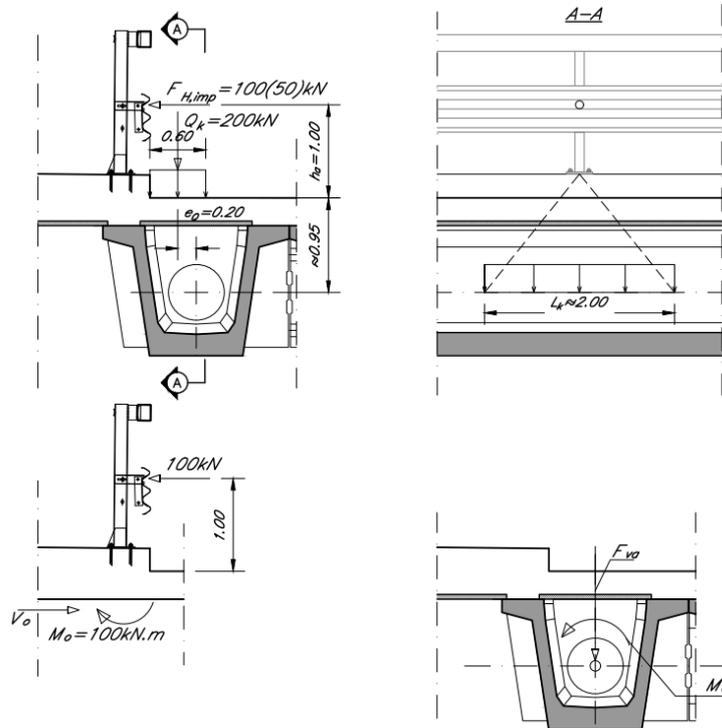
Sulla base delle prescrizioni normative (§5.1.3.10 e §3.6.3.3.2 – NTC2018), l'urto di un veicolo stradale sulle barriere sicurvia è stato modellato come un sistema di forze orizzontali applicate in corrispondenza delle barriere ad un'altezza pari alla minore tra:

- $h_1$  : altezza della barriera (pari a 1,5 m) – 0,10 m
- $h_2$  : 1 m

quindi  $h = 1$  m.

L'azione orizzontale equivalente è di 100 kN.

### **Valutazione impatto sulla barriera di sicurezza**



Azioni considerate:

- $F_v = Q_k = 200 \text{ kN}$
- $M_a = F_{h,imp} h_a + Q_k \times e_Q = 100 \times 1 + 200 \times 0.2 = 140 \text{ kN m}$

Si assume che le azioni sollecitanti di progetto siano distribuite su una lunghezza  $l_k = 2.0\text{m}$  e applicate al baricentro geometrico della sezione delle travi longitudinali.

Si fa riferimento a due possibili configurazioni:

- Azioni applicate a metà campata delle travi longitudinale
- Azioni applicate nelle sezioni d'estremità.

All'azione orizzontale d'urto è associata una condizione di carico eccezionale nella quale alla forza orizzontale d'urto è associato il carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema 2 posizionato in adiacenza al sicurvia stesso e disposto nella posizione più gravosa.

Riepilogo carichi assegnati agli elementi frame

<b>Carichi lineari gravitazionali</b>					
	Trave 1	Trave 2	Trave 3	Trave 4	Trave 5
	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
G1_trave	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
G1_trave	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
G1_soletta	15.95	21.25	21.25	21.25	15.95
G1_marciapiede	26.37				26.37
G2_veletta	2.50				2.50
G2_pavimentazione	3.60	4.80	4.80	4.80	3.60
G2_sicurvia	1.40				1.40
G2_parapetti	1.00				1.00
G2_impianti	1.00				1.00
qfk	9.25				9.25

<b>Carichi in direzione longitudinale, torsionali</b>					
	Trave 1	Trave 2	Trave 3	Trave 4	Trave 5
	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]
G1_trave	0.00				0.00
G1_soletta	8.00				8.00
G1_marciapiede	37.71				37.71
G2_veletta	6.00				6.00
G2_pavimentazione	1.80				1.80

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	36 di 162

G2_sicurvia	1.12	1.12
G2_parapetti	2.20	2.20
G2_impianti	1.46	1.46
qfk	13.88	13.88

**Eccentricità carichi gravitazionali**

	Trave 1	Trave 2	Trave 3	Trave 4	Trave 5
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
G1_trave	0.00				0.00
G1_soletta	0.50				0.50
G1_marciapiede	1.43				1.43
G2_veletta	2.40				2.40
G2_pavimentazione	0.50				0.50
G2_sicurvia	0.80				0.80
G2_parapetti	2.20				2.20
G2_impianti	1.46				1.46
qfk	1.50				1.50

## 5.2 Azioni sulla struttura in condizione sismica

Le azioni sismiche di progetto sono state determinate attraverso un'analisi dinamica lineare, modellando in SAP2000 il telaio e utilizzando il metodo della sovrapposizione modale con spettro di risposta.

Gli spettri di progetto definiti sono stati determinati a partire dalla classe d'uso, la vita nominale, le categorie topografiche e di sottosuolo e in base allo stato limite da considerare.

Il ponte appartiene alla classe d'uso IV, cui corrisponde un coefficiente d'uso  $c_u = 2.0$ , la vita nominale è pari a  $V_N = 100$  anni, la categoria di sottosuolo è "E" e la categoria topografica è "T1".

L'azione sismica è stata calcolata per gli stati limite:

- Stato limite ultimo: Stato Limite di salvaguardia della Vita, SLV

Si analizza solamente la struttura per gli SLV per il dimensionamento degli apparecchi di appoggio, in quanto il solo impalcato non è sensibile alle azioni sismiche, siano esse orizzontali che verticali

### 5.2.1 Individuazione della pericolosità del sito

Si utilizza a tale scopo il foglio elettronico "Spettri NTC" fornito dal CSLP

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATTITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**



**Reticolo di riferimento**



**Controllo sul reticolo**

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

**Interpolazione**

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

### 5.2.2 Scelta della strategia di progettazione

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="120"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="201"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1898"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

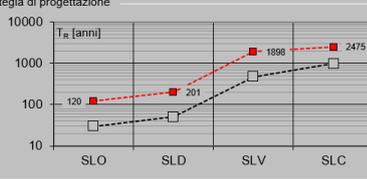
- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

Strategia di progettazione



Stato Limite	Strategia per costruzioni ordinarie (TR [anni])	Strategia scelta (TR [anni])
SLO	120	120
SLD	201	201
SLV	1898	1898
SLC	2475	2475

INTRO    FASE 1    FASE 2    FASE 3

### 5.2.3 Determinazione del fattore di struttura

La classe di duttilità scelta è la "E". Si assume un fattore di struttura  $q=1$  sia per lo spettro di risposta orizzontale che verticale, poiché si impiegheranno le azioni sismiche per il dimensionamento degli apparecchi di appoggio.

### 5.2.4 Determinazione dell'azione di progetto

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato **SLV** info

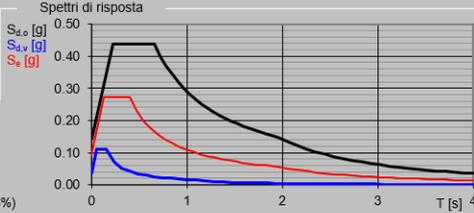
**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo **E** info  $S_B = 1.600$   $C_C = 1.662$  info  
 Categoria topografica **T1** info  $h/H = 1.000$   $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%) **5**  $\eta_1 = 1.000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_p$  **1** Regol. in altezza **si** info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto Fattore  $q$  **1**  $\eta = 1.000$  info

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

**Spettri di risposta**



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

### 5.2.5 Parametri per lo stato limite SLV

$q = 1$  ; sisma orizzontale:

#### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

##### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.090 g
$F_0$	3.034
$T_C$	0.398 s
$S_g$	1.600
$C_C$	1.662
$S_T$	1.000
$q$	1.000

##### Parametri dipendenti

$S$	1.600
$\eta$	1.000
$T_B$	0.221 s
$T_C$	0.662 s
$T_D$	1.960 s

##### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_g \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (\xi + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

##### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

##### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.144
$T_B$	0.221	0.437
$T_C$	0.662	0.437
	0.724	0.400
	0.785	0.369
	0.847	0.342
	0.909	0.318
	0.971	0.298
	1.033	0.280
	1.095	0.264
	1.157	0.250
	1.218	0.238
	1.280	0.228
	1.342	0.218
	1.404	0.208
	1.466	0.198
	1.528	0.190
	1.589	0.182
	1.651	0.175
	1.713	0.169
	1.775	0.163
	1.837	0.158
	1.899	0.152
$T_D$	1.960	0.148
	2.058	0.134
	2.155	0.122
	2.252	0.112
	2.349	0.103
	2.446	0.095
	2.543	0.088
	2.640	0.081
	2.737	0.076
	2.835	0.071
	2.932	0.066
	3.029	0.062
	3.126	0.058
	3.223	0.055
	3.320	0.051
	3.417	0.049
	3.514	0.046
	3.612	0.044
	3.709	0.041
	3.806	0.039
	3.903	0.037
	4.000	0.035

$q = 1$  ; sisma verticale:

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato linSLV**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_{sv}$	0.037 g
$S_S$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000
$T_B$	0.050 s
$T_C$	0.150 s
$T_D$	1.000 s

Parametri dipendenti

$F_v$	1.230
$S$	1.000
$\eta$	1.000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_{sv}}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad \left| \quad S_c(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_c} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \right.$$

$$T_B \leq T < T_C \quad \left| \quad S_c(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \right.$$

$$T_C \leq T < T_D \quad \left| \quad S_c(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \right.$$

$$T_D \leq T \quad \left| \quad S_c(T) = a_{sv} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \right.$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.037
$T_B \leftarrow$	0.050	0.111
$T_C \leftarrow$	0.150	0.111
	0.235	0.071
	0.320	0.052
	0.405	0.041
	0.490	0.034
	0.575	0.029
	0.660	0.025
	0.745	0.022
	0.830	0.020
	0.915	0.018
$T_D \leftarrow$	1.000	0.017
	1.094	0.014
	1.188	0.012
	1.281	0.010
	1.375	0.009
	1.469	0.008
	1.563	0.007
	1.656	0.006
	1.750	0.005
	1.844	0.005
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.004
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.003
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.002
	3.250	0.002
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 42 di 162

## 6 COMBINAZIONI DI CARICO

### 6.1 Combinazioni elementari di calcolo

In riferimento alle analisi di carico effettuate sono stati creati i casi di carico elementari impiegati poi nelle combinazioni di verifica ai vari Stati Limite riportati successivamente nella relazione.

Le combinazioni di carico elementari sono state poi combinate secondo i coefficienti dei vari stati limite indicati nel § 2 delle NTC18.

### 6.2 Definizione delle combinazioni di carico

Le combinazioni di carico sono stabilite, in modo da garantire la sicurezza, secondo quanto prescritto dal D.M. 17 gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) e del MdP RFI. In accordo al § 2.5.3 del D.M. 17/01/18 “Combinazioni delle azioni”, ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (S.L.U.):

- $\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \dots$  (2.5.1)

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (S.L.E.) irreversibili:

- $G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \dots$  (2.5.2)

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (S.L.E.) reversibili:

- $G1 + G2 + P + \psi 11 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$  (2.5.3)

Combinazione quasi permanente (S.L.E.), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

- $G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$  (2.5.4)

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 D.M. 14/01/08):

- $E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$  (2.5.5)

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto Ad (v. § 3.6 D.M. 14/01/08):

•  $G1 + G2 + P + Ad + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$  (2.5.6)

Nelle combinazioni per S.L.E., si intende che vengono omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G2$ .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.). Nelle formule sopra riportate il simbolo “+” vuol dire “combinato con”.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qi}$  sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.I D.M. 14/01/08:

**Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 44 di 162

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

### 6.3 Combinazioni Relative Agli Stati Limite Ultimi

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni definite.

In particolare, nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: STR
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO

La tabella 2.6.I e le successive tabelle 5.1.V e 5.2.V di cui al D.M. 17/01/18, forniscono i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni riportati nella colonna EQU delle tabelle sopra citate.

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali. Nell'approccio 1 si impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (R). Nella Combinazione 1 dell'approccio 1, per le azioni si impiegano i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A1 delle tabelle sopra citate.

	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 45 di 162

Nella combinazione 2 dell'approccio 1, si impiegano invece i coefficienti  $\gamma_F$  riportati nella colonna A2.

Nell'approccio 2 si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali

#### 6.4 Combinazioni Statiche SLU e SLE

Per quanto riguarda le combinazioni generate per le verifiche agli SLU e gli SLE si rimanda alle verifiche degli elementi strutturali nei capitoli successivi. Nelle verifiche degli elementi parete, si è trascurato il contributo verticale dato dal peso proprio della parete stessa.

Le azioni di cui ai paragrafi precedenti sono combinate tra loro, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto relative agli elementi strutturali di volta in volta considerati in base a quanto prescritto dal D.M. 17 Gennaio 2018 al paragrafo § 2.5.3 e paragrafo §5.1.3.14.

#### 6.5 Traffico

Nel §5.1.3.14 del [1] sono riportati i valori caratteristici delle azioni dovute al carico traffico, per i quali si tengono in considerazioni le combinazioni riportate in seguito.

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5KN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0KN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti pedonali  
 (\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti g <sub>1</sub> e g <sub>3</sub>	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> g <sub>2</sub>	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_Q$	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Azioni variabili	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{t1}$	0,90 1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 1,00 <sup>(4)</sup>	1,00 1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{t2}$ , $\gamma_{t3}$ , $\gamma_{t4}$	0,00 1,20	0,00 1,20	0,00 1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

Tab. 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Per le opere di luce maggiore di 300 m è possibile modificare i coefficienti indicati in tabella previa autorizzazione del Servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici, sentito lo stesso Consiglio.

## 6.6 Azione sismica

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo in conto le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

assumendo  $\psi_{2j} = 0,0$  per i carichi dovuti al transito dei mezzi.

## 6.7 Coefficienti parziali – effetti globali

Le combinazioni di carico adottate sono riportate nelle seguenti tabelle.

### Combinazioni SLU

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	48 di 162

1		G1_Trave	G1_Soletta	G1_calcestruzzo inclinazione	G1_Marciapiede	G1_Transversale travi	G2_Pavimentazione	G2_Parapetto	G2_Implanti	G2_Sicurezza	G2_Voletta	G2_BARRIERE	q1k	q2k	q3k	Q1k_	Q2k_	Q3k_	qfk	q3-Carichi frenatura	q4-Carico Centrifuga	q5_Vento	Temp Diff +	Temp Diff -	Ritiro calcestruzzo	q8_barrieri_sicurezza	q8_barrieri_sicurezza_1
STR_01	3	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5															
STR_01	4	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1															
STR_02	5	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0								
STR_02	6	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5								
STR_03	7	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5								
STR_03	8	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5								
STR_04	9	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5					
STR_04	10	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6					
STR_05	11	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	1.5					
STR_05	12	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0	0	0.6					
STR_06	13	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	0	0	1.5					
STR_06	14	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0	0	0.6					
STR_07	15	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5														1.2	
STR_07	16	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														1	
STR_08	17	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0							1.2	
STR_08	18	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5							1	
STR_09	19	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5							1.2	
STR_09	20	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5							1	
STR_10	21	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5									1.5					1.2	
STR_10	22	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									0.6					1	
STR_11	23	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0			1.5				1.2	
STR_11	24	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5			0.6				1	
STR_12	25	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5			1.5				1.2	
STR_12	26	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5			0.6				1	
STR_13	27	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5													1.2		
STR_13	28	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												0.6			
STR_14	29	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0						1.2		
STR_14	30	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5						0.6		
STR_15	31	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5						1.2		
STR_15	32	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5						0.6		
STR_16	33	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5										1.5				1.2	
STR_16	34	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										0.6				0.6	
STR_17	35	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0			1.5			1.2		
STR_17	36	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5			0.6				0.6	
STR_18	37	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5			1.5				1.2	
STR_18	38	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5			0.6				0.6	
STR_19	39	ψ	1.35	1.35	1.35	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5												1.2		1.2	
STR_19	40	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												0.6		1	





**RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	50 di 162

**Combinazioni SLE RARA**

1		G1_Trave	G1_Solita	G1_cakestruzo inclinazione	G1_Marcapiede	G1_Transversale travi	G2_Pavimentazione	G2_Parapetto	G2_Impianti	G2_Skurva	G2_Velita	G2_BARRIERE	q1k	q2k	q3k	Q1k_	Q2k_	Q3k_	qtk	q3Carichi frenatura	q4_Carico Centrifuga	q5_Vento	Temp Diff +	Temp Diff -	Uniform temp max	Uniform temp min	Ritiro cakestruzo	q8_bARRIERE_skurva
SLE 01	3	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										1
	4	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										1
SLE 02	5	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5									1
	6	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									1
SLE 03	7	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					0.6					1
	8	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1					1
SLE 04	9	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5				0.6					1
	10	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1					1
SLE 05	11	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						0.6				1
	12	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1					1
SLE 06	13	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5					0.6				1
	14	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1				1
SLE 07	15	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						0.6				1
	16	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1					1
SLE 08	17	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5					0.6				1
	18	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1				1
SLE 09	19	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.6						1
	20	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1						1
SLE 10	21	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5				0.6					1
	22	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1					1
SLE 11	23	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.6	0.6					1
	24	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1					1
SLE 12	25	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5				0.6	0.6				1
	26	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1				1
SLE 13	27	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.6		0.6				1
	28	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1				1
SLE 14	29	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5				0.6		0.6			1
	30	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1			1
SLE 15	31	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1							1
	32	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1						1
SLE 16	33	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1			0.6				1
	34	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1						1
SLE 17	35	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1		0.6					1
	36	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1						1
SLE 18	37	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1		0.6	0.6				1
	38	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1				1
SLE 19	39	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1				0.6			1
	40	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1				1
SLE 20	41	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1		0.6		0.6			1
	42	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1				1
SLE 21	43	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1							1
	44	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1						1
SLE 22	45	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.75	0.75	0.75	0.4	0.4	0.4		1							1
	46	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1				1
SLE 23	47	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1									1
	48	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1									1

1		G1_Trave	G1_Solita	G1_cakestruzo inclinazione	G1_Marcapiede	G1_Transversale travi	G2_Pavimentazione	G2_Parapetto	G2_Impianti	G2_Skurva	G2_Velita	G2_BARRIERE	q1k	q2k	q3k	Q1k_	Q2k_	Q3k_	qtk	q3Carichi frenatura	q4_Carico Centrifuga	q5_Vento	Temp Diff +	Temp Diff -	Uniform temp max	Uniform temp min	Ritiro cakestruzo	q8_bARRIERE_skurva
SLE 24	49	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1				0.6					1
	50	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1				1					1
SLE 25	51	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										0.6						1
	52	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1			1						1
SLE 26	53	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										0.6	0.6					1
	54	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1			1	1					1
SLE 27	55	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												0.6				1
	56	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1				1					1
SLE 28	57	y	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										0.6		0.6				1
	58	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1			1		1				1



1		DFAD	G2_Pavimentazione	G2_Volesta	G2_Parapetti	G2_Implanti	G2_BARRIERE	G2_Scurata	Q_Vento_Elementi	Q_Svto	Q_d.+	Q_d.-	Q_Folla	Q1	Q1	Q2	Q2	Q3	Q3	Q3	Q_C2	Q_C2_B	Q_LB	Q_LB	Q_Centrifuga
STR_19	39	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		0.36		0.5									1.35			
	40	ψ	1	1	1	1	1	1	1		1		1									1			
	41	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36	0.5									1.35			
STR_20	42	ψ	1	1	1	1	1	1	1			1	1									1			
	43	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5				0.5										1.35	1.35	
STR_21	44	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1	1	
	45	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9			0.5										1.35	1.35	
STR_22	46	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1	1	
	47	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.36		0.5										1.35	1.35	
STR_23	48	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1	1	
	49	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9		0.36	0.5										1.35	1.35	
STR_24	50	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1			1										1	1	
	51	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		0.36		0.5										1.35	1.35	
STR_25	52	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1	1	
	53	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36	0.5										1.35	1.35	
STR_26	54	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1	1	
	55	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5				0.5										1.35		
STR_27	56	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		
	57	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9			0.5										1.35		
STR_28	58	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		
	59	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.36		0.5										1.35		
STR_29	60	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		
	61	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9		0.36	0.5										1.35		
STR_30	62	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		
	63	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		0.36		0.5										1.35		
STR_31	64	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		
	65	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36	0.5										1.35		
STR_32	66	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		
	67	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5					1.01	0.54	1.01	0.54	1.01	0.54						1.35
STR_33	68	ψ	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1					1
	69	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9				1.01	0.54	1.01	0.54	1.01	0.54						1.35
STR_34	70	ψ	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1					1
	71	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.36			1.01	0.54	1.01	0.54	1.01	0.54						1.35
STR_35	72	ψ	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1					1
	73	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9		0.36		1.01	0.54	1.01	0.54	1.01	0.54						1.35
STR_36	74	ψ	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1					1

1		DFAD	G2_Pavimentazione	G2_Volesta	G2_Parapetti	G2_Implanti	G2_BARRIERE	G2_Scurata	Q_Vento_Elementi	Q_Svto	Q_d.+	Q_d.-	Q_Folla	Q1	Q1	Q2	Q2	Q3	Q3	Q3	Q_C2	Q_C2_B	Q_LB	Q_LB	Q_Centrifuga	
STR_37	75	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5		0.36			1.01	0.54	1.01	0.54	1.01	0.54						1.35	
	76	ψ	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1					1	
	77	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36		1.01	0.54	1.01	0.54	1.01	0.54						1.35	
STR_38	78	ψ	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1					1	
	79	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5														1.01			1.35
STR_39	80	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	
	81	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9			0.5										1.01		1.35	
STR_40	82	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		1	
	83	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.36												1.01		1.35	
STR_41	84	ψ	1	1	1	1	1	1	1				1										1		1	
	85	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9		0.36											1.01		1.35	
STR_42	86	ψ	1	1	1	1	1	1	1	1													1		1	
	87	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36											1.01		1.35	
STR_43	88	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	
	89	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36											1.01		1.35	
STR_44	90	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	
	91	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5														1.01	0.54	1.35	
STR_45	92	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	93	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9													1.01	0.54	1.35	
STR_46	94	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	95	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.36												1.01	0.54	1.35	
STR_47	96	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	97	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9		0.36											1.01	0.54	1.35	
STR_48	98	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	99	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36											1.01	0.54	1.35	
STR_49	100	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	101	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5			0.36											1.01	0.54	1.35	
STR_50	102	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1	1	1	
	103	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5														1.0125		1.35	
STR_51	104	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	
	105	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9													1.0125		1.35	
STR_52	106	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	
	107	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9	0.36												1.0125		1.35	
STR_53	108	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	
	109	y	1.35	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9		0.36											1.0125		1.35	
STR_54	110	ψ	1	1	1	1	1	1	1														1		1	









 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 57 di 162

## 7 IMPOSTAZIONE DEI MODELLI DI CALCOLO STRUTTURALE

Per il calcolo delle sollecitazioni sulle sottostrutture si è ricorsi all'impiego di modelli agli elementi finiti, messi a punto e risolti con software SAP2000 della Computers and Structures.

### 7.1 Modello locale

Per la descrizione del modello frame impiegato per le verifiche locali, fare riferimento al §11.1

### 7.2 Modello globale

Le travi degli impalcati sono stati modellati come elementi “*frame*” rappresentando la soletta ed effettuando automaticamente l'omogeneizzazione dei materiali tramite il section designer di SAP2000.

Trattandosi di un progetto tipologico, è stato modellato solamente l'impalcato

I vincoli esterni disposti alla altezza dei baggioli della struttura sono stati modellati con degli incastri. Il collegamento agli elementi che simulano il comportamento dei vari appoggi è effettuato mediante elementi link infinitamente rigidi.

Gli appoggi, siano essi fissi, unidirezionali o multidirezionali sono stati modellati mediante vincoli esterni di tipo “*Restraint*” cerniera o carrello a seconda del caso.

Nel seguito del presente capitolo, s'indicherà con “*X*” la direzione parallela all'asse del viadotto principale, con “*Y*” la retta di giacitura orizzontale ortogonale a “*X*” e con “*Z*” la direzione verticale.

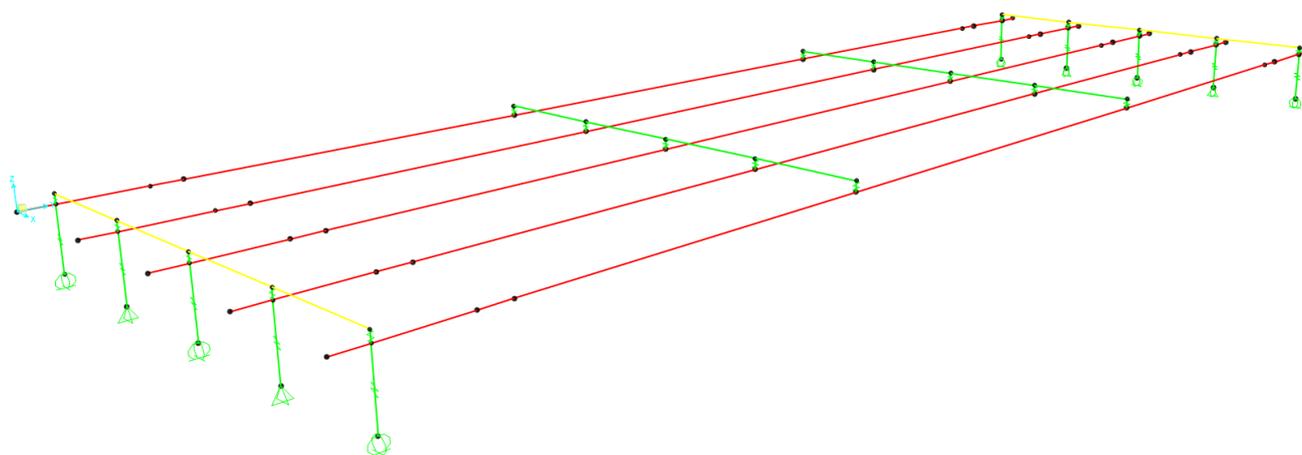


Fig. 11 – Modello strutturale impalcato cavalcaferrovia

	RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE				
	PROGETTO DEFINITIVO				
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. FOGLIO B 58 di 162

- Numero di nodi: 83
- Numero di elementi *frame*: 66
- Numero di elementi *link*: 31

Il viadotto all'oggetto rientra fra i ponti definiti a tipologia e luci ordinarie; ai fini del calcolo delle sollecitazioni sull'impalcato, non è pertanto necessario tenere conto delle azioni associate al sisma: i carichi agenti nel piano orizzontale, infatti, sono sostanzialmente ininfluenti per il dimensionamento degli elementi strutturali in questione.

Per il calcolo delle sollecitazioni massime agenti è stata presa in considerazione la trave più caricata, cioè quella caratterizzata dal coefficiente di ripartizione maggiore, che corrisponde alla trave più esterna dell'impalcato.

Le verifiche di resistenza, illustrate dettagliatamente nei paragrafi che seguono, sono state condotte in conformità al metodo semiprobabilistico agli stati limite. Le verifiche si ritengono soddisfatte qualora le tensioni e le sollecitazioni presenti risultino inferiori a quelle resistenti.

Nei paragrafi successivi è stata adottata la seguente convenzione sui segni delle sollecitazioni e delle tensioni:

- $N < 0$  sforzo normale di trazione;
- $M > 0$  momento flettente che tende le fibre inferiori;
- $\sigma < 0$  tensioni normali di trazione.

### Assegnazione dei carichi al modello

Si riportano in via non esaustiva le assegnazioni dei carichi principali assegnati nel modello

Frame Span Loads (G1\_Trave) (GLOBAL CSys)

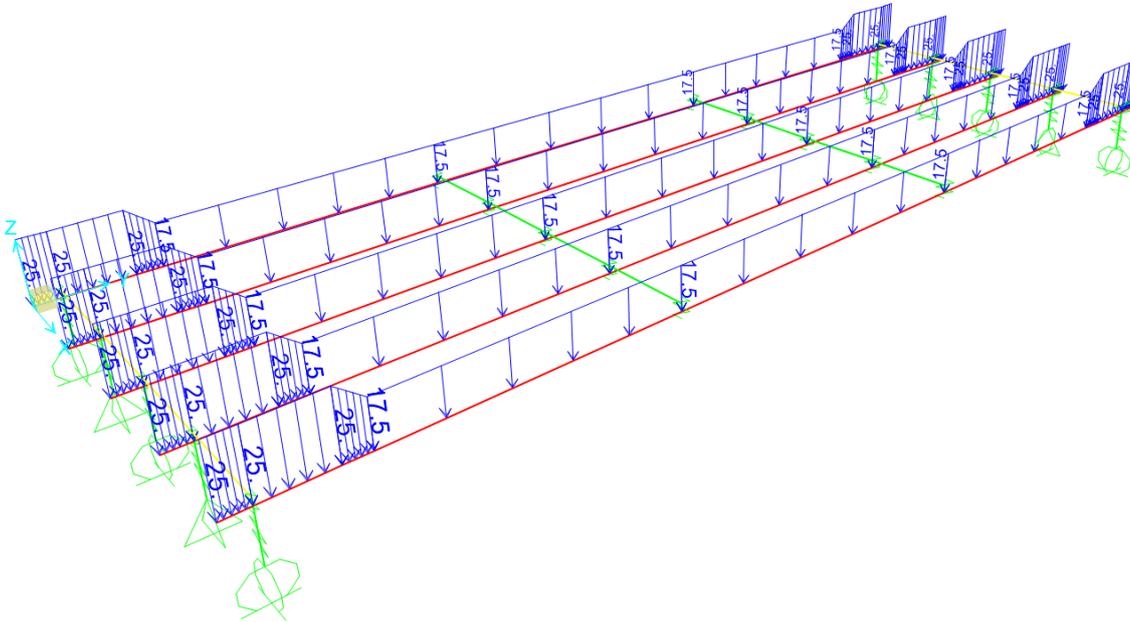


Fig. 12 – Assegnazione carichi  $G_{1\_Trave}$

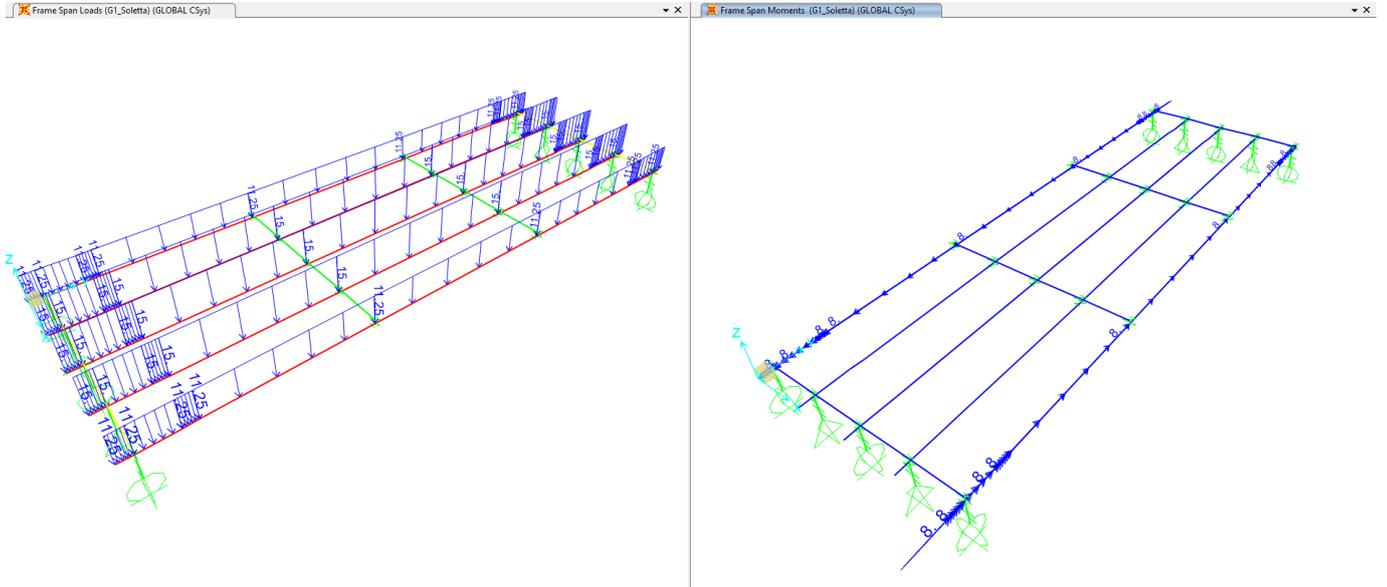


Fig. 13 – Assegnazione carichi  $G_1$ \_Soletta

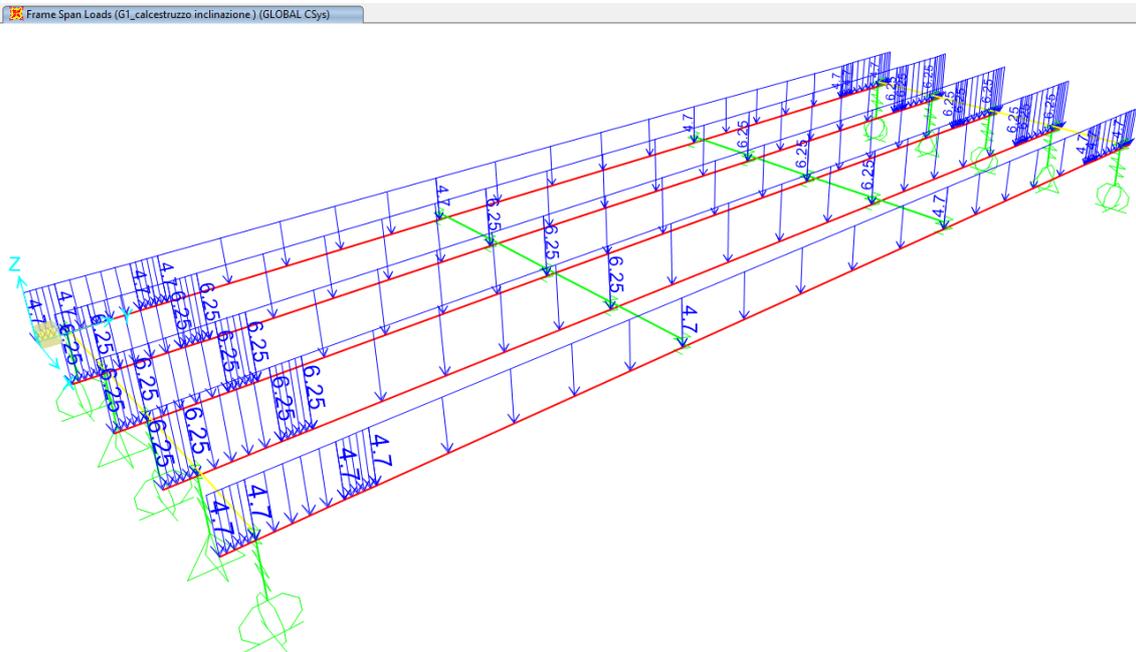


Fig. 14 – Assegnazione carichi  $G_1$ \_Calcestruzzo\_inclinazione

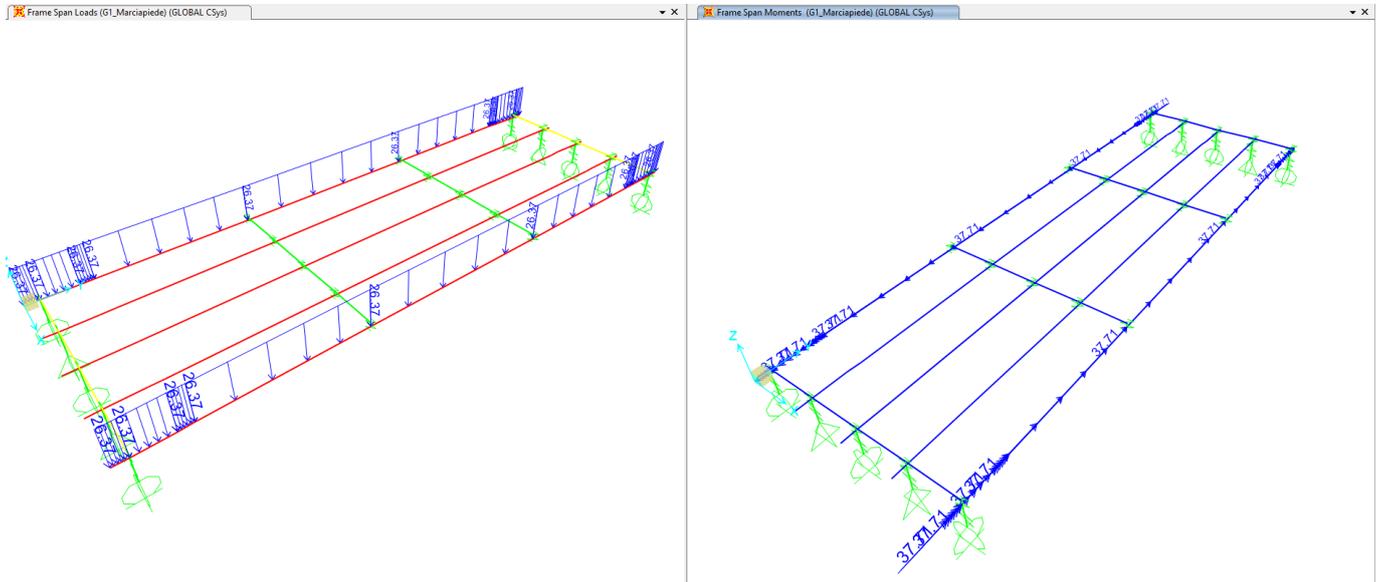


Fig. 15 – Assegnazione carichi G1\_Marciapiede

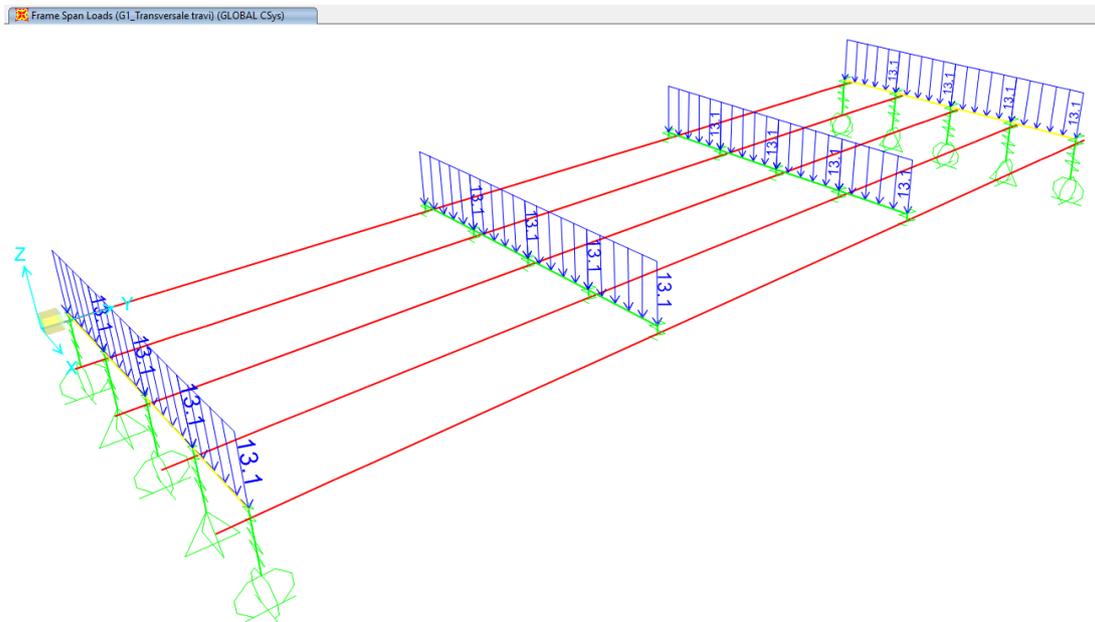
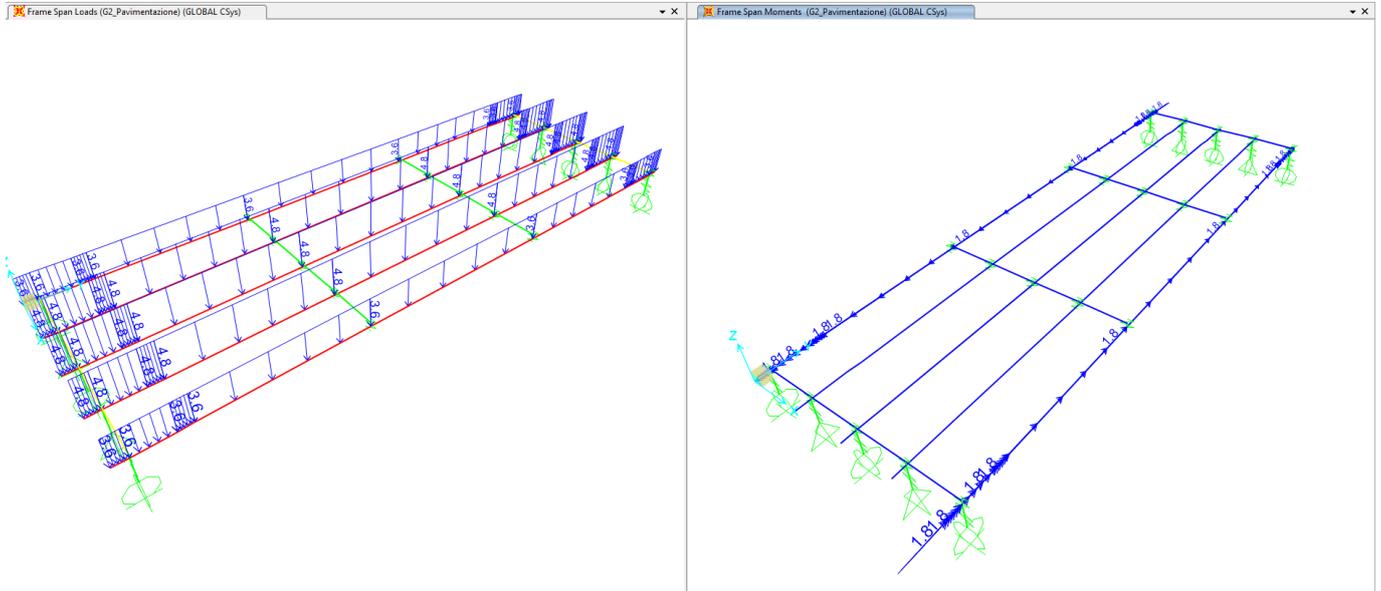


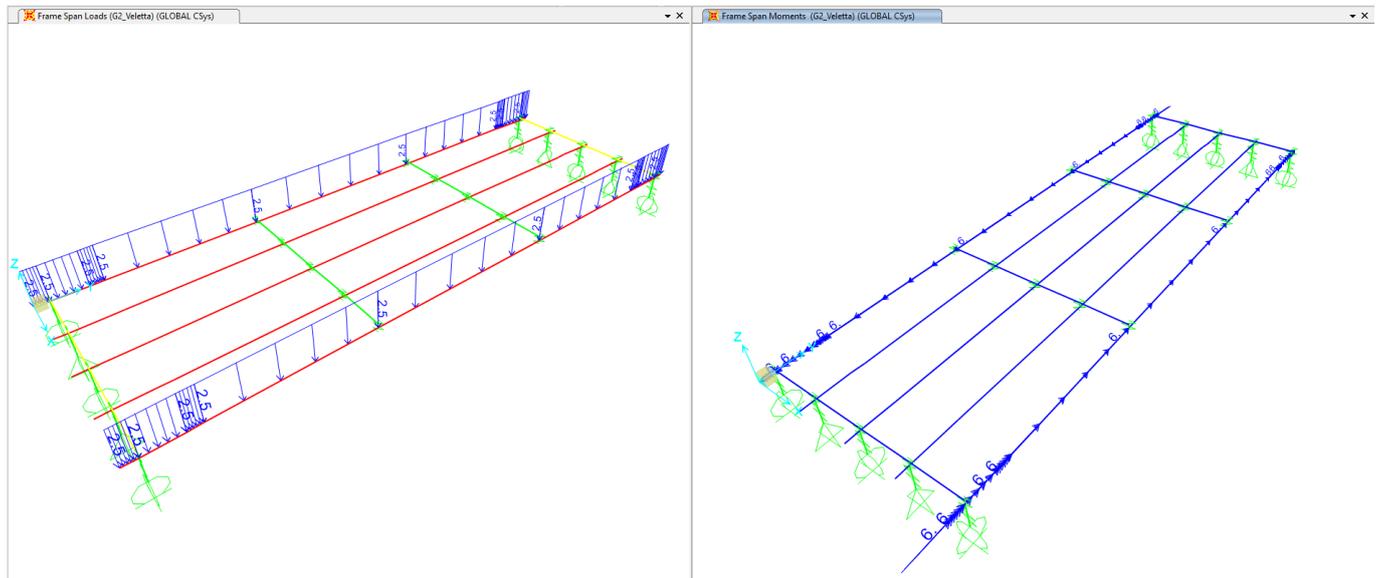
Fig. 16 – Assegnazione carichi G1\_Transversali\_travi

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	62 di 162



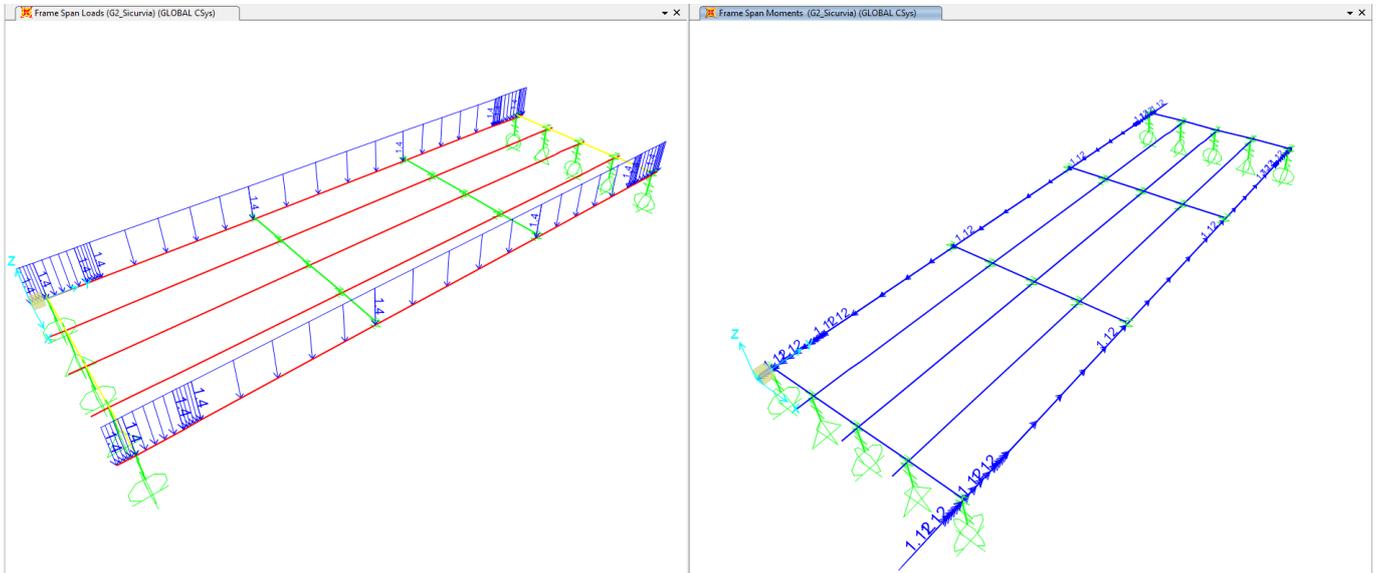
*Fig. 17 – Assegnazione carichi G2\_Pavimentazione*



*Fig. 18 – Assegnazione carichi G2\_Veletta*

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	63 di 162



*Fig. 19 – Assegnazione carichi G2\_Sicurvia*

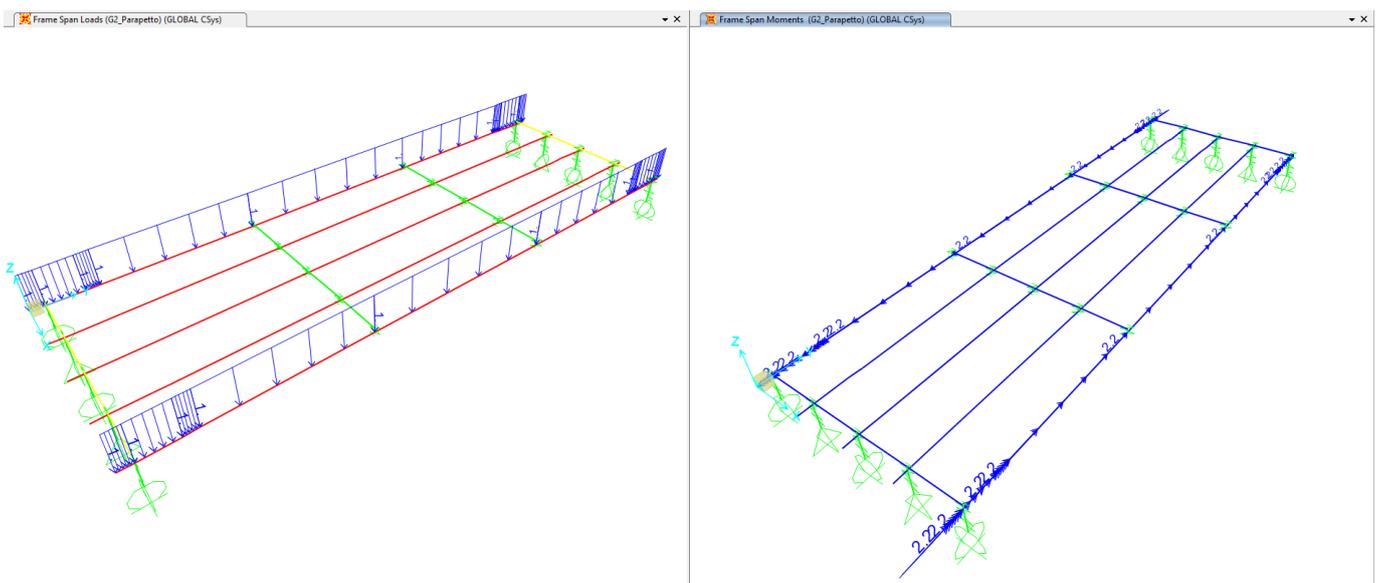


Fig. 20 – Assegnazione carichi G2\_Parapetto

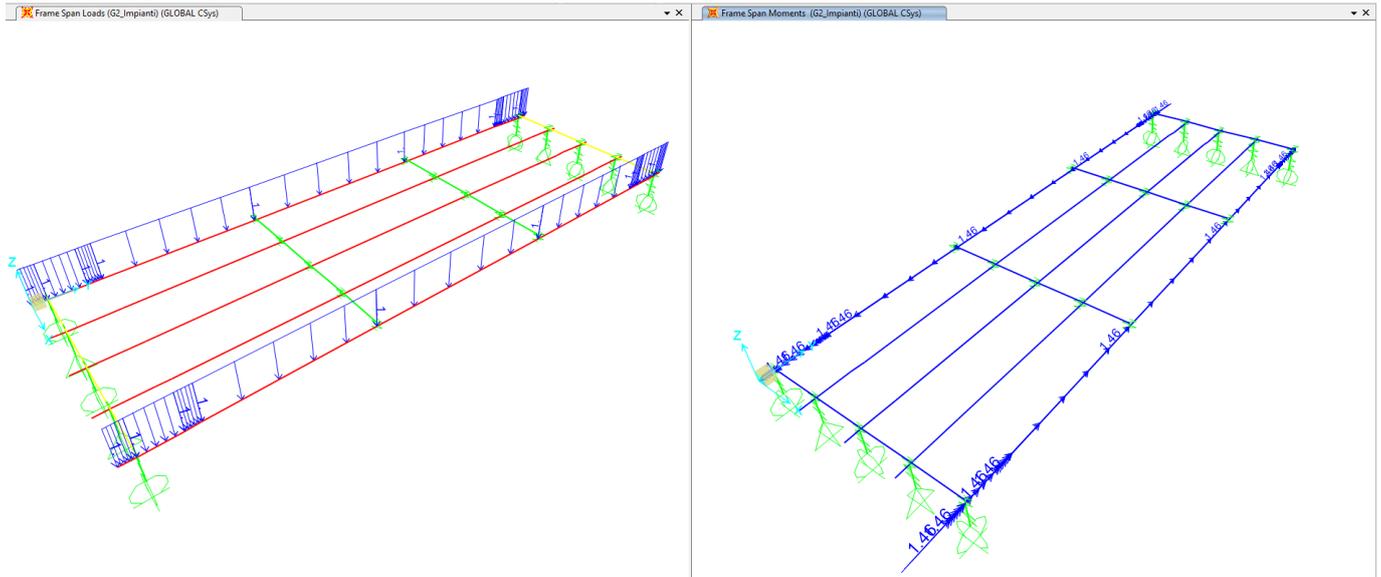


Fig. 21 – Assegnazione carichi G2\_Impianti

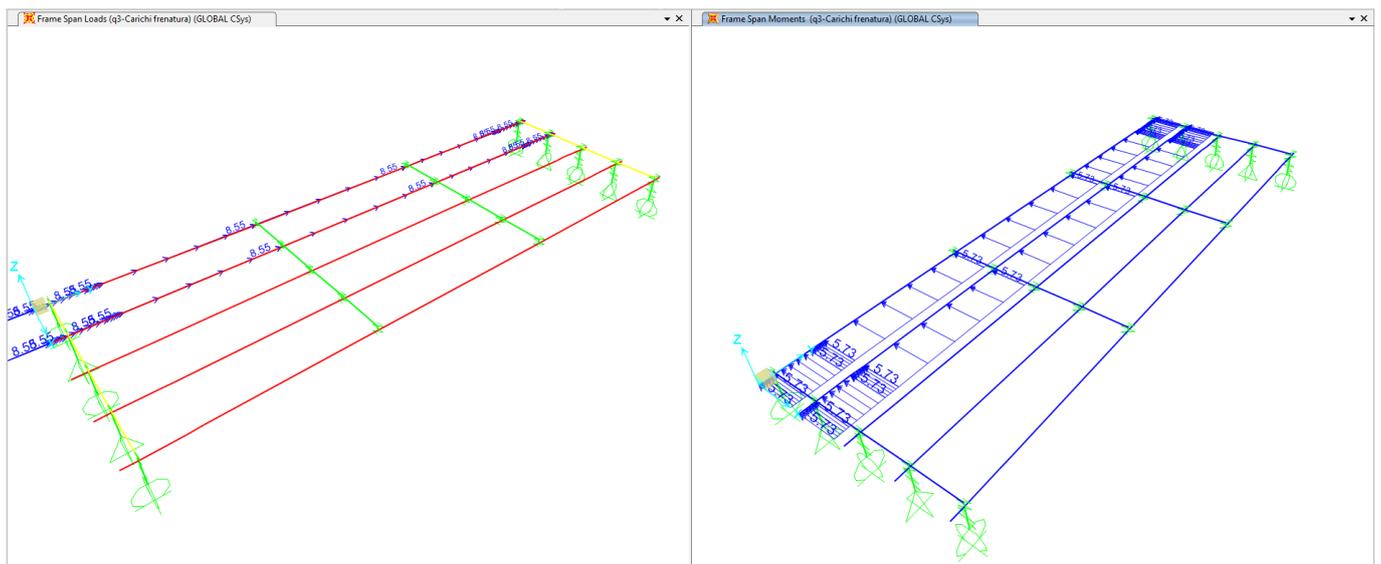


Fig. 22 – Assegnazione carichi q3\_frenatura

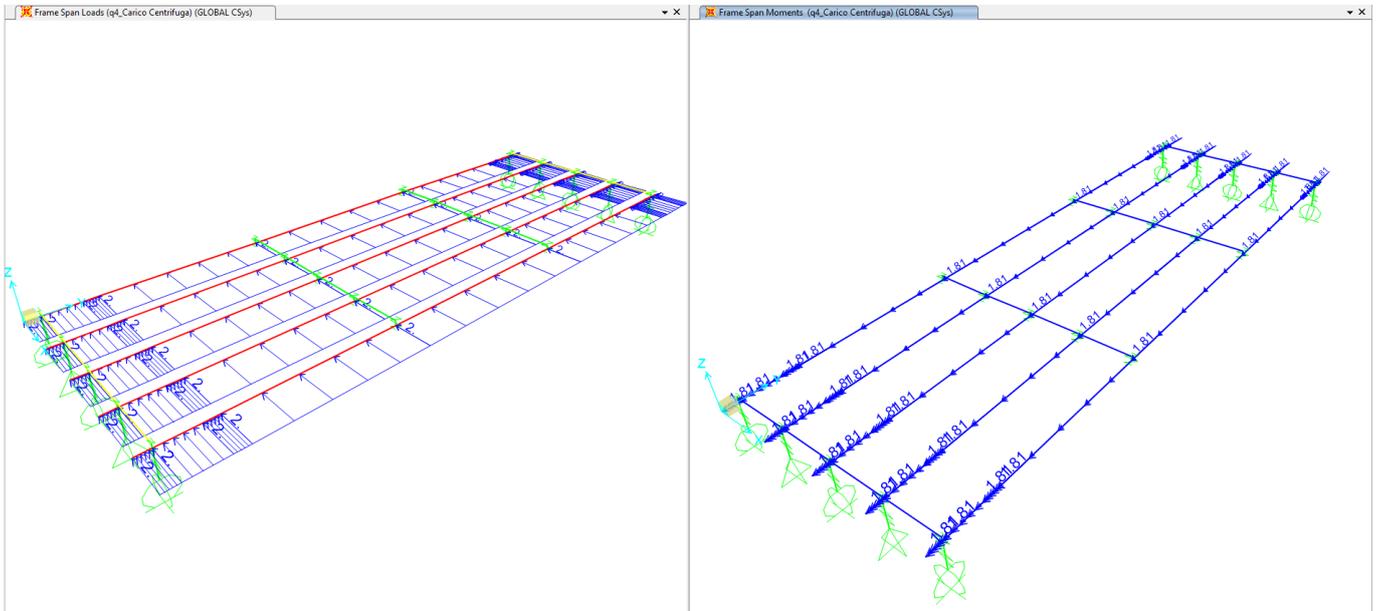


Fig. 23 – Assegnazione carichi  $q4\_centrifuga$

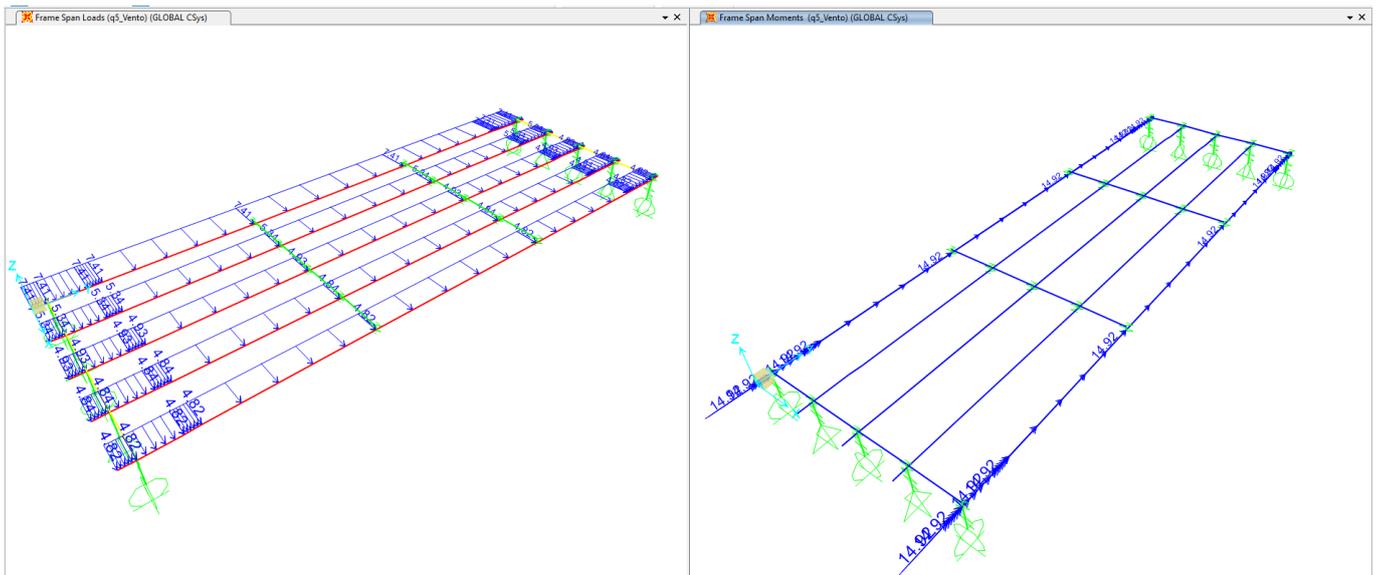
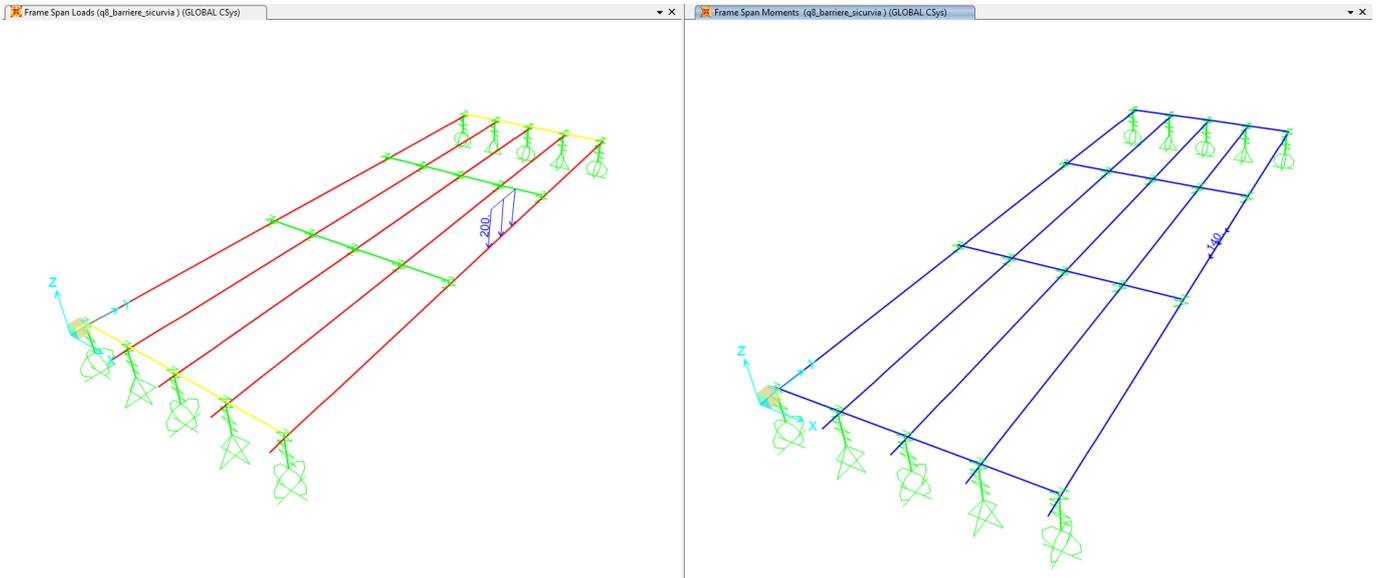
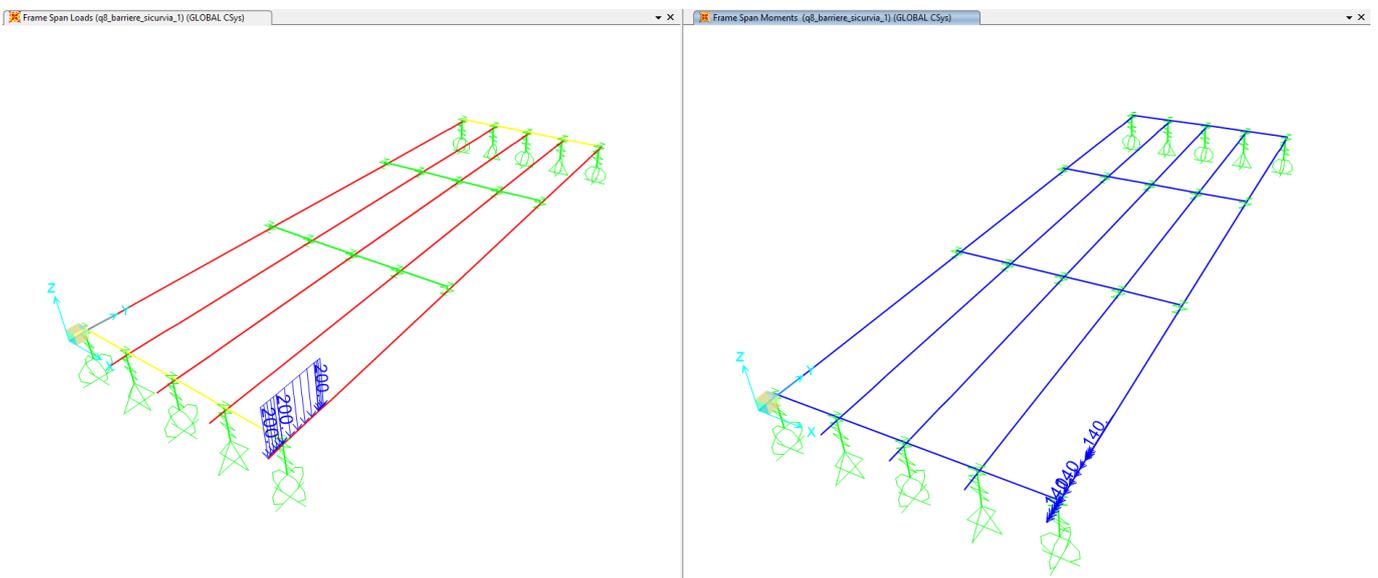


Fig. 24 – Assegnazione carico  $q5\_Vento$  - forza distribuita e momenti



*Fig. 25 – Assegnazione carico  $q8_{Barriere\_Sicurvia}$  - forza distribuita e momento*



*Fig. 26 – Assegnazione carico  $q8_{Barriere\_Sicurvia\_1}$  - forza distribuita e momento*

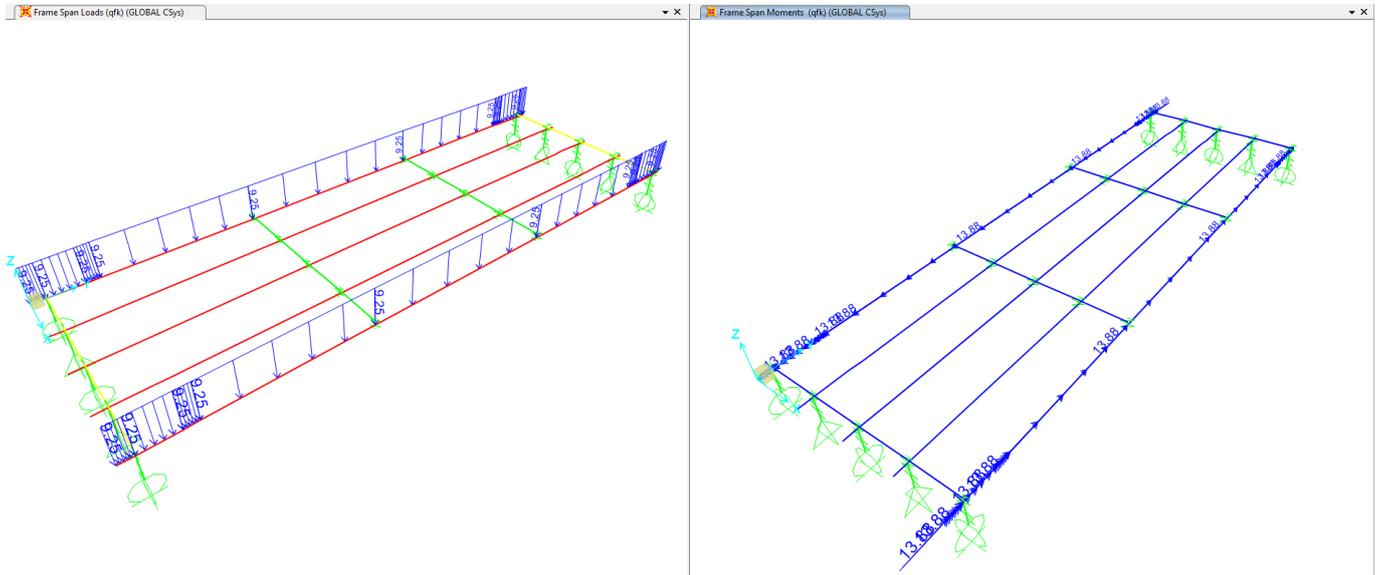


Fig. 27 – Assegnazione carico  $q_{fk}$  - forza distribuita e momento

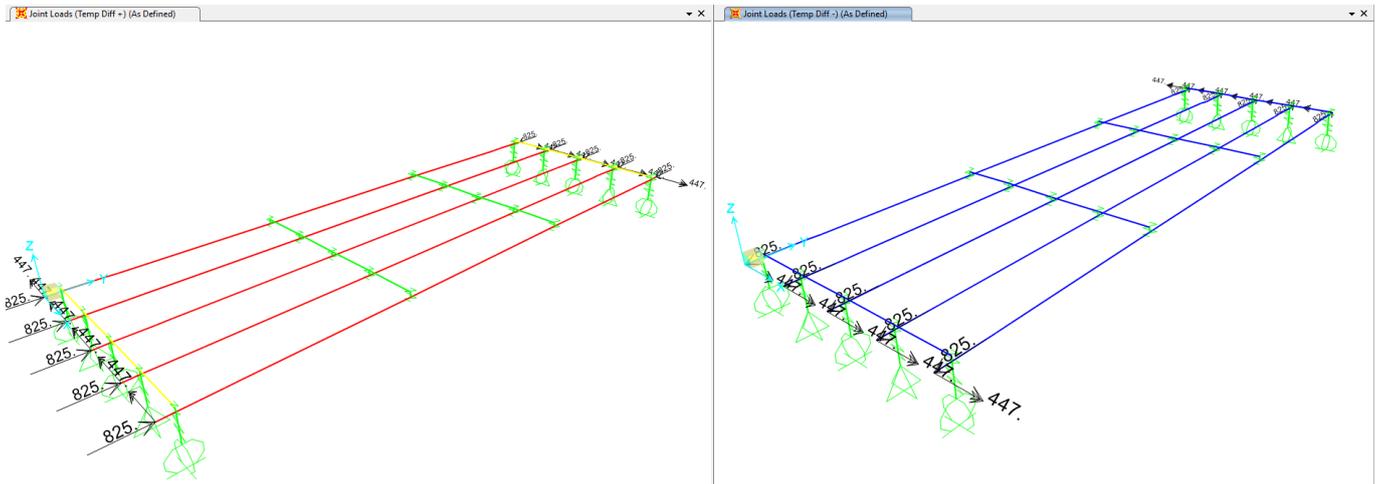


Fig. 28 – Assegnazione carico Differenza di temperature +/- temperature -

Joint Loads (Ritiro calcestruzzo) (As Defined)

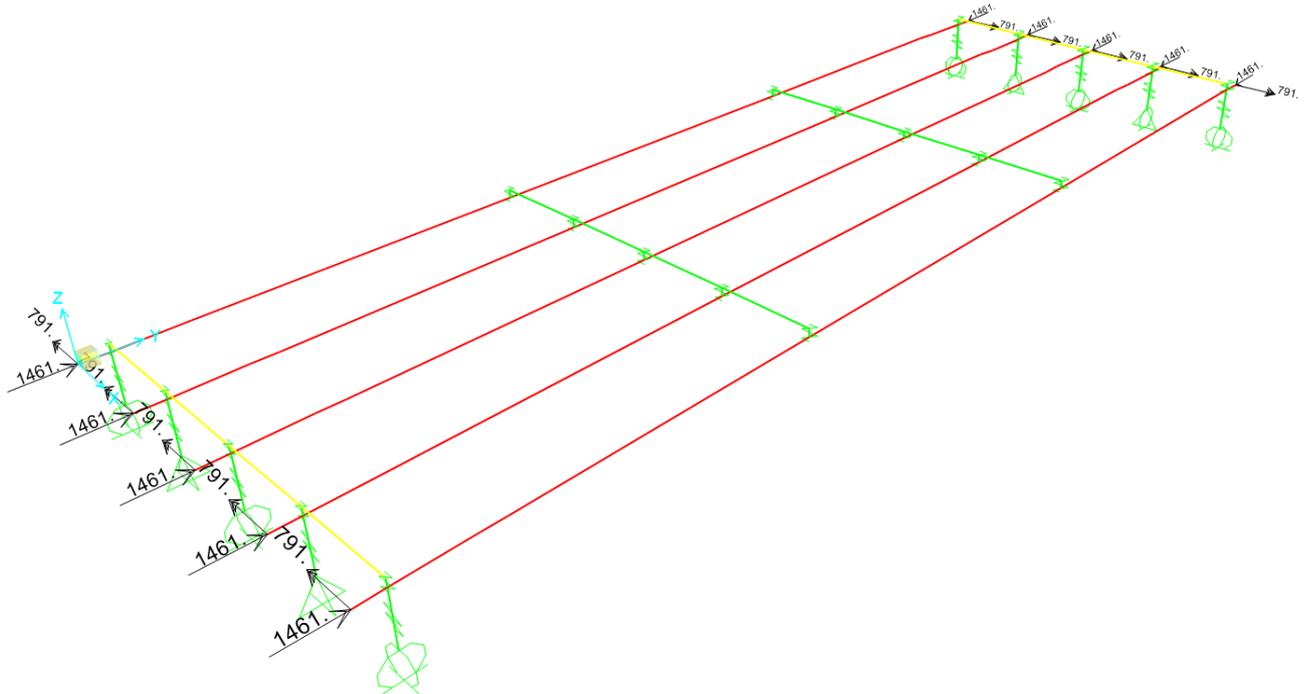


Fig. 29 – Assegnazione carico Ritiro Calcestruzzo

Frame Span Loads (Sisma\_Y\_SLV) (GLOBAL CSys)

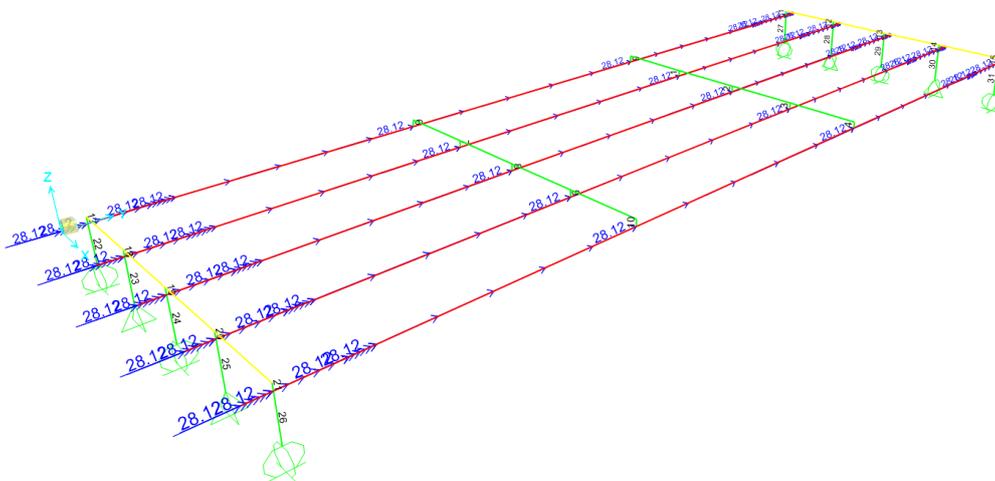


Fig. 30 – Assegnazione carico 'Sisma longitudinale'

Frame Span Loads (Sisma\_X\_SLV) (GLOBAL Csys)

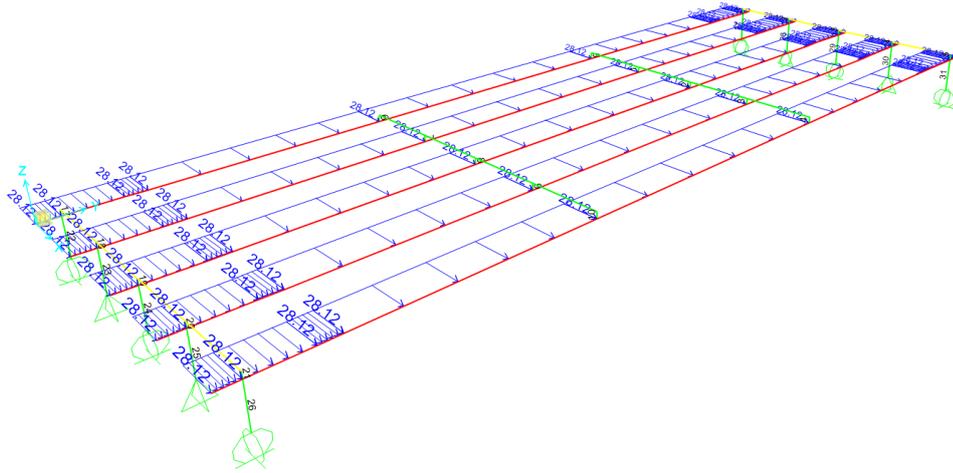


Fig. 31 – Assegnazione carico 'Sisma trasversale'

Frame Span Loads (Sisma\_Z\_SLV) (GLOBAL Csys)

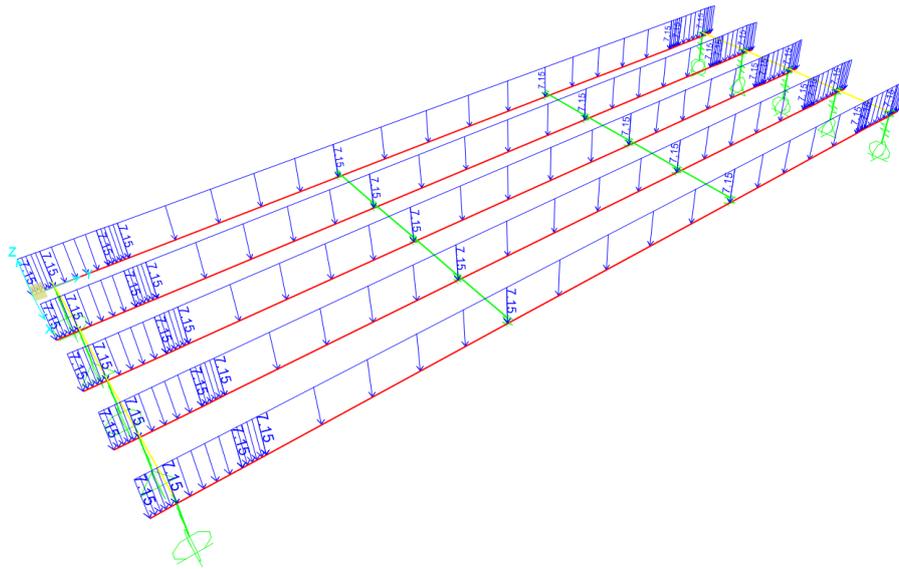


Fig. 32 – Assegnazione carico 'Sisma verticale'

*Risultati delle analisi*

Moment 3-3 Diagram (STR\_ENV)

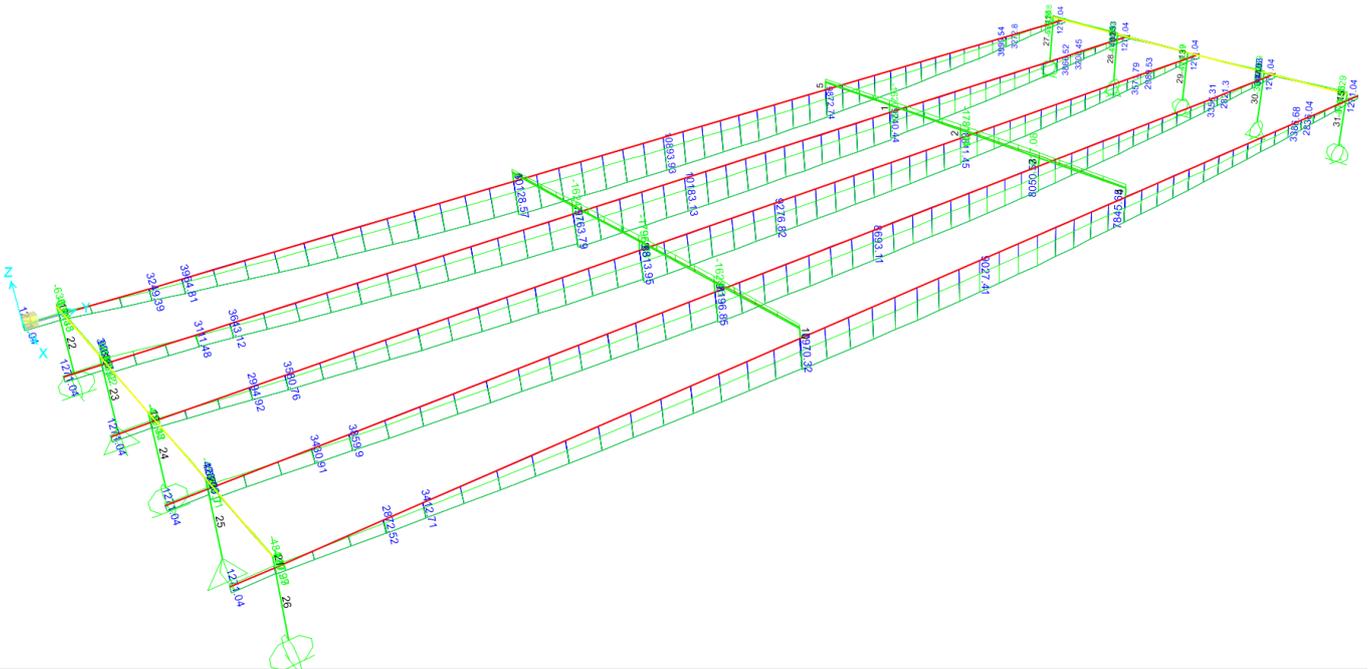


Fig. 33 – Momenti flettenti M3 - Inv SLU

Shear Force 2-2 Diagram (STR\_ENV)

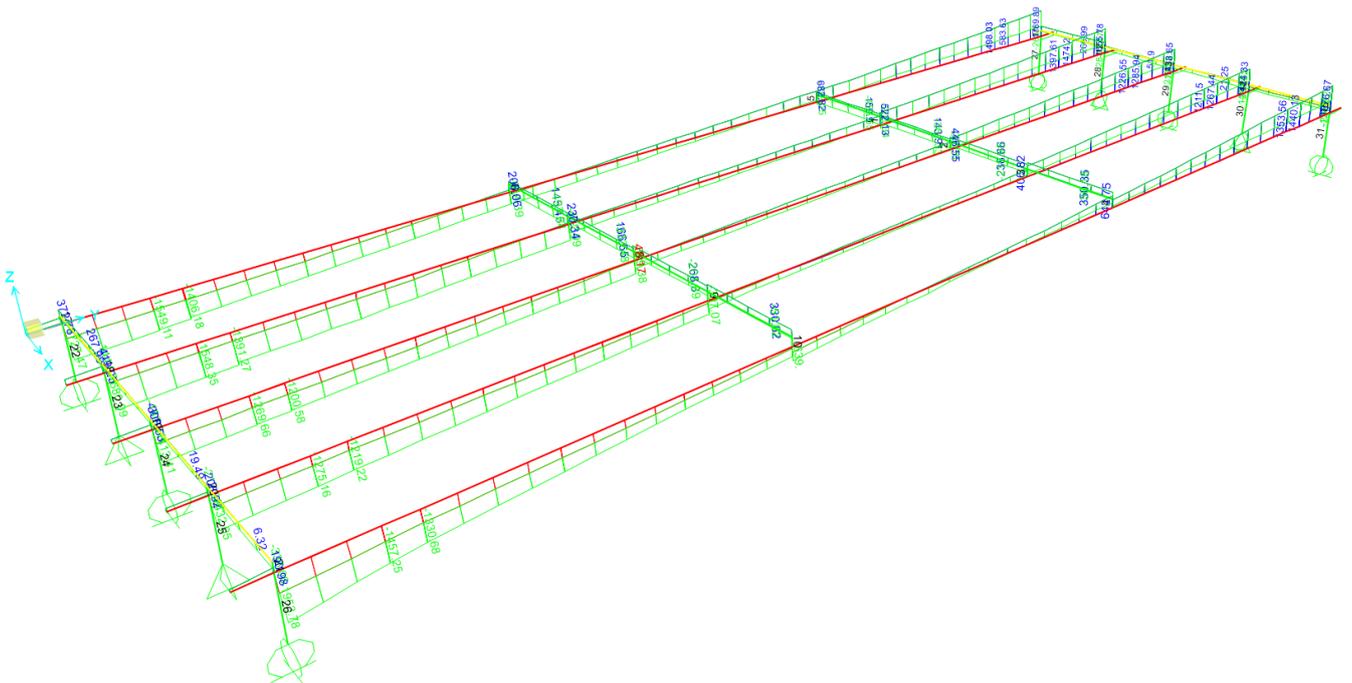


Fig. 34 – Taglio V2 Inv – SLU

Moment 3-3 Diagram (SLE\_ENV)

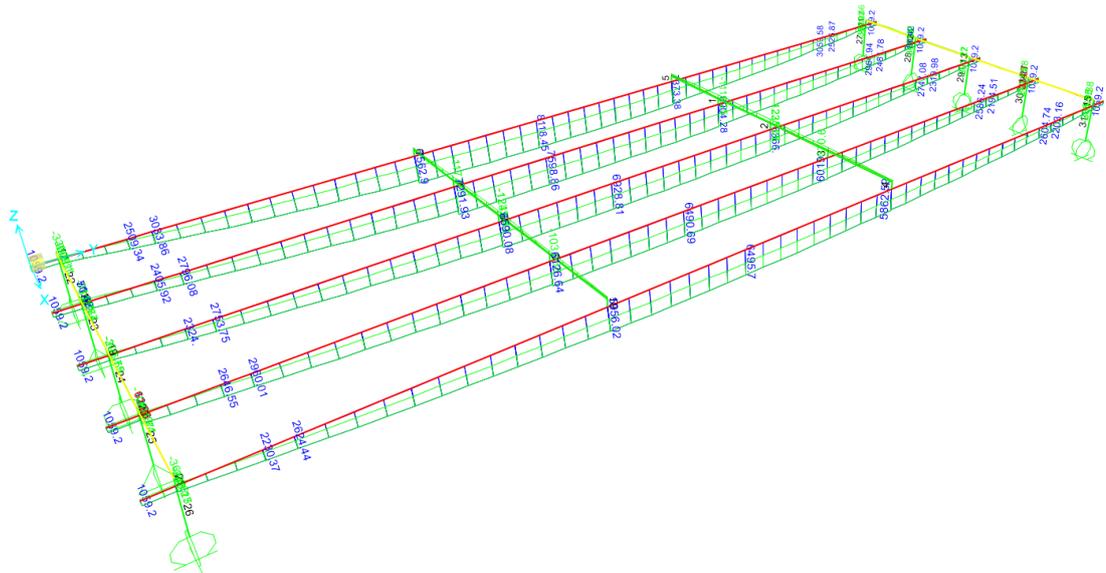
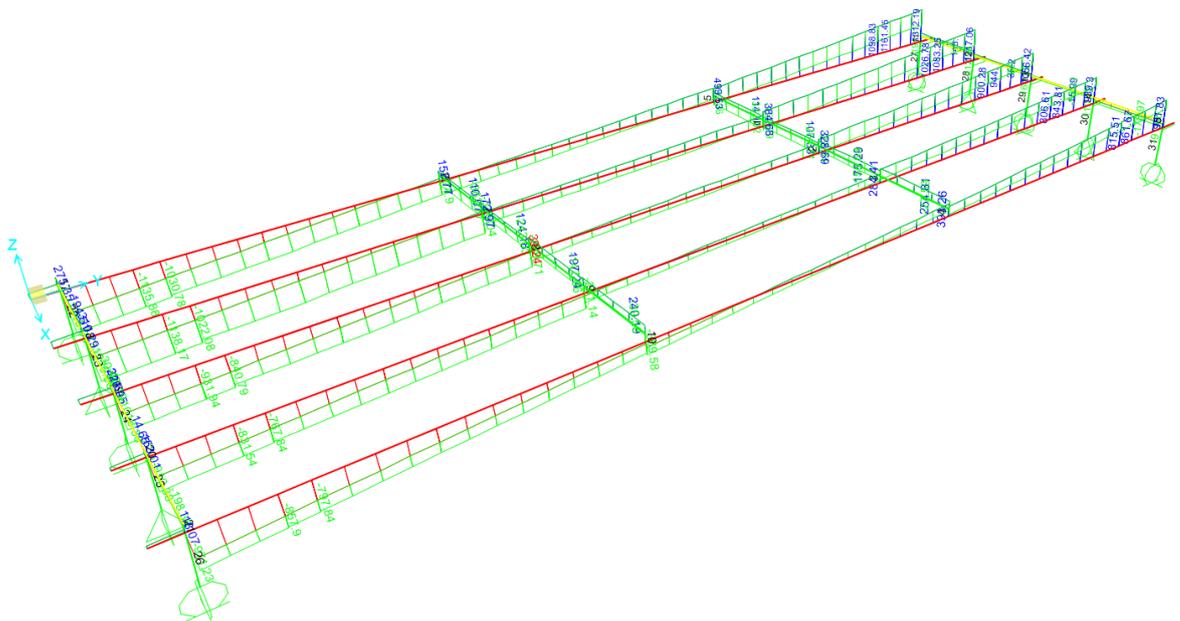


Fig. 35 – Momenti flettenti M3 - Inv Fase 3 SLE

Shear Force 2-2 Diagram (SLE\_ENV)



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b></p> <p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p>					
<p><b>Relazione di calcolo impalcato</b></p>	<p>COMMESSA NR1J</p>	<p>LOTTO 01 D 29</p>	<p>CODIFICA CL</p>	<p>DOCUMENTO IV0107001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 72 di 162</p>

*Fig. 36 – Taglio V2 - Inv Fase 3 SLE*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO CESANO VIGNA DI VALLE</b>					
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>Relazione di calcolo impalcato</b>	COMMESSA NR1J	LOTTO 01 D 29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IV0107001	REV. B	FOGLIO 73 di 162

## 8 **IMPALCATO: ANALISI EFFETTI GLOBALI**

Conformemente alle prescrizioni normative le verifiche di resistenza delle sezioni in esame sono condotte tenendo conto delle seguenti fasi costruttive:

- **Fase 0** condizione a vuoto: peso proprio ( $G_1$ ) + precompressione iniziale a cadute istantanee avvenute (P) (sezione resistente solo trave in c.a.p. –  $S_1$ );
- **Fase 1** getto della soletta su predalles ( $G_1$ ) gravanti sulle travi in c.a.p. + precompressione a cadute lente avvenute (P) (sezione resistente solo trave in c.a.p. –  $S_1$ );
- **Fase 2** sovraccarichi permanenti ( $G_2$ ) + precompressione a cadute lente avvenute (P), (sezione resistente omogeneizzata composta da trave in c.a.p. + soletta collaborante –  $S_2$ );
- **Fase 3** condizione di servizio: carichi mobili (Q) + precompressione finale a cadute lente avvenute (P) + ritiro del calcestruzzo ( $\epsilon_2$ ) (sezione resistente omogeneizzata composta da trave in c.a.p. + soletta collaborante –  $S_2$ ).

### Verifiche tensionali SLE

Per ogni fase sono verificate le tensioni ai lembi superiore ed inferiore della trave e, una volta che la soletta diventa collaborante, anche la tensione al lembo superiore della soletta stessa. I limiti tensionali per l'acciaio da precompressione e per il calcestruzzo nelle varie fasi, sono definiti nel D.M. 17 Gennaio 2018 al §4.1.8.1. Tali verifiche sono state effettuate in corrispondenza della mezzeria e nella sezione a 5 metri dell'appoggio.

## 8.1 Travi principali

### 8.1.1 Sezione in mezzeria (M+)

Si riportano le sollecitazioni ricavate dal modello a graticcio

#### Fase 0

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
62	3.899	Fase_0	LinStatic	-1.1E-11	-0.018	1.55E-12	3.19E-16	-2.6E-12	1203.75
53	3.899	Fase_0	LinStatic	-5E-11	-0.017	2.04E-13	7.67E-16	2.5E-13	1203.75
44	3.899	Fase_0	LinStatic	-1.8E-11	-0.018	-4.9E-13	-4.6E-16	-1E-12	1203.75
35	3.899	Fase_0	LinStatic	-7.1E-11	-0.017	-1.6E-12	4.67E-15	-3.2E-14	1203.75
26	3.9005	Fase_0	LinStatic	-3.6E-12	0.00875	-2.5E-12	-1.3E-15	4.54E-12	1203.75

#### Fase 1

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
62	3.899	Fase_1	Combination	-16.255	0.589	-1.06	0.0958	6.3761	2126.664
53	3.899	Fase_1	Combination	4.881	-0.161	-3.695	0.0231	4.5224	2068.674
44	3.899	Fase_1	Combination	21.939	-0.82	-0.15	0.000367	-0.1647	2085.399
35	3.899	Fase_1	Combination	6.581	-0.534	3.698	-0.0261	-4.5303	2073.628
26	3.9005	Fase_1	Combination	-17.147	0.839	1.207	-0.0256	-6.0343	2125.239

#### Fase 2

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
62	3.899	Fase_2	Combination	-4.769	0.061	-0.029	0.0203	2.0046	388.3224

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	75 di 162

53	3.899	Fase_2	Combination	1.439	0.012	-0.935	0.0061	1.5536	384.5017
44	3.899	Fase_2	Combination	6.477	-0.14	-0.023	0.000505	-0.053	393.3442
35	3.899	Fase_2	Combination	1.835	-0.056	0.941	-0.0067	-1.5511	386.4715
26	3.9005	Fase_2	Combination	-4.983	0.106	0.045	-0.0129	-1.8877	387.6482

Fase 3

**TABLE: Element Forces - Frames**

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
62	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Max	696.533	111.426	7.206	5.866	32.126	2247.470
62	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Min	-	-	-	-	-	-
					572.887	100.577	16.357	6.298	79.565	-525.498
53	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Max	670.200	131.574	13.715	5.877	29.378	1857.923
53	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Min	-	-	-	-	-	-
					558.054	133.926	33.331	6.626	81.894	-296.442
44	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Max	549.788	189.858	17.634	5.708	28.371	2354.998
44	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Min	-	-	-	-	-	-
					514.410	187.466	45.276	6.565	86.641	-297.414
35	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Max	588.135	262.624	13.674	7.374	29.796	2989.568
35	3.899	Fase3_SLE_ENV	Combination	Min	-	-	-	-	-	-
					685.471	253.064	33.558	7.579	85.272	-339.096
26	3.9005	Fase3_SLE_ENV	Combination	Max	572.331	261.634	6.951	7.939	32.531	3496.796
26	3.9005	Fase3_SLE_ENV	Combination	Min	-	-	-	-	-	-
					695.738	246.837	18.145	7.722	87.889	-436.549

### 8.1.1.1 Verifica SLE- tensionale

#### Verifica al tiro e in servizio trave in c.a.p a fili aderenti

##### Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo travi		Calcestruzzo soletta	
<i>Tipo di calcestruzzo</i>		<i>Tipo di cls</i>	
	C45/55		C30/37
$R_{ck}$	55.00 N/mm <sup>2</sup>	$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	45.65 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ck}$	30.71 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm}$	53.65 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cm}$	38.71 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$	-3.83 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctm}$	-2.94 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$	36416.11 N/mm <sup>2</sup>	$E_{cm}$	33019.43 N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche cls al trasferimento della precompressione			
$t$	14 giorni	momento di trasferimento della precompressione	
$f_{cm}(t)$	49.38 N/mm <sup>2</sup>		
$f_{ck}(t)$	41.38 N/mm <sup>2</sup>		
$0.7 f_{ck}(t)$	28.97 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione all'atto della precompressione (p. 4.1.8.1.4)	
$0.6 f_{ck}(t)$	24.83 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione di esercizio a cadute avvenute (p. 4.1.8.1.3)	
$f_{ctm}(t)$	-3.53 N/mm <sup>2</sup>		
$k$	1.00 N/mm <sup>2</sup>	valore di riduzione della resistenza a trazione del cls per le verifiche del conglomerato	
$f_{ctm}(t) \cdot k$	-3.53 N/mm <sup>2</sup>		

Acciaio	
Tipo di cavo	3
Classe di armatura	classe 2
$f_{ptk}$	1860 N/mm <sup>2</sup>
$f_p(1)k$	1670 N/mm <sup>2</sup>
---	---
---	---
$f_{pk}$	1670 N/mm <sup>2</sup>
$E_p$	195 GPa

Scrivere (1) Barre, (2) Fili, (3) Trefoli, (4) Trefoli a fili sagomati, (5) Trecce p. 11.3.3.2  
(Classe 1: Trecce, filo o trefolo ordinario; Classe 2: Trecce, filo o trefolo stabilizzato;  
Classe 3: barra laminata p.11.3.3.3)

Limiti tensioni massime iniziali all'atto della tesatura		
$\sigma_{spi} = 0.9 f_{pk}$	1503.00 N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{spi} = 0.8 f_{ptk}$	1488.00 N/mm <sup>2</sup>	Condizione più restrittiva

Predimensionamento		
$N_{p0}$	7889.64 kN	forza di precompressione iniziale
Diametro nominale	0.6"	
$A_{nom}$	139.00 mm <sup>2</sup>	Area nominale
numero minimo di cavi	39	$num. min. cavi = int \left( \frac{N_{p0}}{\sigma_{spi} \cdot A_{nom}} \right) + 1$

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	77 di 162

**Sollecitazioni al tiro**

$M_{pp, trave}$	<b>1203.75 kNm</b>
Luce trave	23.40 m
Peso proprio trave+trasversi pref	kN/m
$\gamma_{cls}$	kN/m <sup>3</sup>

momento massimo sollecitante dovuto al peso proprio della trave

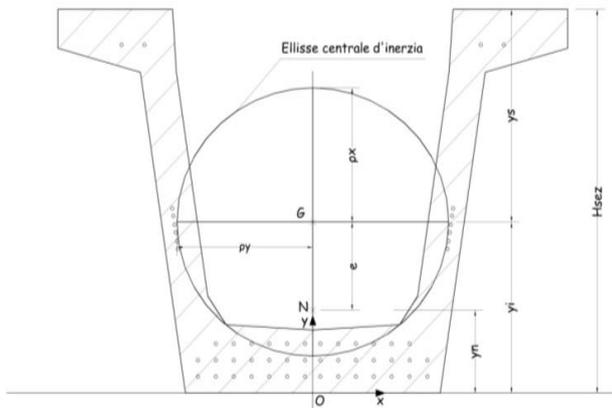
la trave è caricata con G1 variabile in testa ed in campata

**Riassunto caratteristiche sezione omogeneizzata**

coefficiente di omogeneizzazione n	5.37 (acciaio e cls)
$A_{cls}$	7002.07 cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>
numero di trefoli scelto n°	<b>44</b>
$A_{tr}$	61.16 cm <sup>2</sup>
$A^*$	7330.77 cm <sup>2</sup>
$H_{sez}$	140.01 cm
$y_i$	62.35 cm
$y_s = H_{sez} - y_i$	77.66 cm
$I_g^*$	17731876 cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_g^* / y_s$	228357.51 cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_g^* / y_i$	284390.85 cm <sup>3</sup>
$y_n$	11.45 cm
e	50.90 cm

area totale dell'armatura di precompressione

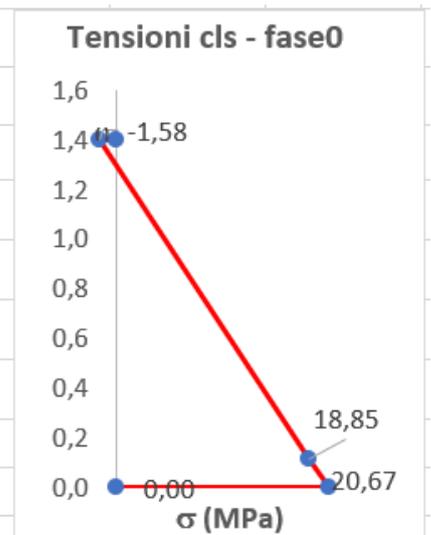
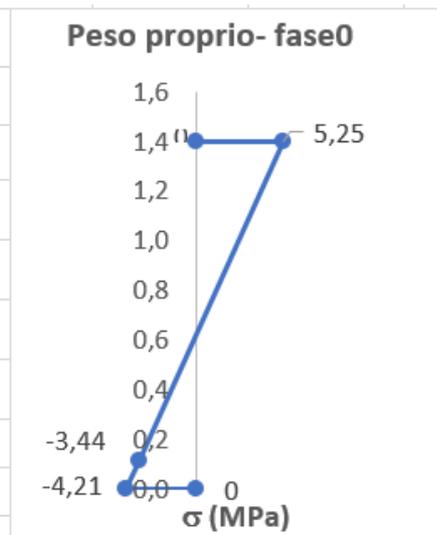
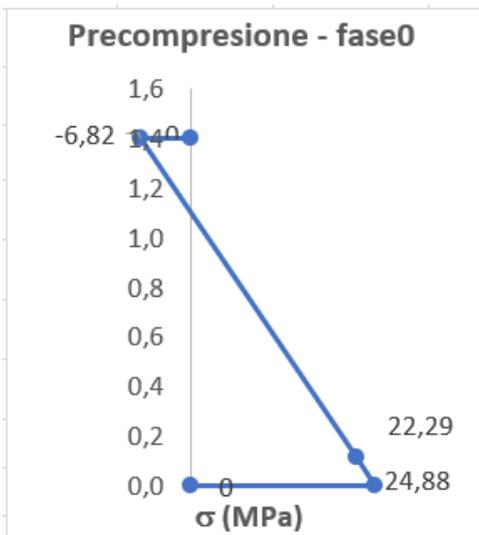
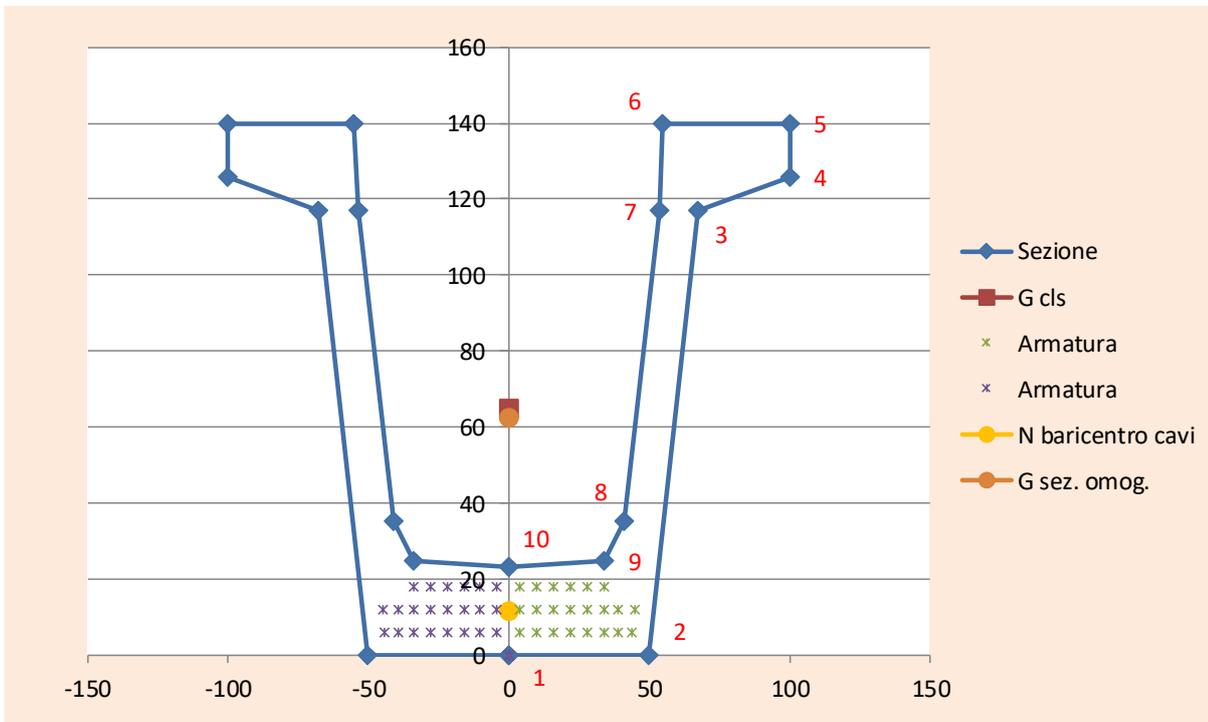
punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogen



**TIRO INIZIALE**

$N_p^0$	7890 kN
$\sigma_{pi} = N_p^0 / A_{tr}$	1290.00 N/mm <sup>2</sup>

**RILASCIO DEL CAVO: fase 0**



**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	79 di 162

**Tensione cls a livello del cavo al tiro**

$$\sigma_{cc}^j = \frac{N_{p0}^j}{A^*} + \frac{N_{p0}^j \cdot e}{I_i^*} \cdot e = 24.88 \text{ MPa} \quad \text{Compressione}$$

**Perdite di tensione istantanee**

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls

1190.79 MPa

**Precompressione dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls**

$$N_p^0 = N_{p0} - \Delta N_i = 7282.87 \text{ kN}$$

**Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cs}^s = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_s^*} = -1.58 \text{ MPa} \quad \text{Trazione} \quad \text{Verificata} \quad \sigma > k \cdot f_{ctm}(t)$$

$f_{ctm}(t) \cdot k/1,2 = -2.94 \text{ MPa}$   
 Coeff. di sicurezza = 1.86 coefficiente di sicurezza

**Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{ci}^s = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_i^*} = 20.67 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 f_{ck}(t)$$

$0.7 f_{ck}(t) = 28.97 \text{ MPa}$   
 Coeff. di sicurezza = 1.40 coefficiente di sicurezza

**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e = 18.85 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 f_{ck}(t)$$

$0.7 f_{ck}(t) = 28.97 \text{ MPa}$   
 Coeff. di sicurezza = 1.54 coefficiente di sicurezza

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp}^0 = \sigma_{sp}^j + n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e = 1209.36 \text{ MPa}$$

**GETTO IN OPERA DELLA SOLETTA : fase 1**

(Sezione resistente formata dalla sola trave, soletta considerata solo come carico)

**Sollecitazioni al getto della soletta**

$$M_{max} = M_{pp,soletta} = 2126.66 \text{ kNm}$$

momento massimo sollecitante dovuto al solo peso proprio della soletta

**Variazioni di tensione dovute a  $M_{max}$**

$\Delta \sigma_{cs}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_s$	9.31 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta \sigma_{ci}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_i$	-7.48 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta \sigma_{cc}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	-6.11 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

A favore di sicurezza si è considerato che il getto della soletta avvenga dopo molto tempo rispetto al tiro delle travi in precompressione, in modo da poter considerare in questa fase tutte le perdite di tensione lente riguardo la precompressione.

Ritiro e viscosità a 61 gg (getto soletta)

Perimetro esposto aria trave	u	8271,1	mm
tempo getto soletta	tsol	61	gg
ritiro per essiccamento trave al getto della soletta	ecd,61	-0,0001337	
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0003367	
ritiro autogeno trave al getto della soletta	eca,61	-0,0000347	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	80	
fck trave		45	MPa
ho trave	ho,t	169,3	mm
kh trave	kh,t	0,9	
	ecd0,t	-0,000374	
	β,61	0,39692	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0004242	
ritiro trave a getto soletta	ecs,t,61	-0,0001684	
umidità ambiente	%	80	
	φ	1,484	
	E	36283	MPa
	E,visc	14610	MPa
	E,visc,61	22836	MPa

**Perdita di precompressione totale in fase 1**

$$\Delta\sigma_{tot} := \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_{rit} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr}}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_I} \cdot \left(1 + \frac{A_I}{J_I} \cdot e_c^2\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \Phi)}$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^1 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv 184,7 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 200,8 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNrill 78,3 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 394,3 kN

Perd% 5,00 %

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	81 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	0.34 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	-1.24 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e^2}{I_G^*}$	-1.11 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore**

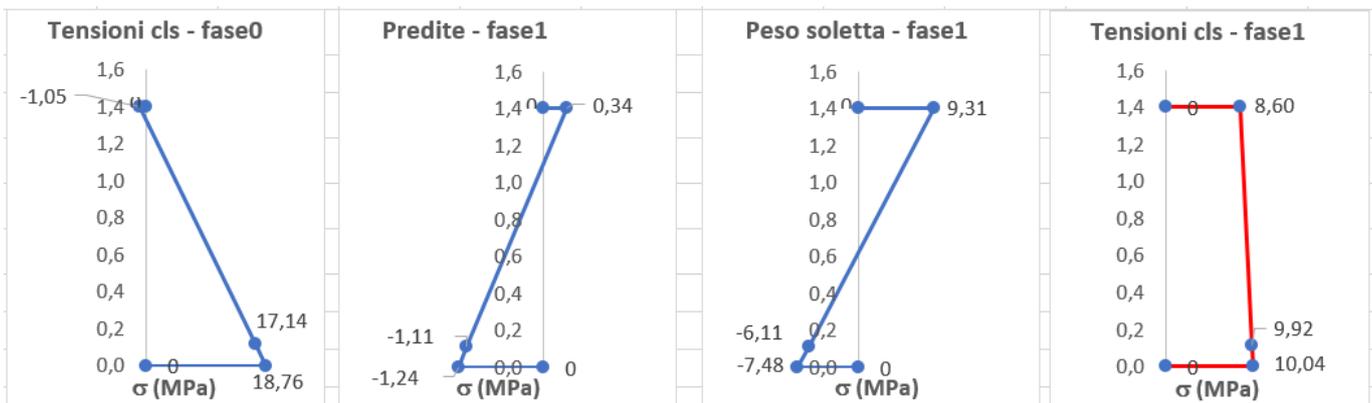
$\sigma_{cs}^1 = \sigma_{cs}^0 + \Delta\sigma_{cs}^1 + \Delta\sigma_{prcs}^1$	<b>8.60 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	3.18			

**Tensione cls lembo inferiore**

$\sigma_{ci}^1 = \sigma_{ci}^0 + \Delta\sigma_{ci}^1 + \Delta\sigma_{prci}^1$	<b>10.04 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	2.73			

**Tensione cls a livello del cavo**

$\sigma_{cc}^1 = \sigma_{cc}^0 + \Delta\sigma_{cc}^1 + \Delta\sigma_{prcc}^1$	<b>9.92 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	2.76			



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp}^1 = \sigma_{sp}^0 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc}^1 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^1 = \mathbf{1236.19 \text{ MPa}}$$

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	82 di 162

**AZIONE DEI PERMANENTI PORTATI : fase 2**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Caratteristiche sezione omogeneizzata 2

(si omogeneizza rispetto al cls di CAP)

$n_2$	<b>0.905</b>	coefficiente omogeneizzazione	(rapporto tra i due moduli elastici, soletta e CAP)
$A_{cls}$	12002.00	cm <sup>2</sup>	
$A_{resTref}$	1.39	cm <sup>2</sup>	
$n^o$	44.00	numero di trefoli scelto	
$A_{tr}$	61.16	cm <sup>2</sup>	area totale dell'armatura di precompressione
$A^*$	11855.81	cm <sup>2</sup>	
$H_{sez1}$	170.00	cm	
$Y_{i1}$	98.67	cm	
$Y_{s,soletta} = H_{sez1} - Y_{i1}$	71.33	cm	
$Y_{s,trave} = H_{sez} - Y_{i1}$	41.33	cm	
$H_{sol}$	25.00	cm	
$e_1$	58.83	cm	(utile per le azioni differenziali soletta - trave)
$I_g^*$	43298700	cm <sup>4</sup>	
$W_s^* = I_g^* / y_s$	606988.85	cm <sup>3</sup>	
$W_i^* = I_g^* / y_i$	438839.38	cm <sup>3</sup>	
$y_n$	11.45	cm	punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature)
$e$	87.22	cm	eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogen

**Sollecitazioni**

$M_{perm,portati} = M_{max}$	<b>388.32</b>	kNm	momento massimo sollecitante dovuto ai permanenti portati (pavimentazione, cordolo, sicur via,barriera antirumore)
------------------------------	---------------	-----	--

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	-0.64	MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.37	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.37	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{ci,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	0.88	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	0.78	MPa	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Perdite di tensione lente a tempo infinito**

**Deformazione per ritiro nella trave**

Ritiro e viscosità a tempo infinito			
Perimetro esposto aria trave	u	<b>11171,3</b>	mm
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0003143	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	<b>75</b>	
fck trave		<b>45</b>	MPa
ho trave	ho,t	215	mm
kh trave	kh,t	<b>0,84</b>	
	ecd0,t	<b>-0,000374</b>	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0004018	
	$\phi$	<b>1,532</b>	
	E	36283	MPa
	E,visc	14328	MPa

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	83 di 162

Deformazione per ritiro nella soletta

Perimetro esposto aria soletta	u	4500	mm
ritiro per essiccamento soletta tinf	ecd,inf	-0,0003092	
ritiro autogeno soletta tinf	eca,inf	-0,0000500	
fck soletta		30	MPa
ho soletta	ho,t	222	mm
kh soletta	kh,t	0,83	
	ecd0,t	-0,000372	
ritiro soletta a tempo infinito	ecs,s, inf	-0,0003592	
<b>differenza ritiro trave soletta</b>	<b>Δecs,s</b>	-0,0001258	

Sollecitazioni dovute al ritiro differenziale

<b>Forza dovuta al ritiro</b>	<b>Frit</b>	-901,0	<b>kN</b>
<b>Momento dovuto al ritiro</b>	<b>Mrit</b>	530,1	<b>kNm</b>
	<b>Δσsup,soletta</b>	-0,16	
	<b>Δσinf,soletta</b>	-0,53	
	<b>Δσsup,trave</b>	1,27	
	<b>Δσinf,trave</b>	-0,45	
	<b>Δσ cavi,trave</b>	-0,33	

Perdita di precompressione totale in fase 2

$$\Delta\sigma_{pr}^2 = \Delta\sigma_{ritiro}^2 + \Delta\sigma_v^2 + \Delta\sigma_r^2$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^2 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv 39,4 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 479,2 kN

caduta di tensione per ritiro differenziale

ΔNrit,d 152,1 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNriII 290,1 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 901,0 kN

Perd% 11,42 %

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	84 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.301 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.005 MPa	Trazione	variazione di tensione nella soletta al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcs,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.005 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-1.434 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prc,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*}$	-1.318 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdcs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 \quad \mathbf{0.77 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      18.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      23.93

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prci,soletta}^2 \quad \mathbf{-0.17 \text{ MPa}}$$

Trazione      **Verificata**  $\sigma > k f_{ctm}(t)$

fctm/1,2      -2.45 MPa  
Coeff. di sicurezza      14.41

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^2 = \sigma_{cs,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcs,trave}^2 \quad \mathbf{10.23 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      2.68

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci,trave}^2 = \sigma_{ci,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{prci,trave}^2 \quad \mathbf{7.27 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

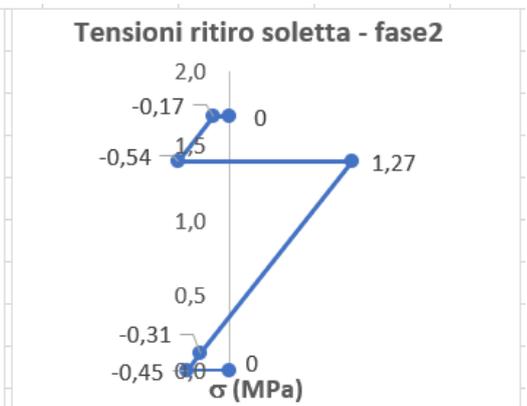
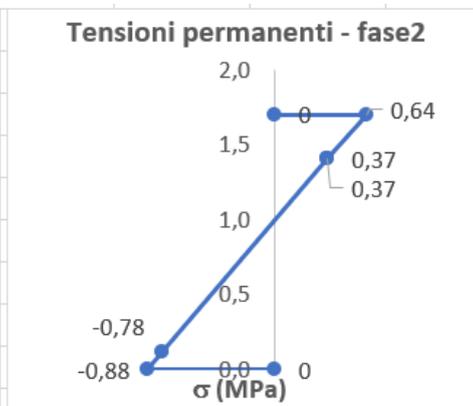
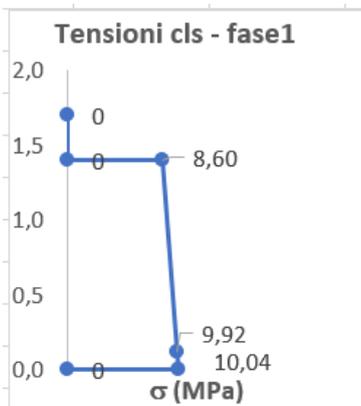
0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.77

**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc,trave}^2 = \sigma_{cc,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc,trave}^2 \quad \mathbf{7.51 \text{ MPa}}$$

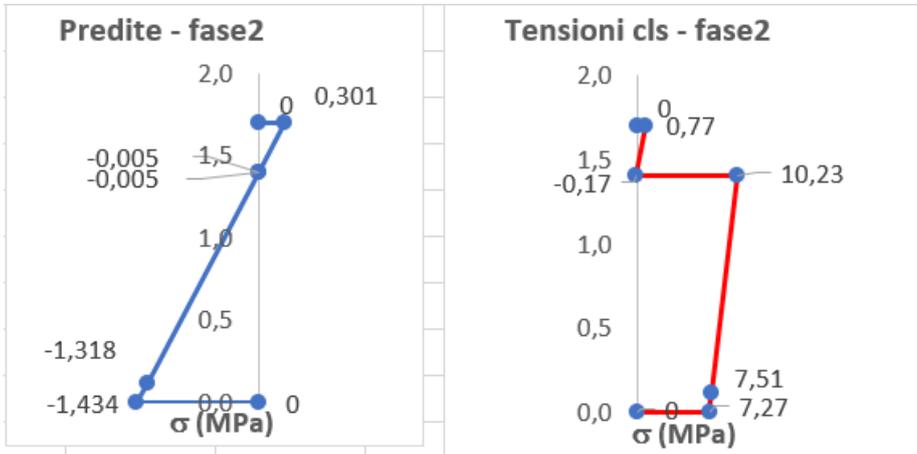
Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.65



Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	85 di 162



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp}^2 = \sigma_{sp}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc,trave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{rdcc,trave}^2 = \mathbf{1234.96 \text{ MPa}}$$

**ESERCIZIO: fase 3**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Sollecitazioni

$M_{max}$       **3496.80** kNm      momento massimo sollecitante dovuto ai variabili da traffico

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	5.76 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	3.34 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	3.34 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{ci,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-7.97 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	-7.04 MPa	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	86 di 162

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^3 = \sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^3 \quad \mathbf{6.53 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      18.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      2.82

**Tensione cls lembo inferiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^3 = \sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^3 \quad \mathbf{3.17 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      18.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      5.81

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^3 = \sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^3 \quad \mathbf{13.57 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      2.02

**Tensione cls lembo inferiore trave**

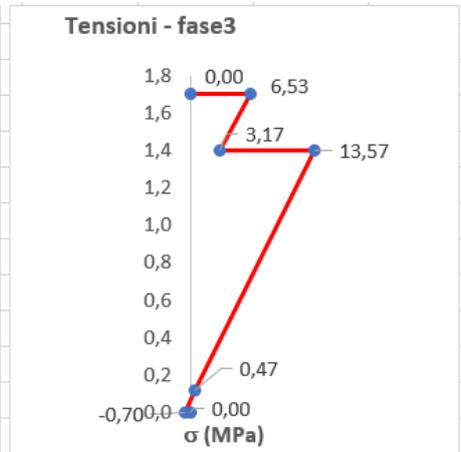
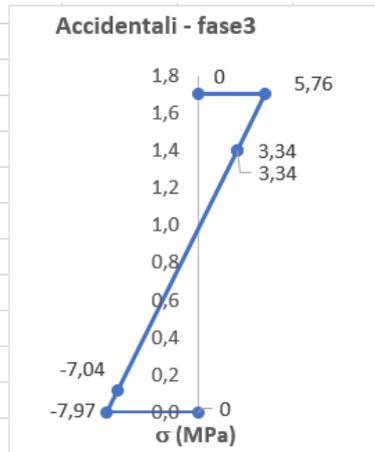
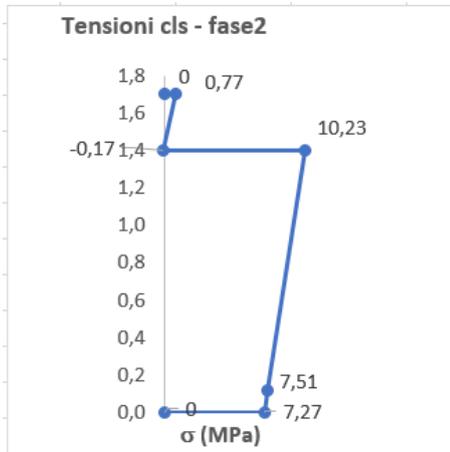
$$\sigma_{ci,trave}^3 = \sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^3 \quad \mathbf{-0.70 \text{ MPa}} \quad \text{Trazione} \quad \text{Verificata} \quad \sigma > k f_{ctm}(t)$$

0,35x0,7xfctm      -0.94 MPa  
Coeff. di sicurezza      1.34

**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc}^3 = \sigma_{cc}^2 + \Delta\sigma_{cc}^3 \quad \mathbf{0.47 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      58.28



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp}^3 = \sigma_{sp}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^3 = 1272.82 \text{ MPa}$$

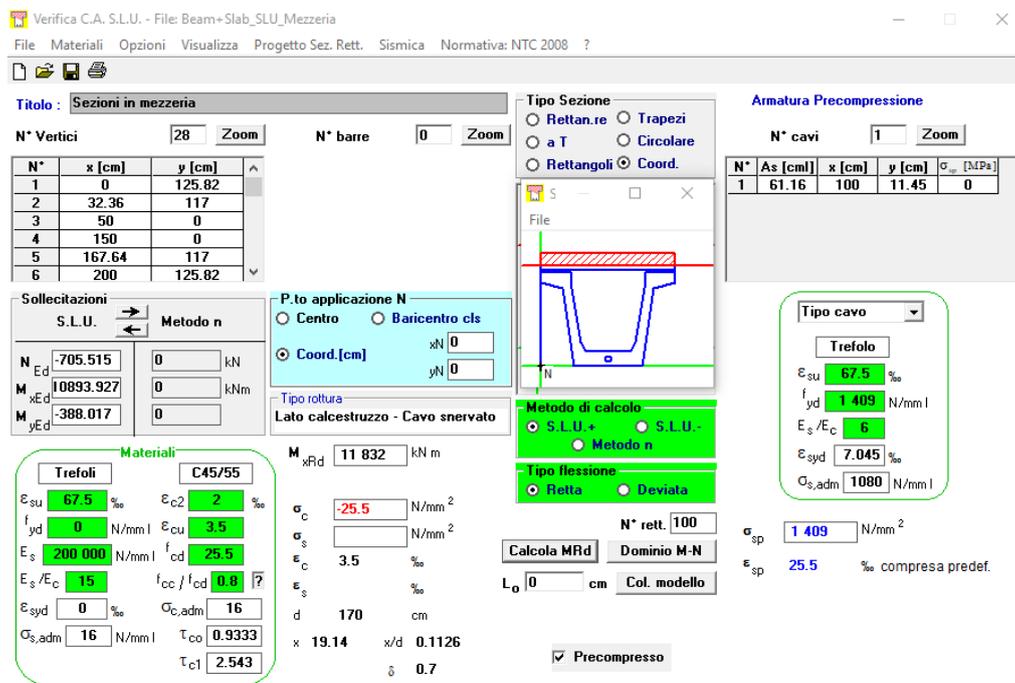
**NOTA.** Per il caso di carico più critico e alla sezione più critica, posta a 5m dagli appoggi, si riscontrano trazioni solo alla fibra inferiore, mentre in corrispondenza del baricentro della sezione la tensione è di compressione e prossima a 0 MPa. Ne segue che, nell'asse baricentrico della sezione si riscontrano sempre sforzi principali di compressione quindi tali da soddisfare il limite sulle tensioni di trazioni (<0.045 fck = -2.05 MPa).

### 8.1.1.2 Verifica SLU-STR

$$M_{3-3,Ed} = 10893.927 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{2-2,Ed} = -388.017 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_{Ed} = 705.515 \text{ kN}$$



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Key sections include:

- Titolo:** Sezioni in mezzeria
- N° Vertici:** 28
- N° barre:** 0
- Table of Vertices:**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	125.82
2	32.36	117
3	50	0
4	150	0
5	167.64	117
6	200	125.82
- Sollecitazioni:** S.L.U., Metodo n
- Materiali:** Trefoli, C45/55
- Material Properties:**
  - $E_{su}$ : 67.5 %
  - $f_{yd}$ : 0 N/mm l
  - $E_s$ : 200 000 N/mm l
  - $E_s/E_c$ : 15
  - $E_{syd}$ : 0 %
  - $\sigma_{s,adm}$ : 16 N/mm l
  - $\epsilon_{c2}$ : 2 %
  - $\epsilon_{cu}$ : 3.5 %
  - $f_{cd}$ : 25.5
  - $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8
  - $\tau_{co}$ : 0.9333
  - $\tau_{c1}$ : 2.543
- Armatura Precompressione:** N° cavi: 1
- Table of Cables:**

N°	As [cm]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	61.16	100	11.45	0
- Material Properties (Cables):**
  - Tipo cavo: Trefolo
  - $E_{su}$ : 67.5 %
  - $f_{yd}$ : 1 409 N/mm l
  - $E_s/E_c$ : 6
  - $E_{syd}$ : 7.045 %
  - $\sigma_{s,adm}$ : 1080 N/mm l
- Design Parameters:**
  - M<sub>xRd</sub>: 11 832 kN m
  - $\sigma_c$ : -25.5 N/mm<sup>2</sup>
  - $\sigma_s$ : 3.5 %
  - $\epsilon_s$ : %
  - d: 170 cm
  - x: 19.14, x/d: 0.1126
  - $\delta$ : 0.7
  - N° rett.: 100
  - Col. modello: [ ]
  - $\sigma_{sp}$ : 1 409 N/mm<sup>2</sup>
  - $\epsilon_{sp}$ : 25.5 % compressa predef.
- Method of Calculation:** S.L.U. + Metodo n
- Method of Bending:** Retta
- Buttons:** Calcola MRd, Dominio M-N
- Checkboxes:** Precompresso

### 8.1.1.3 Verifica fessurazione

Le combinazioni SLE Frequenti presentano sollecitazioni inferiori a quelle delle combinazioni Rare analizzate nelle verifiche tensionali sopra riportate.

Secondo il §4.1.2.2.4.1 delle [1] lo stato limite di formazione delle fessure si ha quando la tensione massima di trazione della sezione supera

$$\frac{f_{ctm}}{1.2} = 3.16 \text{ MPa}$$

Si ha quindi che le combinazioni frequenti non portano mai alla formazione di fessure in quanto già nelle combinazioni RARE la tensione massima non supera il valore sopra riportato.

### 8.1.2 Sezione a 5 metri dall'appoggio

Si riportano le sollecitazioni ricavate dal modello a graticcio

#### Fase 0

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
27	2.7	Fase_0	LinStatic	-3.64E-12	115.5	-2.53E-12	-1.35E-15	2.12E-11	822.0754

#### Fase 1

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
27	2.7	Fase_1	Combination	-35.785	176.704	12.741	-61.304	-17.278	1466.6

#### Fase 2

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
25	2.7	Fase_2	Combination	2.861	-38.667	4.662	4.007	2.412	243.465
34	2.7	Fase_2	Combination	-2.054	-41.908	0.666	-0.320	-4.160	237.844
43	2.7	Fase_2	Combination	-2.964	-43.557	-0.439	-0.052	-0.362	241.651
52	2.7	Fase_2	Combination	0.325	-41.512	-0.759	0.341	4.285	236.557

61	2.7	Fase_2	Combination	1.833	-38.836	-4.129	-3.864	-1.528	243.000
----	-----	--------	-------------	-------	---------	--------	--------	--------	---------

Fase 3

Frame	Station	OutputCase	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
61	2.7	Fase3_SLE_ENV	Max	663.436	81.201	20.711	14.885	24.481	1197.276
61	2.7	Fase3_SLE_ENV	Min	-548.552	-197.902	-13.103	-41.906	-49.893	-399.294
52	2.7	Fase3_SLE_ENV	Max	920.186	138.420	40.970	20.161	34.718	1489.283
52	2.7	Fase3_SLE_ENV	Min	-653.752	-231.321	-36.930	-35.637	-66.626	-310.977
43	2.7	Fase3_SLE_ENV	Max	555.588	133.263	57.994	19.812	42.427	1672.079
43	2.7	Fase3_SLE_ENV	Min	-519.175	-316.826	-68.067	-35.719	-83.953	-318.324
34	2.7	Fase3_SLE_ENV	Max	726.854	187.505	39.809	19.699	35.556	1887.654
34	2.7	Fase3_SLE_ENV	Min	-921.754	-507.259	-36.711	-37.202	-67.513	-326.189
25	2.7	Fase3_SLE_ENV	Max	546.372	147.679	20.441	16.609	26.123	2369.154
25	2.7	Fase3_SLE_ENV	Min	-673.691	-446.130	-15.306	-40.082	-60.855	-391.776

### 8.1.2.1 Verifiche SLE – tensionali

#### Verifica al tiro e in servizio trave in c.a.p a fili aderenti

##### Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo travi			Calcestruzzo soletta		
Tipo di calcestruzzo			Tipo di cls		
		<b>C45/55</b>			<b>C30/37</b>
$R_{ck}$		55.00 N/mm <sup>2</sup>	$R_{ck}$		37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$		45.00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ck}$		30.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm}$		53.00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cm}$		38.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$		-3.83 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctm}$		-2.94 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$		36283 N/mm <sup>2</sup>	$E_{cm}$		32837 N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche cls al trasferimento della precompressione					
$t$		14 giorni	momento di trasferimento della precompressione		
$f_{cm}(t)$		49.38 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione all'atto della precompressione (p. 4.1.8.1.4)		
$f_{ck}(t)$		41.38 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione di esercizio a cadute avvenute (p. 4.1.8.1.3)		
$0.7 f_{ck}(t)$		28.97 N/mm <sup>2</sup>			
$0.6 f_{ck}(t)$		24.83 N/mm <sup>2</sup>			
$f_{ctm}(t)$		-3.53 N/mm <sup>2</sup>			
$k$		1.00 N/mm <sup>2</sup>	valore di riduzione della resistenza a trazione del cls per le verifiche del conglomerato		
$f_{ctm}(t) \cdot k$		-3.53 N/mm <sup>2</sup>			

Acciaio	
Tipo di cavo	3
Classe di armatura	classe 2
$f_{ptk}$	1860 N/mm <sup>2</sup>
$f_{p(1)k}$	1670 N/mm <sup>2</sup>
---	---
---	---
$f_{pk}$	1670 N/mm <sup>2</sup>
$E_p$	195 GPa

Scrivere (1) Barre, (2) Fili, (3) Trefoli, (4) Trefoli a fili sagomati, (5) Treccie p. 11.3.3.2  
(Classe 1: Treccie, filo o trefolo ordinario; Classe 2: Treccie, filo o trefolo stabilizzato;  
Classe 3: barra laminata p.11.3.3.3)

Limiti tensioni massime iniziali all'atto della tesatura		
$\sigma_{spi} = 0.9 f_{pk}$	1503.00 N/mm <sup>2</sup>	Condizione più restrittiva
$\sigma_{spi} = 0.8 f_{ptk}$	1488.00 N/mm <sup>2</sup>	

Predimensionamento		
$N_{p0}$	5379.30 kN	forza di precompressione iniziale
Diametro nominale	0.6"	
$A_{nom}$	139.00 mm <sup>2</sup>	Area nominale
numero minimo di cavi	27	$num. min. cavi = int \left( \frac{N_{p0}}{\sigma_{spi} \cdot A_{nom}} \right) + 1$

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	91 di 162

**Sollecitazioni al tiro**

$M_{pp, trave}$	<b>822.08 kNm</b>
Luce trave	23.40 m
Peso proprio trave+trasversi pref	kN/m
$\gamma_{cls}$	kN/m <sup>3</sup>

momento massimo sollecitante dovuto al peso proprio della trave

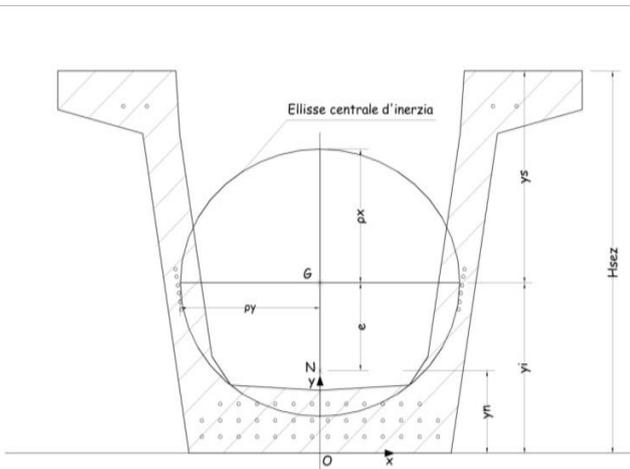
la trave è caricata con  $G_1$  variabile in testa ed in campata

**Riassunto caratteristiche sezione omogeneizzata**

coefficiente di omogeneizzazione $n$	5.37 (acciaio e cls)
$A_{cls}$	7002.07 cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>
numero di trefoli scelto $n^o$	30
$A_{tr}$	41.70 cm <sup>2</sup>
$A^*$	7330.77 cm <sup>2</sup>
$H_{sez}$	140.01 cm
$y_i$	62.13 cm
$y_s = H_{sez} - y_i$	77.88 cm
$I_g^*$	17506946 cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_g^* / y_s$	224821.72 cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_g^* / y_i$	281780.87 cm <sup>3</sup>
$y_n$	9.57 cm
$e$	52.56 cm

area totale dell'armatura di precompressione

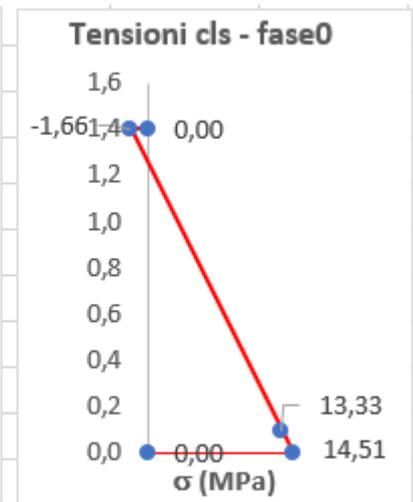
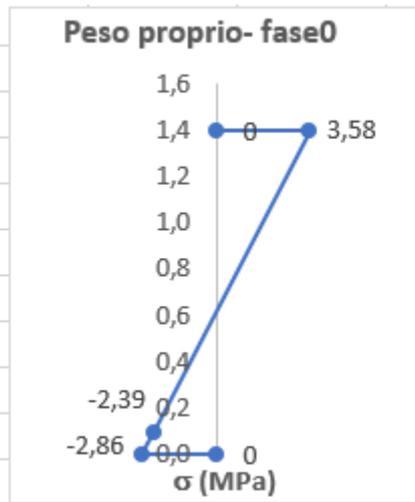
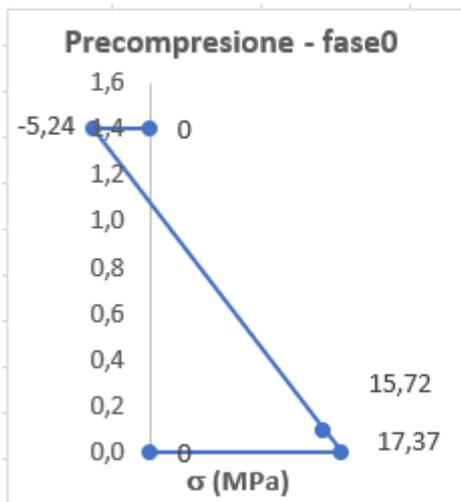
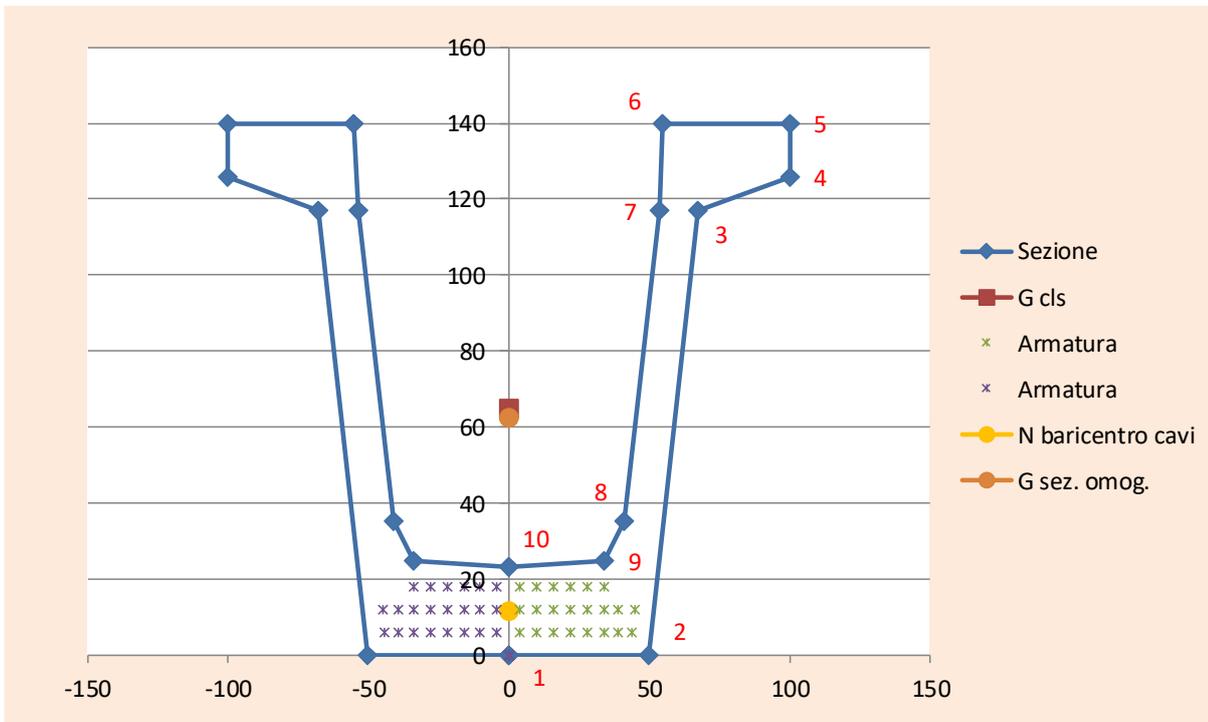
punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogen



**TIRO INIZIALE**

$N_p^0$	5379 kN
$\sigma_{pi} = N_p^0 / A_{tr}$	1290.00 N/mm <sup>2</sup>

**RILASCIO DEL CAVO: fase 0**



**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	93 di 162

**- Tensione cls a livello del cavo al tiro**

$$\sigma_{cc}^j = \frac{N_{p0}^j}{A^*} + \frac{N_{p0}^j \cdot e}{I_i^*} \cdot e \quad 16.78 \text{ MPa} \quad \text{Compressione}$$

**Perdite di tensione istantanee**

**- Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls

1144.49 MPa

**Precompressione dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls**

$$N_p^0 = N_{p0} - \Delta N_i \quad 4772.53 \text{ kN}$$

**- Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cs}^s = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_s^*} \quad -1.66 \text{ MPa} \quad \text{Trazione} \quad \text{Verificata} \quad \sigma > k \cdot f_{ctm}(t)$$

$f_{ctm}(t) \cdot k/1,2$       -2.94 MPa  
 Coeff. di sicurezza      1.77 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{ci}^s = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_i^*} \quad 14.06 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 f_{ck}(t)$$

$0.7 f_{ck}(t)$       28.97 MPa  
 Coeff. di sicurezza      2.06 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e \quad 13.16 \text{ MPa} \quad \text{Compressione} \quad \text{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.7 f_{ck}(t)$$

$0.7 f_{ck}(t)$       28.97 MPa  
 Coeff. di sicurezza      2.20 coefficiente di sicurezza

**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp}^0 = \sigma_{sp}^j + n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e = \quad 1157.76 \text{ MPa}$$

**GETTO IN OPERA DELLA SOLETTA : fase 1**

(Sezione resistente formata dalla sola trave, soletta considerata solo come carico)

**Sollecitazioni al getto della soletta**

$$M_{max} = M_{pp,soletta} \quad 1466.60 \text{ kNm}$$

momento massimo sollecitante dovuto al solo peso proprio della soletta

**Variazioni di tensione dovute a  $M_{max}$**

$\Delta \sigma_{cs}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_s$	6.52 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta \sigma_{ci}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_i$	-4.35 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta \sigma_{cc}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	-5.20 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

A favore di sicurezza si è considerato che il getto della soletta avvenga dopo molto tempo rispetto al tiro delle travi in precompressione, in modo da poter considerare in questa fase tutte le perdite di tensione lente riguardo la precompressione.

Ritiro e viscosità a 61 gg (getto soletta)

Perimetro esposto aria trave	u	8271,1	mm
tempo getto soletta	tsol	61	gg
ritiro per essiccamento trave al getto della soletta	ecd,61	-0,0001337	
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0003367	
ritiro autogeno trave al getto della soletta	eca,61	-0,0000347	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	80	
fck trave		45	MPa
ho trave	ho,t	169,3	mm
kh trave	kh,t	0,9	
	ecd0,t	-0,000374	
	β,61	0,39692	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0004242	
ritiro trave a getto soletta	ecs,t,61	-0,0001684	
umidità ambiente	%	80	
	φ	1,484	
	E	36283	MPa
	E,visc	14610	MPa
	E,visc,61	22836	MPa

**Perdita di precompressione totale in fase 1**

$$\Delta\sigma_{tot} := \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_{rit} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr}}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_I} \cdot \left(1 + \frac{A_I}{J_I} \cdot ec^2\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \Phi)}$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^1 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv 88,9 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 136,9 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNrill 53,4 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 244,7 kN

Perd% 4,55 %

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	95 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	0.24 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	-0.72 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e^2}{I_G^*}$	-0.79 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore**

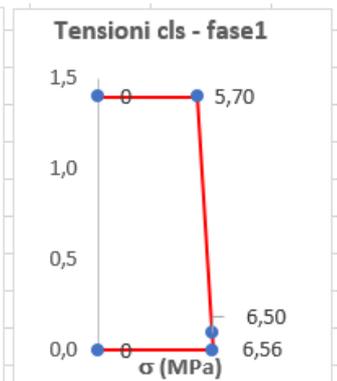
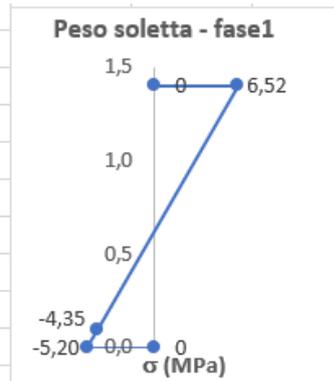
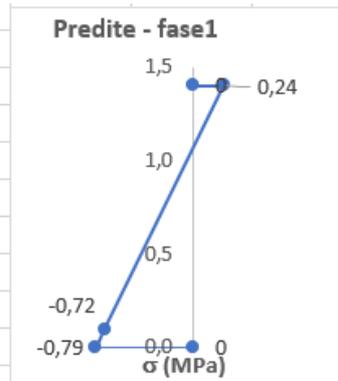
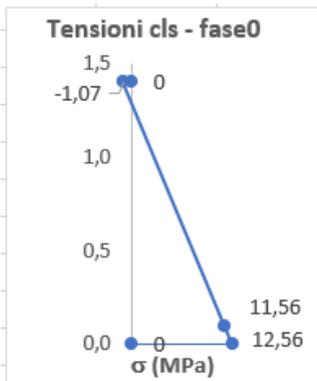
$\sigma_{cs}^1 = \sigma_{cs}^0 + \Delta\sigma_{cs}^1 + \Delta\sigma_{prcs}^1$	<b>5.70 MPa</b>	Compressione	Verificata	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	4.81			

**Tensione cls lembo inferiore**

$\sigma_{ci}^1 = \sigma_{ci}^0 + \Delta\sigma_{ci}^1 + \Delta\sigma_{prci}^1$	<b>6.56 MPa</b>	Compressione	Verificata	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	4.17			

**Tensione cls a livello del cavo**

$\sigma_{cc}^1 = \sigma_{cc}^0 + \Delta\sigma_{cc}^1 + \Delta\sigma_{prcc}^1$	<b>6.50 MPa</b>	Compressione	Verificata	Verifica: $\sigma < 0.6f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	4.21			



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp}^1 = \sigma_{sp}^0 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc}^1 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^1 = \mathbf{1177.28 \text{ MPa}}$$

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	96 di 162

**AZIONE DEI PERMANENTI PORTATI : fase 2**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Caratteristiche sezione omogeneizzata 2

(si omogeneizza rispetto al cls di CAP)

$n_2$	<b>0.905</b>	coefficiente omogeneizzazione (rapporto tra i due moduli elastici, soletta e CAP)
$A_{cls}$	12002.00	cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39	cm <sup>2</sup>
$n^o$	30.00	numero di trefoli scelto
$A_{tr}$	41.70	cm <sup>2</sup> area totale dell'armatura di precompressione
$A^*$	11855.81	cm <sup>2</sup>
$H_{sez1}$	170.00	cm
$Y_{i1}$	98.53	cm
$Y_{s,soletta} = H_{sez1} - Y_{i1}$	71.47	cm
$Y_{s,trave} = H_{sez} - Y_{i1}$	41.47	cm
$H_{sol}$	25.00	cm
$e_1$	58.97	cm (utile per le azioni differenziali soletta - trave)
$I_g^*$	43298987	cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_g^* / y_s$	606992.86	cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_g^* / y_i$	438842.28	cm <sup>3</sup>
$y_n$	9.57	cm punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle armature)
$e$	88.96	cm eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione omogen

**Sollecitazioni**

$M_{perm,portati} = M_{max}$	<b>243.47</b>	kNm	momento massimo sollecitante dovuto ai permanenti portati (pavimentazione, cordolo, sicur via,barriera antirumore)
------------------------------	---------------	-----	--

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.64	MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	0.37	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	0.37	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{ci,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-0.78	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	-0.88	MPa	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Perdite di tensione lente a tempo infinito**

**Deformazione per ritiro nella trave**

Ritiro e viscosità a tempo infinito			
Perimetro esposto aria trave	u	<b>11171,3</b>	mm
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0003143	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	<b>75</b>	
fck trave		<b>45</b>	MPa
ho trave	ho,t	215	mm
kh trave	kh,t	<b>0,84</b>	
	ecd0,t	<b>-0,000374</b>	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0004018	
	$\phi$	<b>1,532</b>	
	E	36283	MPa
	E,visc	14328	MPa

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	97 di 162

**Deformazione per ritiro nella soletta**

Perimetro esposto aria soletta	u	4500	mm
ritiro per essiccamento soletta tinf	ecd,inf	-0,0003092	
ritiro autogeno soletta tinf	eca,inf	-0,0000500	
fck soletta		30	MPa
ho soletta	ho,t	222	mm
kh soletta	kh,t	0,83	
	ecd0,t	-0,000372	
ritiro soletta a tempo infinito	ecs,s, inf	-0,0003592	
<b>differenza ritiro trave soletta</b>	<b>Δecs,s</b>	-0,0001258	

**Sollecitazioni dovute al ritiro differenziale**

<b>Forza dovuta al ritiro</b>	<b>Frit</b>	-901,0	<b>kN</b>
<b>Momento dovuto al ritiro</b>	<b>Mrit</b>	530,1	<b>kNm</b>
	<b>Δσsup,soletta</b>	-0,17	
	<b>Δσinf,soletta</b>	-0,54	
	<b>Δσsup,trave</b>	1,27	
	<b>Δσinf,trave</b>	-0,45	
	<b>Δσ cavi,trave</b>	-0,31	

**Perdita di precompressione totale in fase 2**

$$\Delta\sigma_{pr}^2 = \Delta\sigma_{ritiro}^2 + \Delta\sigma_v^2 + \Delta\sigma_r^2$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^2 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv 16,8 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 326,7 kN

caduta di tensione per ritiro differenziale

ΔNrit,d 104,9 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNriII 197,8 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 610,5 kN

Perd% 11,35 %

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	98 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.219 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.003 MPa	Trazione	variazione di tensione nella soletta al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcs,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.003 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-1.035 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prc,trave}^2 = \frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e^2}{I_g^{*2}}$	-0.963 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdcs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 \quad \mathbf{0.46 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      18.43 MPa  
Coeff. di sicurezza      40.07

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prci,soletta}^2 \quad \mathbf{-0.30 \text{ MPa}}$$

Trazione      **Verificata**  $\sigma > k f_{ctm}(t)$

fctm/1,2      -2.45 MPa  
Coeff. di sicurezza      8.17

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^2 = \sigma_{cs,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcs,trave}^2 \quad \mathbf{7.20 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.80

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci,trave}^2 = \sigma_{ci,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{prci,trave}^2 \quad \mathbf{4.52 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

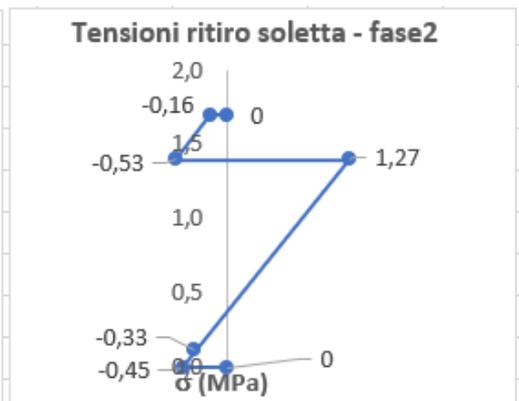
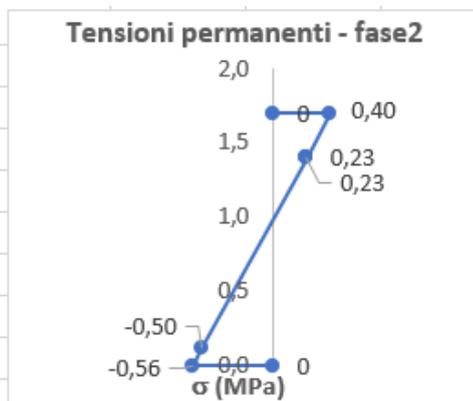
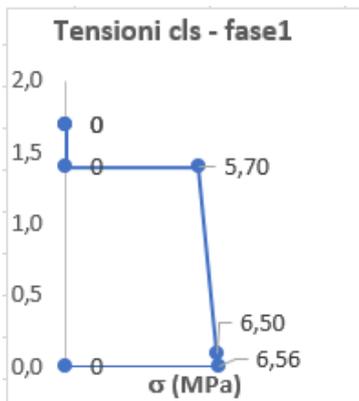
0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      6.06

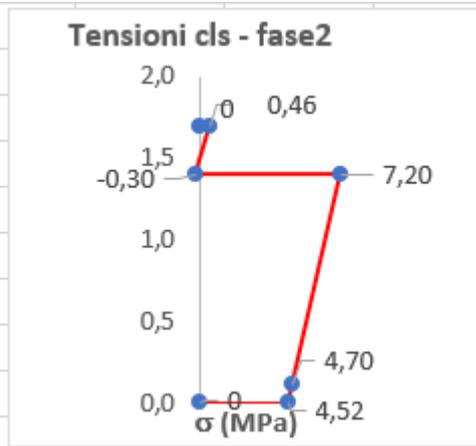
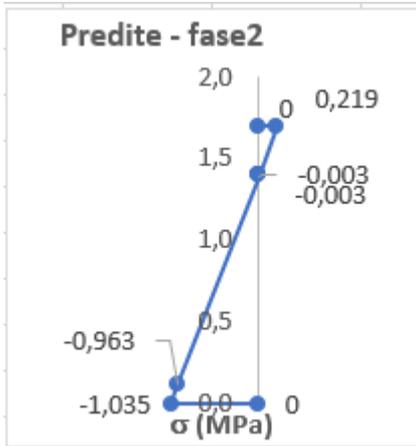
**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc,trave}^2 = \sigma_{cc,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc,trave}^2 \quad \mathbf{4.70 \text{ MPa}}$$

Compressione      **Verificata** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      27.39 MPa  
Coeff. di sicurezza      5.83





### Tensione nel cavo

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp}^2 = \sigma_{sp}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc,trave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{rdcc,trave}^2 = \mathbf{1176.56 \text{ MPa}}$$

### ESERCIZIO: fase 3

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

#### Sollecitazioni

$M_{max}$  2369.15 kNm

momento massimo sollecitante dovuto ai variabili da traffico

#### Variazioni di tensione dovute a Mmax

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	3.92 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della soletta
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	2.27 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soletta
$\Delta\sigma_{cs,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	2.27 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della trave
$\Delta\sigma_{ci,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	5.40 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della trave
$\Delta\sigma_{cc}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e$	4.87 MPa	variazione di tensione nel cls al livello del baricentro dei cavi

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	100 di 162

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^3 = \sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^3$$

0,6xfck      18.43 MPa      Compressione      **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$   
 Coeff. di sicurezza      4.21

**Tensione cls lembo inferiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^3 = \sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^3$$

0,6xfck      18.43 MPa      Compressione      **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$   
 Coeff. di sicurezza      9.36

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^3 = \sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^3$$

0,6xfck      27.39 MPa      Compressione      **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$   
 Coeff. di sicurezza      2.89

**Tensione cls lembo inferiore trave**

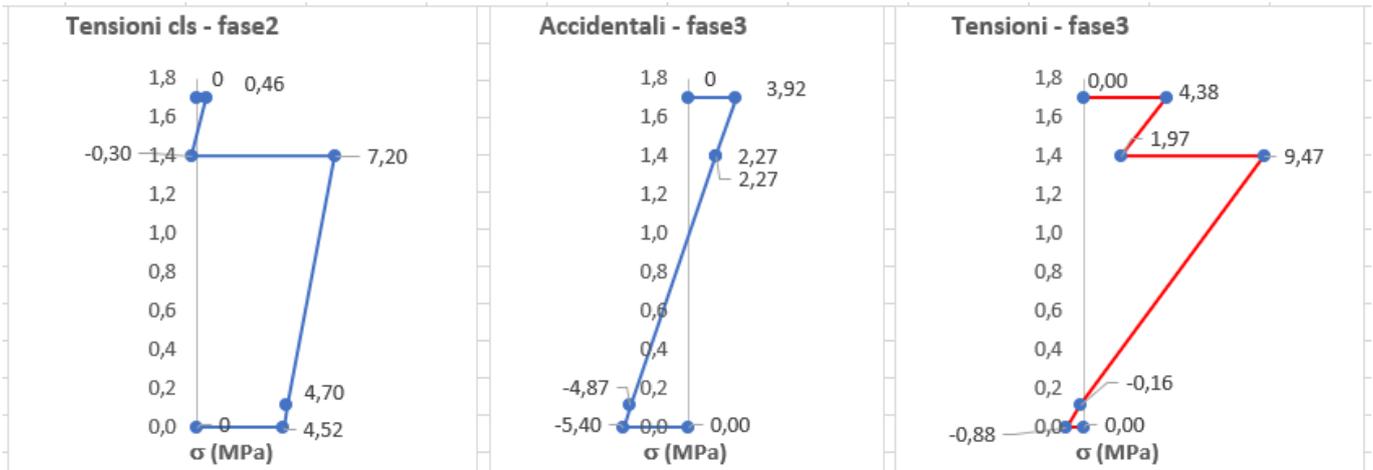
$$\sigma_{ci,trave}^3 = \sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^3$$

0,35x0,7xfctm      -0.94 MPa      Trazione      **Verificata**       $\sigma > k fctm(t)$   
 Coeff. di sicurezza      1.07

**Tensione cls a livello del cavo**

$$\sigma_{cc}^3 = \sigma_{cc}^2 + \Delta\sigma_{cc}^3$$

0,35x0,7fctm      -0.94 MPa      Trazione      **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.6 fck(t)$   
 Coeff. di sicurezza      5.87



**Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp}^3 = \sigma_{sp}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc}^3 = 1202.72 \text{ MPa}$$

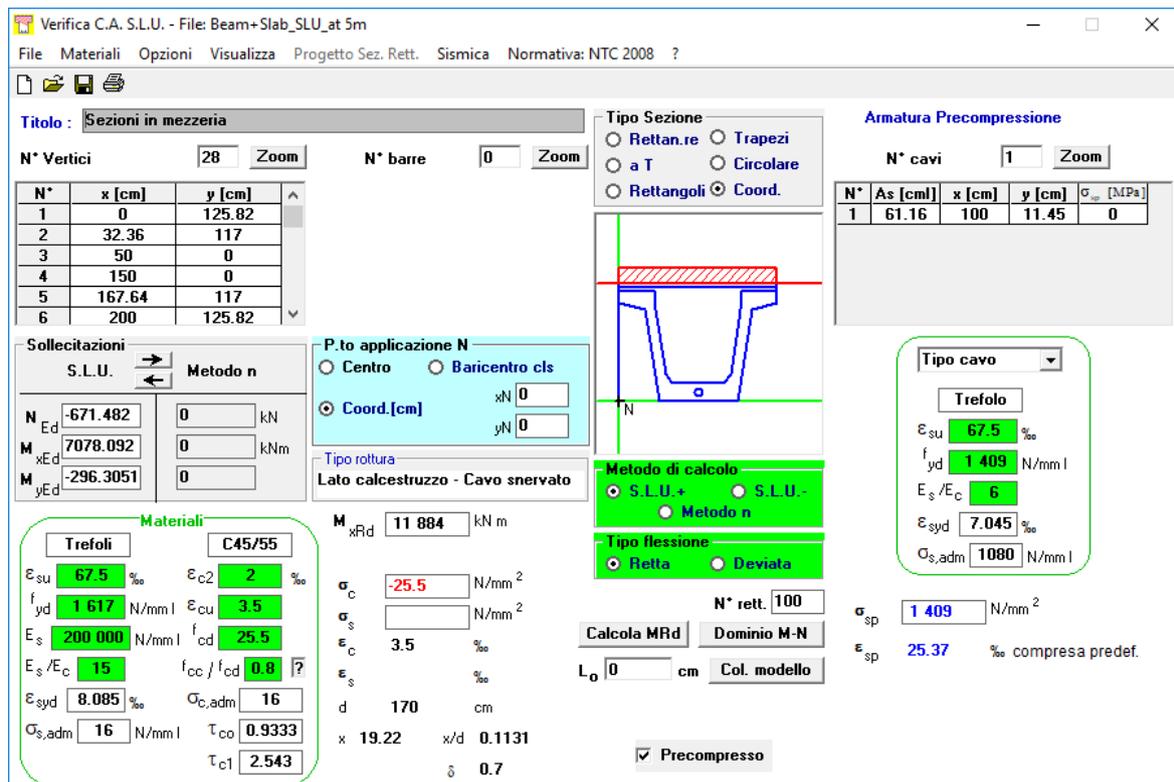
**NOTA.** Per il caso di carico più critico e alla sezione più critica, posta a 5m dagli appoggi, si riscontrano trazioni solo alla fibra inferiore, mentre in corrispondenza del baricentro della sezione la tensione è di compressione e prossima a 0 MPa. Ne segue che, nell'asse baricentrico della sezione si riscontrano sempre sforzi principali di compressione quindi tali da soddisfare il limite sulle tensioni di trazioni (<0.045 fck = -2.05 MPa).

### 8.1.2.2 Verifiche SLU-STR

$$M_{3-3,Ed} = 7078.092 \text{ kN*m}$$

$$M_{2-2,Ed} = -296.3051 \text{ kN*m}$$

$$N_{Ed} = 671.482 \text{ kN}$$



**Titolo:** Sezioni in mezzzeria

N° Vertici: 28 Zoom N° barre: 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	125.82
2	32.36	117
3	50	0
4	150	0
5	167.64	117
6	200	125.82

**Sollecitazioni**  
S.L.U. Metodo n

N <sub>Ed</sub>	-671.482	0	kN
M <sub>xEd</sub>	7078.092	0	kNm
M <sub>yEd</sub>	-296.3051	0	

**Materiali**  
Trefoli C45/55

ε <sub>su</sub>	67.5	ε <sub>c2</sub>	2
f <sub>yd</sub>	1617	ε <sub>cu</sub>	3.5
E <sub>s</sub>	200000	f <sub>cd</sub>	25.5
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0.8
ε <sub>syd</sub>	8.085	σ <sub>c,adm</sub>	16
σ <sub>s,adm</sub>	16	τ <sub>co</sub>	0.9333
		τ <sub>c1</sub>	2.543

**Armatura Precompressione**  
N° cavi: 1 Zoom

N°	As [cm]	x [cm]	y [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	61.16	100	11.45	0

**Tipo cavo:** Trefolo

ε <sub>su</sub>	67.5	%
f <sub>yd</sub>	1409	N/mm <sup>2</sup>
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	6	
ε <sub>syd</sub>	7.045	%
σ <sub>s,adm</sub>	1080	N/mm <sup>2</sup>

**Metodo di calcolo:** S.L.U.+ Metodo n

**Tipo flessione:** Retta

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

σ<sub>c</sub> -25.5 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub> N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub> 3.5 %  
ε<sub>s</sub> %  
d 170 cm  
x 19.22 x/d 0.1131  
δ 0.7

N° rett. 100  
σ<sub>sp</sub> 1409 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>sp</sub> 25.37 % compressa predef.

Precompresso

### 8.1.3 Sezione all'appoggio: verifica a taglio

Le sollecitazioni massime taglianti dovute ai carichi esterni si verificano in corrispondenza degli appoggi. Essendo i cavi da precompressione pre-tesi, non è presente la componente tagliante del sistema dei carichi equivalenti alla precompressione. In corrispondenza degli appoggi la sezione risulta essere piena mentre in prossimità degli appoggi le anime delle travi risultano avere uno spessore maggiore ( $b_w=0.24 \text{ m}$ )

rispetto a quello relativo alla sezione ordinaria ( $b_w=0.14$  m). A favore di sicurezza la verifica a taglio è stata condotta considerando le sollecitazioni massime sugli appoggi applicate alla sezione con ringrosso.

Gli elementi più sollecitati risultano essere i frame di estremità relativi alla trave 1, in corrispondenza dell'appoggio.

Si riporta di seguito il riepilogo delle combinazioni allo SLU che massimizzano il taglio

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
23	0	STR_ENV	Max	721.134	-692.261	216.785	-222.778	539.258	379.407
23	1.3	STR_ENV	Max	706.128	-592.395	189.342	-147.001	275.276	2300.195
23	0	STR_ENV	Min	-830.616	-1727.466	-19.371	-558.353	-51.883	-604.329
23	1.3	STR_ENV	Min	-830.616	-1549.109	-15.861	-377.824	-40.328	696.595
59	0	STR_ENV	Max	819.575	-768.441	222.943	438.440	568.849	448.492
59	1.3	STR_ENV	Max	819.575	-627.114	195.500	373.028	296.862	2089.289
59	0	STR_ENV	Min	-661.134	-1953.785	-40.256	47.108	-134.196	-487.992
59	1.3	STR_ENV	Min	-661.134	-1457.247	-36.746	153.331	-85.186	752.683

Le sollecitazioni di progetto valgono:

$$V_{\max} = 1954 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si considera il solo contributo delle due anime del cassone per cui la verifica viene condotta su una sezione di dimensioni pari a  $14 \times 140$  [cm], sottoposta ad un taglio di calcolo pari a  $V_d = V_{\max} / 2 = 977 \text{ kN}$ .

Si adottano staffe a 2 braccia  $\phi 16/150\text{mm}$

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO D.M. 17/01/2018 § 4.1.2.3.5**

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 140$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1400$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 40$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 45$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{s1,1} = 0$	Ø	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = 0$	Ø	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$d = 1360$	mm altezza utile	$A_{s1,3} = 0$	Ø	$0 = 0.00$ cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 25.50$	MPa resist. di calcolo			$0.00$ cm <sup>2</sup>

• **Sollecitazioni** (compressione<0, trazione>0, taglio in valore assoluto)

$N_{ed} = 0.0$  kN       $V_{ed} = 977.0$  kN

• **Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1.383 < 2$   
 $v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0.382$   
 $\rho_1 = A_{s1}/(b_w \times d) < 0.02$        $\rho_1 = 0.000 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

$V_{Rd} = (0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$

$V_{Rd} = 0.0$  kN;      (con  $(v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 72.7$  kN)

$V_{Rd} = 72.7$  kN assunto pari alla resistenza minima

*la sezione NON è verificata in assenza di armature per il taglio*

• **Elementi con armature trasversali resistenti a taglio**

$\theta = 45.0$  ° inclinaz. bielle cls      angolo ammissibile

$\alpha = 90.0$  ° inclinaz. staffe

Armatura a taglio (staffatura):

$A_{sw}/s =$  staffe Ø 16 mm con n° bracci (trasv)      2      passo 15 cm = 0.268 cm<sup>2</sup>/cm

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha$        $V_{Rsd} = 1284.1$  kN

$f_{cd} = 12.75$  MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.000$  coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha)$        $V_{Rcd} = 1092.5$  kN

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$        $V_{Rd} = 1092.5 > 977.0$  kN      c.s. = 1.1

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

## 8.2 Traversi

### 8.2.1 Momento positivo

#### 8.2.1.1 Verifica SLE- tensionale

##### Verifica al tiro e in servizio trave in c.a.p a fili aderenti

##### Caratteristiche dei materiali

Calcestruzzo travi			Calcestruzzo soletta		
Tipo di calcestruzzo			Tipo di cls		
		C45/55			C30/37
	$R_{ck}$	55.00 N/mm <sup>2</sup>		$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
	$f_{ck}$	45.00 N/mm <sup>2</sup>		$f_{ck}$	30.00 N/mm <sup>2</sup>
	$f_{cm}$	53.00 N/mm <sup>2</sup>		$f_{cm}$	38.00 N/mm <sup>2</sup>
	$f_{ctm}$	-3.83 N/mm <sup>2</sup>		$f_{ctm}$	-2.94 N/mm <sup>2</sup>
	$E_{cm}$	36283 N/mm <sup>2</sup>		$E_{cm}$	32837 N/mm <sup>2</sup>
Caratteristiche cls al trasferimento della precompressione					
	$t$	100 giorni	momento di trasferimento della precompressione		
	$f_{cm}(t)$	53.45 N/mm <sup>2</sup>			
	$f_{ck}(t)$	45.45 N/mm <sup>2</sup>			
	$0.7 f_{ck}(t)$	31.82 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione all'atto della precompressione (p. 4.1.8.1.4)		
	$0.6 f_{ck}(t)$	27.27 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione di esercizio a cadute avvenute (p. 4.1.8.1.3)		
	$f_{ctm}(t)$	-3.82 N/mm <sup>2</sup>			
	$k$	1.00 N/mm <sup>2</sup>	valore di riduzione della resistenza a trazione del cls per le verifiche del con		
	$f_{ctm}(t) \cdot k$	-3.82 N/mm <sup>2</sup>			

Acciaio			
Tipo di cavo	3	Scrivere (1) Barre, (2) Fili, (3) Trefoli, (4) Trefoli a fili sagomati, (5) Treccie	
Classe di armatura	classe 2	(Classe 1: Treccie, filo o trefolo ordinario; Classe 2: Treccie, filo o trefolo stat	
		Classe 3: barra laminata p.11.3.3.3)	
	$f_{ptk}$	1860 N/mm <sup>2</sup>	
	$f_p(1)k$	1670 N/mm <sup>2</sup>	
	---	---	
	---	---	
	$f_{pk}$	1670 N/mm <sup>2</sup>	
	$E_p$	195 GPa	

Limiti tensioni massime iniziali all'atto della tesatura		
$\sigma_{spi} = 0.9 f_{pk}$	1503.00 N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{spi} = 0.8 f_{ptk}$	1488.00 N/mm <sup>2</sup>	Condizione più restrittiva

Predimensionamento		
$N_{p0}$	2510.34 kN	forza di precompressione iniziale
Diametro nominale	0.6"	
$A_{nom}$	139.00 mm <sup>2</sup>	Area nominale
numero minimo di cavi	13	$num.min.cavi = int\left(\frac{N_{p0}}{\sigma_{spi} \cdot A_{nom}}\right) + 1$

Sollecitazioni al tiro		
$M_{pp,trave}$	0.00 kNm	momento massimo sollecitante dovuto al peso proprio d

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	105 di 162

**Riassunto caratteristiche sezione omogeneizzata**

coefficiente di omogeneizzazione $n$	5.37 (acciaio e cls)
$A_{cls}$	5240.00 cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>
numero di trefoli scelto $n^{\circ}$	14
$A_{tr}$	19.46 cm <sup>2</sup>
$A^*$	5344.59 cm <sup>2</sup>
$H_{sez}$	131.00 cm
$y_i$	65.37 cm
$y_s = H_{sez} - y_i$	65.63 cm
$I_a^*$	7497922 cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_a^* / y_s$	114251.94 cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_a^* / y_i$	114693.11 cm <sup>3</sup>
$y_n$	59.05 cm
$e$	6.32 cm
$e_2$	47.07 cm
$e_3$	34.43 cm

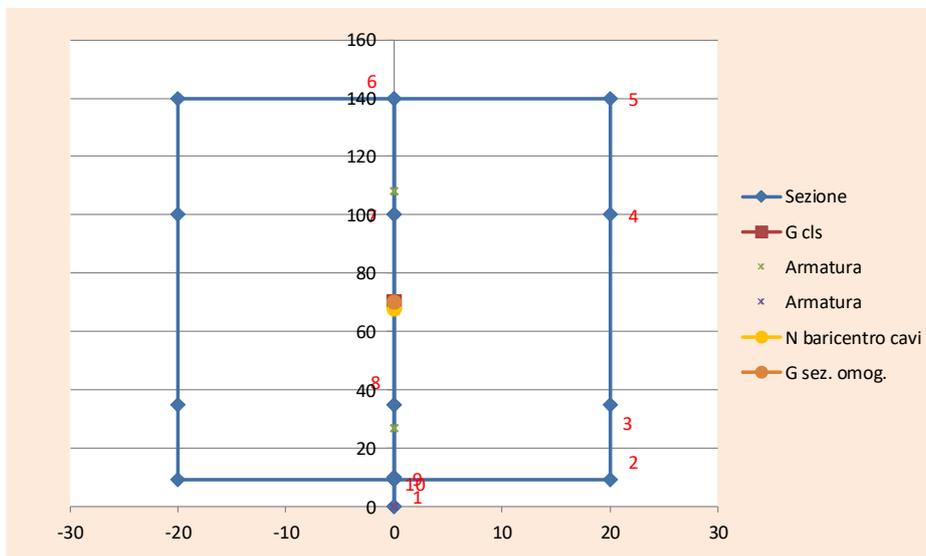
area totale dell'armatura di precompressione

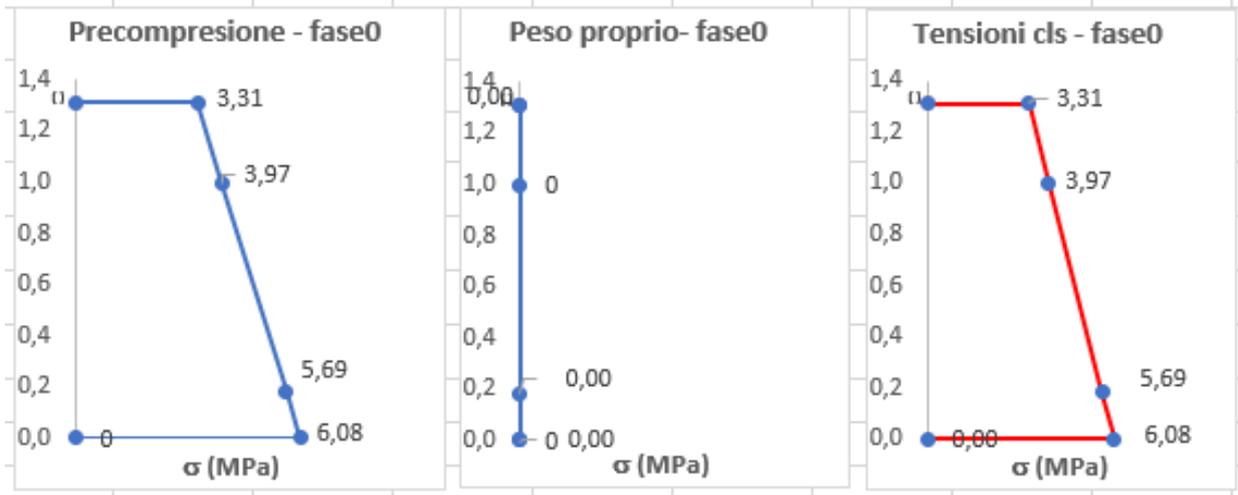
punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle a eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione c eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi inferiori eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi superiori

**TIRO INIZIALE**

$$\sigma_{pi} = \frac{N_{p0}}{A_{tr}} = \frac{2510 \text{ kN}}{1290.00 \text{ N/mm}^2}$$

**RILASCIO DEL CAVO: fase 0**





**- Tensione cls a livello del cavo al tiro**

$$\sigma_{cc}^j = \frac{N_{p0}}{A^*} + \frac{N_{p0} \cdot e}{I_i^*} \cdot e$$

6.08 MPa      Compressione

**Perdite di tensione istantanea**

**- Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls

1251.00 MPa

**Precompressione dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls**

$$N_p^0 = N_{p0} - \Delta N_i$$

**2434.45 kN**

**- Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cst}^s = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_s^*}$$

**3.31 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 f<sub>ck</sub>(t)      31.82 MPa

Coeff. di sicurezza: 2.20      9.61 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{cti}^s = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_i^*}$$

**6.08 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 f<sub>ck</sub>(t)      31.82 MPa

Coeff. di sicurezza      5.23 coefficiente di sicurezza

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	107 di 162

**- Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$$\sigma_{cc-sup}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e_3$$

**3.97 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      31.82 MPa  
Coeff. di sicurezza      8.02 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

$$\sigma_{cc-inf}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e_2$$

**5.69 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      31.82 MPa  
Coeff. di sicurezza      5.59 coefficiente di sicurezza

**Tensione nei cavi superiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp-sup}^0 = \sigma_{sp-sup}^t - n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e_3 = 1251.00 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp-inf}^0 = \sigma_{sp-inf}^t - n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e_2 = 1251.00 \text{ MPa}$$

**GETTO IN OPERA DELLA SOLETTA : fase 1**

(Sezione resistente formata dalla sola trave, soletta considerata solo come carico)

**Sollecitazioni al getto della soletta**

$$M_{max} = M_{pp,soletta} \quad \mathbf{1.67 \text{ kNm}}$$

momento massimo sollecitante dovuto al solo peso proprio della s

**Variazioni di tensione dovute a  $M_{max}$**

$\Delta\sigma_{cs}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_s$	0.015 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{ci}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_i$	-0.015 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{cc-sup}^1 = \frac{M_{max}}{I_i^*} \cdot e_3$	0.008 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi sup
$\Delta\sigma_{cc-inf}^1 = \frac{M_{max}}{I_i^*} \cdot e_2$	-0.010 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi infe

A favore di sicurezza si è considerato che il getto della soletta avvenga dopo molto tempo rispetto al tiro delle travi in precompresso, in modo da poter considerare in questa fase tutte le perdite di tensione lente riguardo la precompressione.

**Ritiro e viscosità a 61 gg (getto soletta)**

Perimetro esposto aria trave	u	3420	mm
tempo getto soletta	tsol	61	gg
ritiro per essiccamento trave al getto della soletta	ecd,61	-0,0000597	
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0002806	
ritiro autogeno trave al getto della soletta	eca,61	-0,0000186	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	80	
fck trave		45	MPa
ho trave	ho,t	306,4	mm
kh trave	kh,t	0,75	
	ecd0,t	-0,000374	
	β,61	0,21279	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0003681	
ritiro trave a getto soletta	ecs,t,61	-0,0000783	
umidità ambiente	%	80	
	φ	1,425	
	E	36283	MPa
	E,visc	14962	MPa
	E,visc,61	27841	MPa

**Perdita di precompressione totale in fase 1**

$$\Delta\sigma_{tot} := \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_{rit} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr}}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_I} \cdot \left(1 + \frac{A_I}{J_I} \cdot e_c^2\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \Phi)}$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^1 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv 0,0 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 29,7 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNrill 24,9 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 48,4 kN

Perd% 1,93 %

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	109 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	-0.06 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	-0.12 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc-sup}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_G^*} e_3$	-0.08 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi sup
$\Delta\sigma_{prcc-inf}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_G^*} e_2$	-0.11 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi infe

**Tensione cls lembo superiore**

$\sigma_{cs}^1 = \sigma_{cs}^0 + \Delta\sigma_{cs}^1 + \Delta\sigma_{prcs}^1$	<b>3.16 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	8.67			

**Tensione cls lembo inferiore**

$\sigma_{ci}^1 = \sigma_{ci}^0 + \Delta\sigma_{ci}^1 + \Delta\sigma_{prci}^1$	<b>5.76 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	4.76			

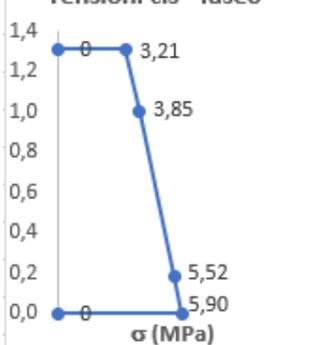
**Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$\sigma_{cc-sup}^1 = \sigma_{cc-sup}^0 + \Delta\sigma_{cc-sup}^1 + \Delta\sigma_{prcc-sup}^1$	<b>3.78 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	7.25			

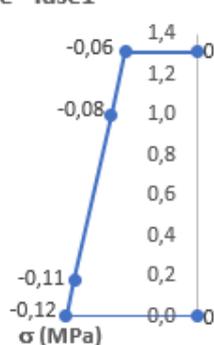
**Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

$\sigma_{cc-inf}^1 = \sigma_{cc-inf}^0 + \Delta\sigma_{cc-inf}^1 + \Delta\sigma_{prcc-inf}^1$	<b>5.40 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	5.07			

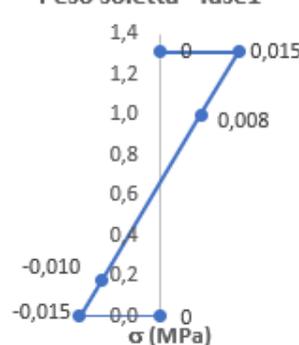
Tensioni cls - fase0



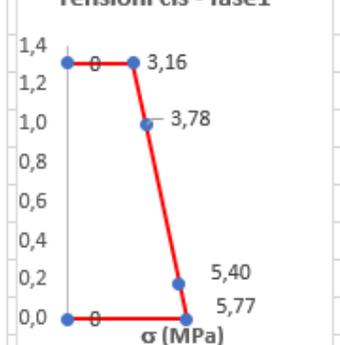
Predite - fase1



Peso soletta - fase1



Tensioni cls - fase1



**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	110 di 162

**Tensione nei cavi superiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp-sup}^1 = \sigma_{sp-sup}^0 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-sup}^1 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-sup}^1 = 1250.55 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp-inf}^1 = \sigma_{sp-inf}^0 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-inf}^1 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-inf}^1 = 1250.47 \text{ MPa}$$

**AZIONE DEI PERMANENTI PORTATI : fase 2**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Caratteristiche sezione omogeneizzata 2

(si omogeneizza rispetto al cls di CAP)

$n_2$	<b>0.905</b>	coefficiente omogeneizzazione (rapporto tra i due moduli elastici, soletta e CAP)
$A_{cls}$	12290 cm <sup>2</sup>	
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>	
$n^o$	14.00	numero di trefoli scelto
$A_{tr}$	19.46 cm <sup>2</sup>	area totale dell'armatura di precompressione
$A^*$	11724.89 cm <sup>2</sup>	
$H_{sez1}$	161.00 cm	
$y_{i1}$	109.25 cm	
$y_{s,soletta} = H_{sez1} - y_{i1}$	51.75 cm	
$y_{s,trave} = H_{sez} - y_{i1}$	21.75 cm	
$H_{sol}$	30.00 cm	
$e_1$	36.75 cm	(utile per le azioni differenziali soletta - trave)
$I_g^*$	26882427 cm <sup>4</sup>	
$W_s^* = I_g^* / y_s$	519446.66 cm <sup>3</sup>	
$W_i^* = I_g^* / y_i$	246068.02 cm <sup>3</sup>	
$y_n$	59.05 cm	punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle a
$e$	50.02 cm	eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione c
$e_2$	90.95 cm	eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi inferiori
$e_3$	9.45 cm	eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi superiori

Sollecitazioni

$$M_{perm,portati} = M_{max}$$

**0.06** kNm

momento massimo sollecitante dovuto ai permanenti portati (pavimentazione, cordolo, sicur via,barriera antirumore)

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$$\Delta\sigma_{cs,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta} \quad 0.00 \text{ MPa}$$

limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute

variazione di tensione nel cls al lembo superiore della so

$$\Delta\sigma_{ci,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta} \quad 0.00 \text{ MPa}$$

variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soli

$$\Delta\sigma_{cs,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave} \quad 0.00 \text{ MPa}$$

variazione di tensione nel cls al lembo superiore della tra

$$\Delta\sigma_{ci,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave} \quad 0.00 \text{ MPa}$$

variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della tra

$$\Delta\sigma_{cc-sup}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_3 \quad 0.00 \text{ MPa}$$

variazione di tensione nel cls al dei cavi superiori

$$\Delta\sigma_{cc-inf}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_2 \quad 0.00 \text{ MPa}$$

variazione di tensione nel cls al dei cavi inferiori

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	111 di 162

**Perdite di tensione lente a tempo infinito**  
**Deformazione per ritiro nella trave**

Ritiro e viscosità a tempo infinito			
Perimetro esposto aria trave	u	7920	mm
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0002806	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	75	
fck trave		45	MPa
ho trave	ho,t	310	mm
kh trave	kh,t	0,75	
	ecd0,t	-0,000374	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0003681	
	φ	1,495	
	E	36283	MPa
	E,visc	14540	MPa

**Deformazione per ritiro nella soletta**

Perimetro esposto aria soletta	u	4500	mm
ritiro per essiccamento soletta tinf	ecd,inf	-0,0003310	
ritiro autogeno soletta tinf	eca,inf	-0,0000500	
fck soletta		30	MPa
ho soletta	ho,t	313	mm
kh soletta	kh,t	0,75	
	ecd0,t	-0,000441	
ritiro soletta a tempo infinito	ecs,s, inf	-0,0003810	
<b>differenza ritiro trave soletta</b>	<b>Δecs,s</b>	-0,0000912	

Sollecitazioni dovute al ritiro differenziale			
<b>Forza dovuta al ritiro</b>	<b>Frit</b>	-934,7	kN
<b>Momento dovuto al ritiro</b>	<b>Mrit</b>	343,5	kNm
	<b>Δσsup,soletta</b>	0,13	
	<b>Δσinf,soletta</b>	-0,25	
	<b>Δσsup,trave</b>	1,08	
	<b>Δσinf,trave</b>	-0,60	
	<b>Δσ cavi,trave</b>	-0,36	

**Perdita di precompressione totale in fase 2**

$$\Delta\sigma_{pr}^2 = \Delta\sigma_{ritiro}^2 + \Delta\sigma_v^2 + \Delta\sigma_r^2$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^2 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv 0,0 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 0,0 kN

caduta di tensione per ritiro differenziale

ΔNrit,d 139,7 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNrill 51,1 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 92,3 kN  
Perd% %

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	112 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.023 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo super
$\Delta\sigma_{prci,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	0.092 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo inferi
$\Delta\sigma_{prcs,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	0.092 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	0.211 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc-sup, trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot e_3$	0.523 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi sup
$\Delta\sigma_{prcc-inf, trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot e_2$	0.593 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi infe

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdcs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prcs,soletta}^2$$

**0.16 MPa**      Trazione      **Verificat**  $\sigma > k_{fctm}(t)$

fctm/1,2      14.75 MPa  
Coeff. di sicurezza      10.36

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prci,soletta}^2$$

**-0.34 MPa**      Trazione      **Verificat**  $\sigma > k_{fctm}(t)$

fctm/1,2      6.94 MPa  
Coeff. di sicurezza      1.33

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^2 = \sigma_{cs,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcs,trave}^2$$

**4.14 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      6.62 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.13

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci,trave}^2 = \sigma_{ci,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{prci,trave}^2$$

**4.57**  
**1.31 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      5.99 MPa  
Coeff. di sicurezza      20.85

**Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$$\sigma_{cc-sup,trave}^2 = \sigma_{cc-sup,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc-sup,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc-sup,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc-sup,trave}^2$$

**4.24**  
**7.05 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      6.46 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.89

**Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

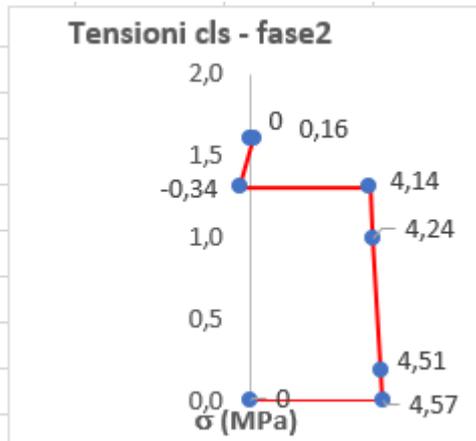
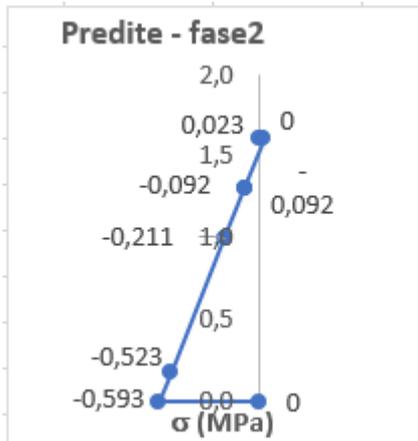
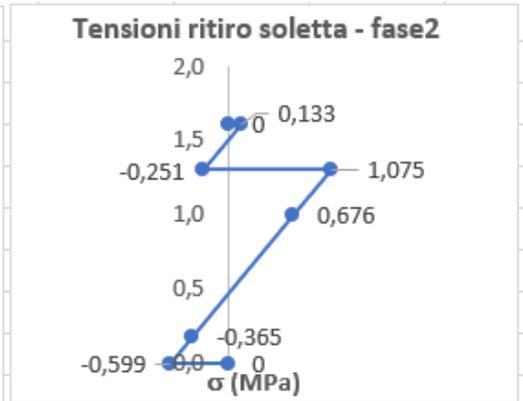
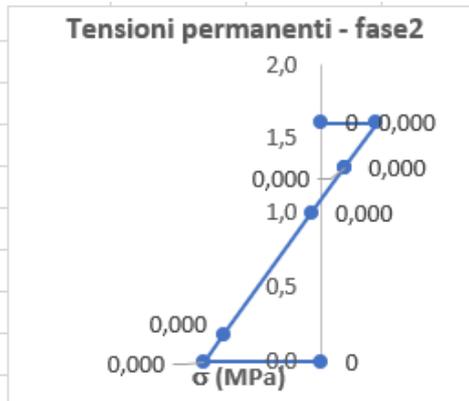
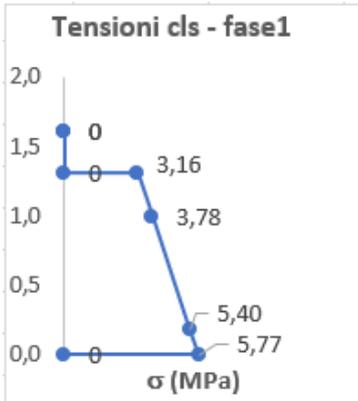
$$\sigma_{cc-inf,trave}^2 = \sigma_{cc-inf,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc-inf,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc-inf,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc-inf,trave}^2$$

**4.51 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck      6.07 MPa  
Coeff. di sicurezza      9.97

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	113 di 162



**Tensione nei cavi superiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp-sup}^2 = \sigma_{sp-sup}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-suptrave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-sup}^2 - n \cdot \Delta\sigma_{rdcc-suptrave}^2 = 1245.78 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp-inf}^2 = \sigma_{sp-inf}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-inftrave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-inf}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{rdcc-inftrave}^2 = 1249.62 \text{ MPa}$$

**ESERCIZIO: fase 3**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Sollecitazioni

$M_{max}$  **120.01** kNm momento massimo sollecitante dovuto ai variabili da tra

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.23 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute variazione di tensione nel cls al lembo superiore della so
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	0.10 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della sol
$\Delta\sigma_{cs,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	0.10 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della tra
$\Delta\sigma_{ci,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-0.49 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della tra
$\Delta\sigma_{cc-sup}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_3$	-0.04 MPa	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi superiori
$\Delta\sigma_{cc-inf}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_2$	-0.41 MPa	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi inferiori

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$\sigma_{cs,soletta}^3 = \sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^3$	<b>0.39 MPa</b>	Trazione	<b>Verificata</b>	$\sigma > k fctm(t)$
fctm/1,2	-2.36 MPa			
Coeff. di sicurezza	6.05			

**Tensione cls lembo inferiore soletta**

$\sigma_{ci,soletta}^3 = \sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^3$	<b>-0.25 MPa</b>	Trazione	<b>Verificata</b>	$\sigma > k fctm(t)$
fctm/1,2	-2.36 MPa			
Coeff. di sicurezza	9.44			

**Tensione cls lembo superiore trave**

$\sigma_{cs,trave}^3 = \sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^3$	<b>4.24 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	6.46			

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	115 di 162

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci, trave}^3 = \sigma_{ci, trave}^2 + \Delta \sigma_{ci, trave}^3 \quad \mathbf{4.09 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \mathbf{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck  
Coeff. di sicurezza

27.39 MPa  
6.70

**Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$$\sigma_{cc-sup}^3 = \sigma_{cc-sup}^2 + \Delta \sigma_{cc-sup}^3 \quad \mathbf{4.20 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \mathbf{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck  
Coeff. di sicurezza

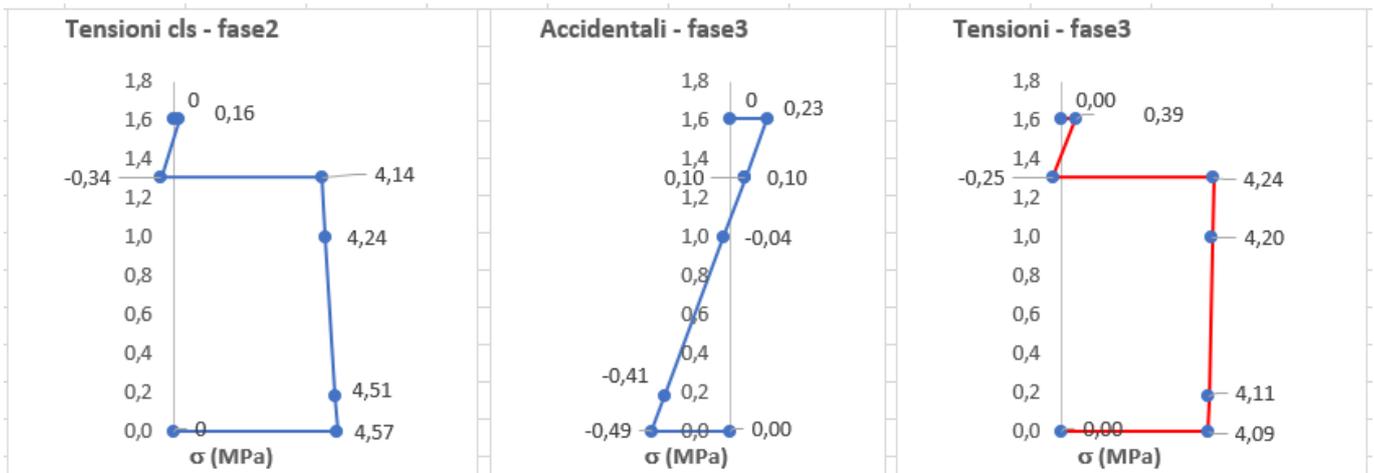
27.39 MPa  
4.09

**Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

$$\sigma_{cc-inf}^3 = \sigma_{cc-inf}^2 + \Delta \sigma_{cc-inf}^3 \quad \mathbf{4.11 \text{ MPa}} \quad \text{Compressione} \quad \mathbf{Verificata} \quad \text{Verifica: } \sigma < 0.6 f_{ck}(t)$$

0,6xfck  
Coeff. di sicurezza

27.39 MPa  
- 6.66



**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp-sup}^3 = \sigma_{sp-sup}^2 + n \cdot \Delta \sigma_{cc-sup}^3 = 1246.00 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp-inf}^3 = \sigma_{sp-inf}^2 + n \cdot \Delta \sigma_{cc-inf}^3 = 1251.80 \text{ MPa}$$

**NOTA.** Per il caso di carico più critico e alla sezione più critica, posta a 5m dagli appoggi, si riscontrano trazioni solo alla fibra inferiore, mentre in corrispondenza del baricentro della sezione la tensione è di compressione e prossima a 0 MPa. Ne segue che, nell'asse baricentrico della sezione si riscontrano

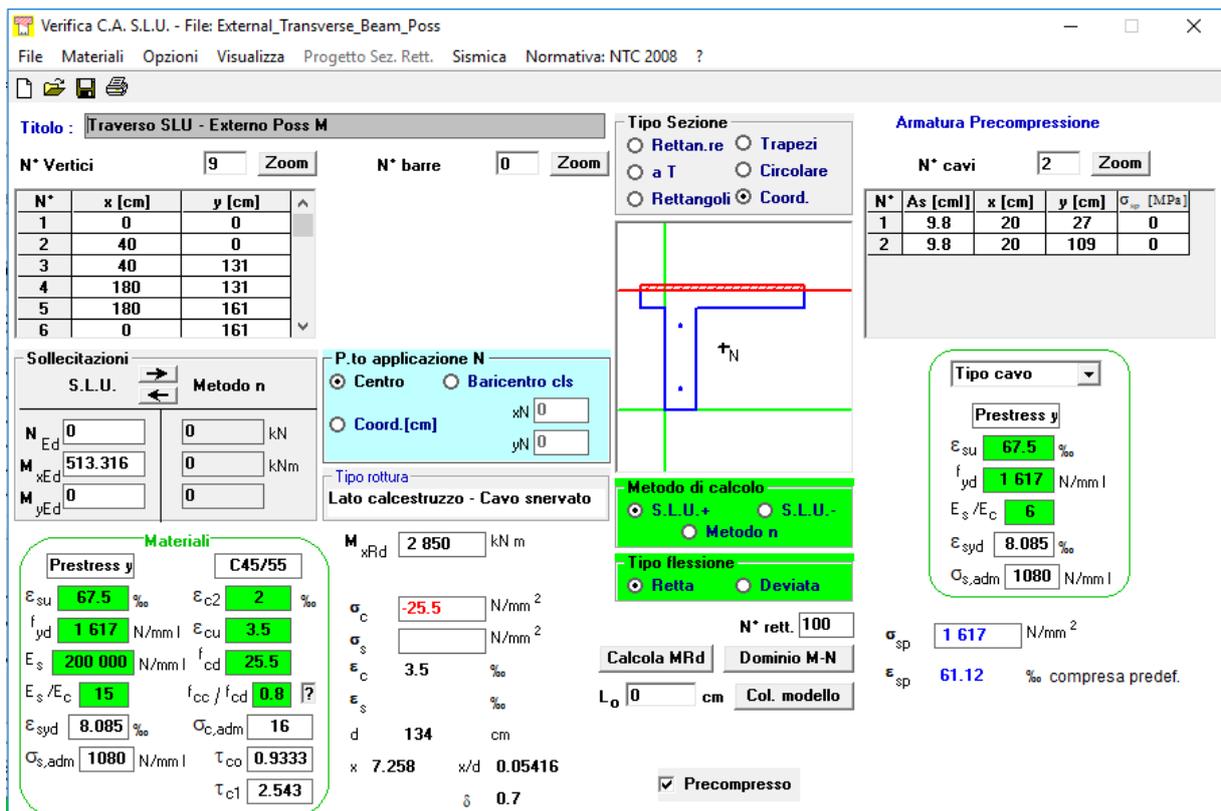
sempre sforzi principali di compressione quindi tali da soddisfare il limite sulle tensioni di trazioni ( $<0.045 f_{ck} = -2.05 \text{ MPa}$ ).

### 8.2.1.2 Verifica SLU-STR

Si riportano le verifiche nei confronti della flessione allo stato limite ultimo del traverso di bordo

La verifica viene eseguita con l'ausilio del programma di calcolo per le verifiche SLU VCA S.L.U.

Traverso di bordo :  $M_{ed} = 513.316 \text{ kNm}$



**Verifica C.A. S.L.U. - File: External\_Transverse\_Beam\_Poss**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** Traverso SLU - Esterno Poss M

**N° Vertici:** 9 **Zoom** **N° barre:** 0 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	40	0
3	40	131
4	180	131
5	180	161
6	0	161

**Tipologia Sezione:**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Armatura Precompressione**  
**N° cavi:** 2 **Zoom**

N°	As [cm]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	9.8	20	27	0
2	9.8	20	109	0

**Sollecitazioni:**  
 S.L.U. **Metodo n**  
 $N_{Ed}$  0 kN  
 $M_{xEd}$  513.316 kNm  
 $M_{yEd}$  0 kNm

**P.to applicazione N:**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm]  $xN$  0  $yN$  0

**Tipologia rottura:**  
 Lato calcestruzzo - Cavo snervato

**Metodo di calcolo:**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipologia flessione:**  
 Retta  Deviata

**Materiali:**  
 Prestress y: C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  1.617 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  25.5 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  8.085 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

**Parametri di calcolo:**  
 $M_{xRd}$  2.850 kNm  
 $\sigma_c$  -25.5 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  ‰  
 $d$  134 cm  
 $x$  7.258  $x/d$  0.05416  
 $\delta$  0.7

**Parametri di verifica:**  
**N° rett.** 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 $L_0$  0 cm Col. modello  
 Precompresso  
 $\sigma_{sp}$  1.617 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_{sp}$  61.12 ‰ compressa predef.

## 8.2.2 Momento negativo

### 8.2.2.1 Verifica SLE -tensionale

#### Verifica al tiro e in servizio trave in c.a.p a fili aderenti

##### Caratteristiche dei materiali

<b>Calcestruzzo travi</b>		<b>Calcestruzzo soletta</b>	
<i>Tipo di calcestruzzo</i>		<i>Tipo di cls</i>	
	<b>C45/55</b>		<b>C30/37</b>
$R_{ck}$	55.00 N/mm <sup>2</sup>	$R_{ck}$	37 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	45.00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ck}$	30.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cm}$	53.00 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cm}$	38.00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctm}$	-3.83 N/mm <sup>2</sup>	$f_{ctm}$	-2.94 N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm}$	36283 N/mm <sup>2</sup>	$E_{cm}$	32837 N/mm <sup>2</sup>
<b>Caratteristiche cls al trasferimento della precompressione</b>			
$t$	100 giorni	momento di trasferimento della precompressione	
$f_{cm}(t)$	53.45 N/mm <sup>2</sup>		
$f_{ck}(t)$	45.45 N/mm <sup>2</sup>		
$0.7 f_{ck}(t)$	31.82 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione all'atto della precompressione (p. 4.1.8.1.4)	
$0.6 f_{ck}(t)$	27.27 N/mm <sup>2</sup>	valore limite della tensione di esercizio a cadute avvenute (p. 4.1.8.1.3)	
$f_{ctm}(t)$	-3.82 N/mm <sup>2</sup>		
$k$	1.00 N/mm <sup>2</sup>	valore di riduzione della resistenza a trazione del cls per le verifiche del con	
$f_{ctm}(t) \cdot k$	-3.82 N/mm <sup>2</sup>		

<b>Acciaio</b>		
Tipo di cavo	3	Scrivere (1) Barre, (2) Fili, (3) Trefoli, (4) Trefoli a fili sagomati, (5) Treccie (Classe 1: Treccie, filo o trefolo ordinario; Classe 2: Treccie, filo o trefolo stat Classe 3: barra laminata p.11.3.3.3)
Classe di armatura	classe 2	
$f_{ptk}$	1860 N/mm <sup>2</sup>	
$f_p(1)k$	1670 N/mm <sup>2</sup>	
---	---	
$f_{pk}$	<b>1670 N/mm<sup>2</sup></b>	
$E_p$	<b>195 GPa</b>	

<b>Limiti tensioni massime iniziali all'atto della tesatura</b>		
$\sigma_{spi} = 0.9 f_{pk}$	1503.00 N/mm <sup>2</sup>	Condizione più restrittiva
$\sigma_{spi} = 0.8 f_{ptk}$	1488.00 N/mm <sup>2</sup>	

<b>Predimensionamento</b>		
$N_{p0}$	2510.34 kN	forza di precompressione iniziale
Diametro nominale	0.6"	
$A_{nom}$	139.00 mm <sup>2</sup>	Area nominale
numero minimo di cavi	13	$num.min.cavi = int\left(\frac{N_{p0}}{\sigma_{spi} \cdot A_{nom}}\right) + 1$

<b>Sollecitazioni al tiro</b>		
$M_{pp,trave}$	<b>0.00 kNm</b>	momento massimo sollecitante dovuto al peso proprio d

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	118 di 162

**Riassunto caratteristiche sezione omogeneizzata**

coefficiente di omogeneizzazione $n$	5.37 (acciaio e cls)
$A_{cls}$	5240.00 cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39 cm <sup>2</sup>
numero di trefoli scelto $n^{\circ}$	14
$A_{tr}$	19.46 cm <sup>2</sup>
$A^*$	5344.59 cm <sup>2</sup>
$H_{sez}$	131.00 cm
$y_i$	65.37 cm
$y_s = H_{sez} - y_i$	65.63 cm
$I_a^*$	7497922 cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_a^* / y_s$	114251.94 cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_a^* / y_i$	114693.11 cm <sup>3</sup>
$y_n$	59.05 cm
$e$	6.32 cm
$e_2$	47.07 cm
$e_3$	34.43 cm

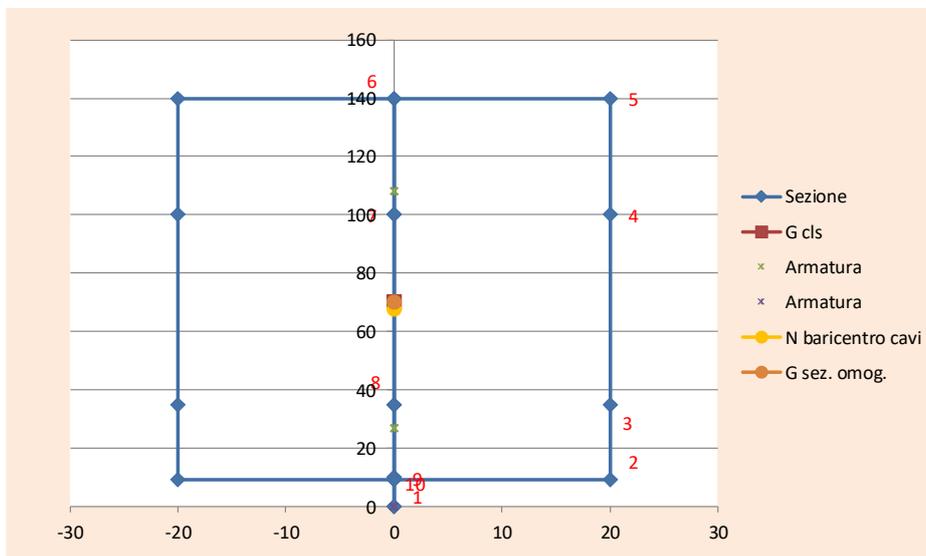
area totale dell'armatura di precompressione

punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle a eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione c eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi inferiori eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi superiori

**TIRO INIZIALE**

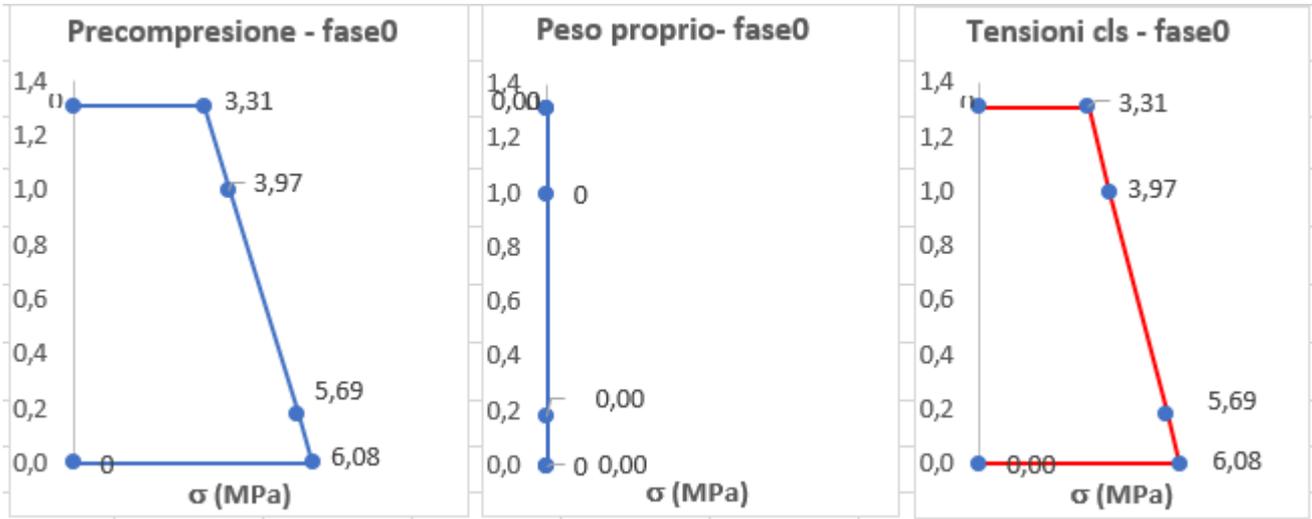
$$\sigma_{pi} = \frac{N_{p0}}{A_{tr}} = \frac{2510 \text{ kN}}{1290.00 \text{ N/mm}^2}$$

**RILASCIO DEL CAVO: fase 0**



Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	119 di 162



**- Tensione cls a livello del cavo al tiro**

$$\sigma_{cc} = \frac{N_{p0}}{A^*} + \frac{N_{p0} \cdot e}{I_i^*} \cdot e$$

6,08 MPa      Compressione

**Perdite di tensione istantanee**

**- Tensione nel cavo**

Tensione nel cavo dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls

1251.00 MPa

**Precompressione dopo le perdite di tensione dovute alla deformazione istantanea del cls**

$$N_p^0 = N_{p0} - \Delta N_i$$

2434.45 kN

**- Tensione cls lembo superiore**

$$\sigma_{cs}^s = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_s^*}$$

3.31 MPa      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      31.82 MPa

Coeff. di sicurezza: 2.20      9.61 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls lembo inferiore**

$$\sigma_{ci}^s = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{W_i^*}$$

6.08 MPa      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      31.82 MPa

Coeff. di sicurezza      5.23 coefficiente di sicurezza

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	120 di 162

**- Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$$\sigma_{cc-sup}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} - \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e_3$$

**3.97 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      31.82 MPa  
Coeff. di sicurezza      8.02 coefficiente di sicurezza

**- Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

$$\sigma_{cc-inf}^0 = \frac{N_p^0}{A^*} + \frac{N_p^0 \cdot e - M_g}{I_i^*} \cdot e_2$$

**5.69 MPa**      Compressione **Verificata**      Verifica:  $\sigma < 0.7 f_{ck}(t)$

0.7 fck(t)      31.82 MPa  
Coeff. di sicurezza      5.59 coefficiente di sicurezza

**Tensione nei cavi superiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp-sup}^0 = \sigma_{sp-sup}^t - n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e_3 = 1251.00 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute al peso proprio

$$\sigma_{sp-inf}^0 = \sigma_{sp-inf}^t - n \cdot \frac{M_g}{I_i^*} \cdot e_2 = 1251.00 \text{ MPa}$$

**GETTO IN OPERA DELLA SOLETTA : fase 1**

(Sezione resistente formata dalla sola trave, soletta considerata solo come carico)

**Sollecitazioni al getto della soletta**

$$M_{max} = M_{pp,soletta} = -231.60 \text{ kNm}$$

momento massimo sollecitante dovuto al solo peso proprio della s

**Variazioni di tensione dovute a  $M_{max}$**

$\Delta\sigma_{cs}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_s$	-2.03 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{ci}^1 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_i$	2.02 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{cc-sup}^1 = \frac{M_{max}}{I_i^*} \cdot e_3$	-1.06 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi sup
$\Delta\sigma_{cc-inf}^1 = \frac{M_{max}}{I_i^*} \cdot e_2$	1.45 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi infe

A favore di sicurezza si è considerato che il getto della soletta avvenga dopo molto tempo rispetto al tiro delle travi in precompresso, in modo da poter considerare in questa fase tutte le perdite di tensione lente riguardo la precompressione.

**Ritiro e viscosità a 61 gg (getto soletta)**

Perimetro esposto aria trave	u	3420	mm
tempo getto soletta	tsol	61	gg
ritiro per essiccamento trave al getto della soletta	ecd,61	-0,0000597	
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0002806	
ritiro autogeno trave al getto della soletta	eca,61	-0,0000186	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	80	
fck trave		45	MPa
ho trave	ho,t	306,4	mm
kh trave	kh,t	0,75	
	ecd0,t	-0,000374	
	β,61	0,21279	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0003681	
ritiro trave a getto soletta	ecs,t,61	-0,0000783	
umidità ambiente	%	80	
	φ	1,425	
	E	36283	MPa
	E,visc	14962	MPa
	E,visc,61	27841	MPa

**Perdita di precompressione totale in fase 1**

$$\Delta\sigma_{tot} := \frac{\Delta\sigma_v + \Delta\sigma_{rit} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr}}{1 + \frac{E_p}{E_c} \cdot \frac{A_p}{A_I} \cdot \left(1 + \frac{A_I}{J_I} \cdot e_c^2\right) \cdot (1 + 0.8 \cdot \Phi)}$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^1 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv -0,6 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 29,7 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNrill 24,9 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 47,8 kN

Perd% 1,91 %

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	122 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	-0.06 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{W_s^*}$	-0.12 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc-sup}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_G^*} e_3$	-0.08 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi sup
$\Delta\sigma_{prcc-inf}^1 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_G^*} e_2$	-0.11 MPa	Trazione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi infe

**Tensione cls lembo superiore**

$\sigma_{cs}^1 = \sigma_{cs}^0 + \Delta\sigma_{cs}^1 + \Delta\sigma_{prcs}^1$	<b>1.12 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	24.46			

**Tensione cls lembo inferiore**

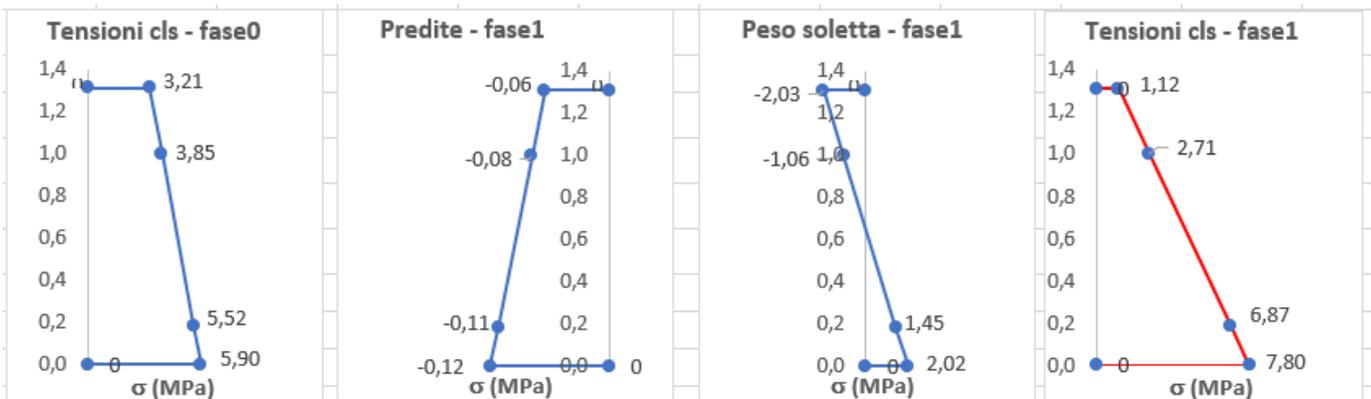
$\sigma_{ci}^1 = \sigma_{ci}^0 + \Delta\sigma_{ci}^1 + \Delta\sigma_{prci}^1$	<b>7.80 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	3.51			

**Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$\sigma_{cc-sup}^1 = \sigma_{cc-sup}^0 + \Delta\sigma_{cc-sup}^1 + \Delta\sigma_{prcc-sup}^1$	<b>2.71 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	10.11			

**Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

$\sigma_{cc-inf}^1 = \sigma_{cc-inf}^0 + \Delta\sigma_{cc-inf}^1 + \Delta\sigma_{prcc-inf}^1$	<b>6.87 MPa</b>	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	3.99			



**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	123 di 162

**Tensione nei cavi superiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp-sup}^1 = \sigma_{sp-sup}^0 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-sup}^1 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-sup}^1 = 1256.61 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 1 e le cadute di tensione dovute al peso della soletta

$$\sigma_{sp-inf}^1 = \sigma_{sp-inf}^0 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-inf}^1 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-inf}^1 = 1242.60 \text{ MPa}$$

**AZIONE DEI PERMANENTI PORTATI : fase 2**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Caratteristiche sezione omogeneizzata 2

(si omogeneizza rispetto al cls di CAP)

$n_2$	<b>0.905</b>	coefficiente omogeneizzazione (rapporto tra i due moduli elastici, soletta e CAP)
$A_{cls}$	12290	cm <sup>2</sup>
$A_{resTref}$	1.39	cm <sup>2</sup>
$n^o$	14.00	numero di trefoli scelto
$A_{tr}$	19.46	cm <sup>2</sup> area totale dell'armatura di precompressione
$A^*$	11724.89	cm <sup>2</sup>
$H_{sez1}$	161.00	cm
$y_{i1}$	109.25	cm
$y_{s,soletta} = H_{sez1} - y_{i1}$	51.75	cm
$y_{s,trave} = H_{sez} - y_{i1}$	21.75	cm
$H_{sol}$	30.00	cm
$e_1$	36.75	cm (utile per le azioni differenziali soletta - trave)
$I_g^*$	26882427	cm <sup>4</sup>
$W_s^* = I_g^* / y_s$	519446.66	cm <sup>3</sup>
$W_i^* = I_g^* / y_i$	246068.02	cm <sup>3</sup>
$y_n$	59.05	cm punto di applicazione dello sforzo normale (coincide con il baricentro delle a
$e$	50.02	cm eccentricità tra il punto di applicazione del tiro e il baricentro della sezione c
$e_2$	90.95	cm eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi inferiori
$e_3$	9.45	cm eccentricità tra il baricentro della sezione omogeneizzata e i cavi superiori

Sollecitazioni

$M_{perm,portati} = M_{max}$	-29.84	kNm	momento massimo sollecitante dovuto ai permanenti portati (pavimentazione, cordolo, sicur via,barriera antirumore)
------------------------------	--------	-----	--

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	-0.06	MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^2 = \frac{M_{max}}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.02	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della so
$\Delta\sigma_{cs,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.02	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della soli
$\Delta\sigma_{ci,trave}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	0.12	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della tra
$\Delta\sigma_{cc-sup}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_3$	0.01	MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della tra
$\Delta\sigma_{cc-inf}^2 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_2$	0.10	MPa	variazione di tensione nel cls al dei cavi superiori
			variazione di tensione nel cls al dei cavi inferiori

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	124 di 162

**Perdite di tensione lente a tempo infinito**  
**Deformazione per ritiro nella trave**

Ritiro e viscosità a tempo infinito			
Perimetro esposto aria trave	u	7920	mm
ritiro per essiccamento trave tinf	ecd,inf	-0,0002806	
ritiro autogeno trave tinf	eca,inf	-0,0000875	
umidità ambiente	%	75	
fck trave		45	MPa
ho trave	ho,t	310	mm
kh trave	kh,t	0,75	
	ecd0,t	-0,000374	
ritiro trave tempo infinito	ecs,t, inf	-0,0003681	
	φ	1,495	
	E	36283	MPa
	E,visc	14540	MPa

**Deformazione per ritiro nella soletta**

Perimetro esposto aria soletta	u	4500	mm
ritiro per essiccamento soletta tinf	ecd,inf	-0,0003310	
ritiro autogeno soletta tinf	eca,inf	-0,0000500	
fck soletta		30	MPa
ho soletta	ho,t	313	mm
kh soletta	kh,t	0,75	
	ecd0,t	-0,000441	
ritiro soletta a tempo infinito	ecs,s, inf	-0,0003810	
<b>differenza ritiro trave soletta</b>	<b>Δecs,s</b>	<b>-0,0000912</b>	

Sollecitazioni dovute al ritiro differenziale			
<b>Forza dovuta al ritiro</b>	<b>Frit</b>	-934,7	kN
<b>Momento dovuto al ritiro</b>	<b>Mrit</b>	343,5	kNm
	<b>Δσsup,soletta</b>	0,13	
	<b>Δσinf,soletta</b>	-0,25	
	<b>Δσsup,trave</b>	1,08	
	<b>Δσinf,trave</b>	-0,60	
	<b>Δσ cavi,trave</b>	-0,36	

**Perdita di precompressione totale in fase 2**

$$\Delta\sigma_{pr}^2 = \Delta\sigma_{ritiro}^2 + \Delta\sigma_v^2 + \Delta\sigma_r^2$$

$$\Delta N_i = \Delta\sigma_{pr}^2 \cdot A_{tr}$$

caduta di tensione per viscosità e carichi perm

ΔNv -1,6 kN

caduta di tensione per ritiro

ΔNrit 139,7 kN

caduta di tensione per ritiro differenziale

ΔNrit,d 51,1 kN

caduta di tensione per rilassamento acciaio

ΔNrill 92,3 kN

Caduta di tensione combinata secondo EC2 5.46

ΔNtot 250,5 kN

Perd% 9,98 %

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	125 di 162

**Variazioni di tensione dovute alle perdite di precompressione**

$\Delta\sigma_{prcs,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.023 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo super
$\Delta\sigma_{prci,soletta}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^* n} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{n I_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.091 MPa	Compressione	variazione di tensione nella soletta al lembo inferi
$\Delta\sigma_{prcs,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} + \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.091 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo superiore
$\Delta\sigma_{prci,trave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	-0.586 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore
$\Delta\sigma_{prcc-suptrave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot e_3$	-0.209 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi sup
$\Delta\sigma_{prcc-inftrave}^2 = -\frac{\Delta N_l}{A^*} - \frac{\Delta N_l \cdot e}{I_g^*} \cdot e_2$	-0.517 MPa	Compressione	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi infe

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{cs,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdcs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prcs,soletta}^2$$

fctm/1,2      23.6 MPa  
Coeff. di sicurezza      10.36

**0.10 MPa**      Trazione      **Verificat**  $\sigma > k \cdot fctm(t)$

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$$\sigma_{ci,soletta}^2 = \Delta\sigma_{rdci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{prci,soletta}^2$$

fctm/1,2      6.38 MPa  
Coeff. di sicurezza      1.33

**-0.37 MPa**      Trazione      **Verificat**  $\sigma > k \cdot fctm(t)$

**Tensione cls lembo superiore trave**

$$\sigma_{cs,trave}^2 = \sigma_{cs,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcs,trave}^2$$

0,6xfck      13.17 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.13

**2.08 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 \cdot fck(t)$

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci,trave}^2 = \sigma_{ci,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdci,trave}^2 + \Delta\sigma_{ci,trave}^2 + \Delta\sigma_{prci,trave}^2$$

0,6xfck      4.06 MPa  
Coeff. di sicurezza      20.85

**6.74 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 \cdot fck(t)$

**Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$$\sigma_{cc-sup,trave}^2 = \sigma_{cc-sup,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc-sup,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc-sup,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc-sup,trave}^2$$

0,6xfck      8.59 MPa  
Coeff. di sicurezza      3.89

**3.19 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 \cdot fck(t)$

**Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

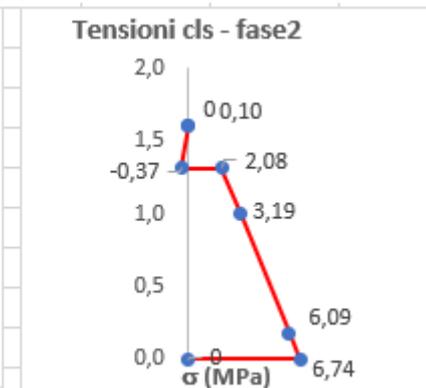
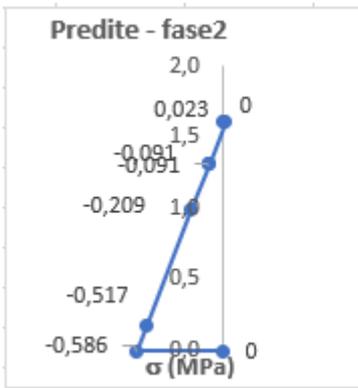
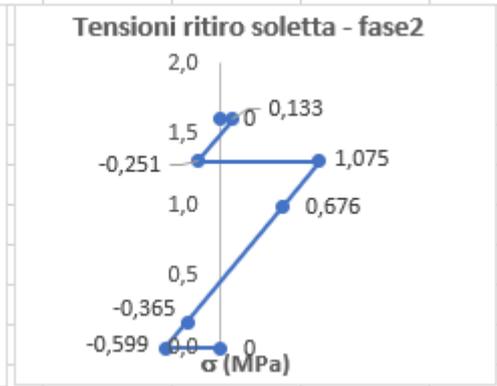
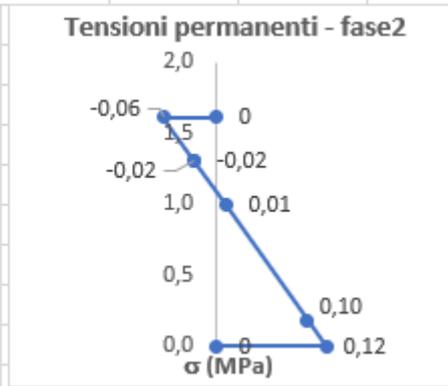
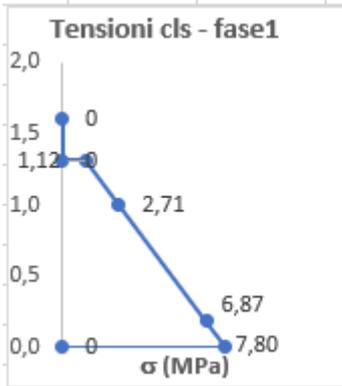
$$\sigma_{cc-inf,trave}^2 = \sigma_{cc-inf,trave}^1 + \Delta\sigma_{rdcc-inf,trave}^2 + \Delta\sigma_{cc-inf,trave}^2 + \Delta\sigma_{prcc-inf,trave}^2$$

0,6xfck      4.50 MPa  
Coeff. di sicurezza      9.97

**6.09 MPa**      Compressione      **Verificat** Verifica:  $\sigma < 0.6 \cdot fck(t)$

Relazione di calcolo impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	126 di 162



**Tensione nei cavi superiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp-sup}^2 = \sigma_{sp-sup}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-suptrave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-sup}^2 - n \cdot \Delta\sigma_{rdcc-suptrave}^2 = 1251.50 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le perdite in fase 2 e le cadute di tensione dovute a permanenti e ritiro differenziale

$$\sigma_{sp-inf}^2 = \sigma_{sp-inf}^1 - n \cdot \Delta\sigma_{prcc-inftrave}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{cc-inf}^2 + n \cdot \Delta\sigma_{rdcc-inftrave}^2 = 1241.24 \text{ MPa}$$

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	127 di 162

**ESERCIZIO: fase 3**

(Soletta indurita e collaborante con le travi)

Sollecitazioni

$M_{max}$  -125.98 kNm momento massimo sollecitante dovuto ai variabili da tra

**Variazioni di tensione dovute a Mmax**

$\Delta\sigma_{cs,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{s,soletta}$	0.24 MPa	limite compr cls 0.6fck no 0.7 fck a cadute avvenute
$\Delta\sigma_{ci,soletta}^3 = \frac{M_{max}}{nI_g^*} \cdot y_{i,soletta}$	-0.10 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della so
$\Delta\sigma_{cs,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{s,trave}$	-0.10 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della sol
$\Delta\sigma_{ci,trave}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot y_{i,trave}$	0.51 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo superiore della tra
$\Delta\sigma_{cc-sup}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_3$	0.044 MPa	variazione di tensione nel cls al lembo inferiore della tra
$\Delta\sigma_{cc-inf}^3 = \frac{M_{max}}{I_g^*} \cdot e_2$	0.43 MPa	variazione di tensione nel cls al livello dei cavi superiori
		variazione di tensione nel cls al livello dei cavi inferiori

**Tensione cls lembo superiore soletta**

$\sigma_{cs,soletta}^3 = \sigma_{cs,soletta}^2 + \Delta\sigma_{cs,soletta}^3$	-0.14 MPa	Trazione	<b>Verificata</b>	$\sigma > k fctm(t)$
fctm/1,2	16.86 MPa			
Coeff. di sicurezza	14.80			

**Tensione cls lembo inferiore soletta**

$\sigma_{ci,soletta}^3 = \sigma_{ci,soletta}^2 + \Delta\sigma_{ci,soletta}^3$	-0.47 MPa	Trazione	<b>Verificata</b>	$\sigma > k fctm(t)$
fctm/1,2	5.02 MPa			
Coeff. di sicurezza	1.35			

**Tensione cls lembo superiore trave**

$\sigma_{cs,trave}^3 = \sigma_{cs,trave}^2 + \Delta\sigma_{cs,trave}^3$	1.98 MPa	Compressione	<b>Verificata</b>	Verifica: $\sigma < 0.6 fck(t)$
0,6xfck	27.39 MPa			
Coeff. di sicurezza	13.83			

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	128 di 162

**Tensione cls lembo inferiore trave**

$$\sigma_{ci, trave}^3 = \sigma_{ci, trave}^2 + \Delta \sigma_{ci, trave}^3$$

**7.25' MPa**

Compressione **Verificata**

Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck  
Coeff. di sicurezza

27.39 MPa  
3.78

**Tensione cls a livello dei cavi superiori**

$$\sigma_{cc-sup}^3 = \sigma_{cc-sup}^2 + \Delta \sigma_{cc-sup}^3$$

**3.23 MPa**

Compressione **Verificata**

Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck  
Coeff. di sicurezza

27.39 MPa  
8.48

**Tensione cls a livello dei cavi inferiori**

$$\sigma_{cc-inf}^3 = \sigma_{cc-inf}^2 + \Delta \sigma_{cc-inf}^3$$

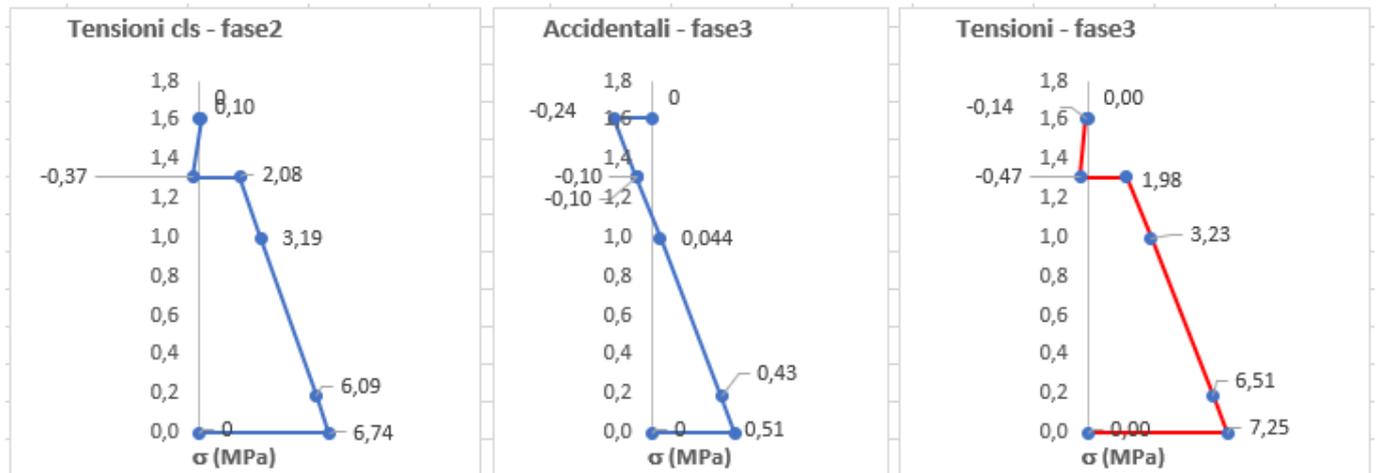
**6.51 MPa**

Compressione **Verificata**

Verifica:  $\sigma < 0.6 f_{ck}(t)$

0,6xfck  
Coeff. di sicurezza

27.39 MPa  
4.21



**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp-sup}^3 = \sigma_{sp-sup}^2 + n \cdot \Delta \sigma_{cc-sup}^3 = 1251.26 \text{ MPa}$$

**Tensione nei cavi inferiori**

Tensione nel cavo dopo le cadute di tensione dovute agli accidentali

$$\sigma_{sp-inf}^3 = \sigma_{sp-inf}^2 + n \cdot \Delta \sigma_{cc-inf}^3 = 1238.95 \text{ MPa}$$

**NOTA.** Per il caso di carico più critico e alla sezione più critica, posta a 5m dagli appoggi, si riscontrano trazioni solo alla fibra inferiore, mentre in corrispondenza del baricentro della sezione la tensione è di compressione e prossima a 0 MPa. Ne segue che, nell'asse baricentrico della sezione si riscontrano

sempre sforzi principali di compressione quindi tali da soddisfare il limite sulle tensioni di trazioni ( $<0.045 f_{ck} = -2.05 \text{ MPa}$ ).

### 8.2.2.2 Verifica SLU\_STR

Si riportano le verifiche per il momento ultimo del trasverso di bordo e di campata:

Traverso di bordo :  $M_{ed} = - 630.514 \text{ kNm}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: External\_Transverse\_Beam\_Neg

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** Traverso SLU - Esterno Negativ M

N° Vertici: 9 Zoom N° barre: 0 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	40	0
3	40	131
4	180	131
5	180	161
6	0	161

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> -630.514 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M<sub>xRd</sub> -1 619 kN m

**Materiali**

Prestress y C45/55

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  1 617 N/mm l  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm l  $f_{cd}$  25.5 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  8.085 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm l  $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

**Tipo Sezione**

Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Armatura Precompressione**

N° cavi: 2 Zoom

N°	As [cm]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	9.8	20	27	0
2	9.8	20	109	0

Tipo cavo: Prestress y

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  
 $f_{yd}$  1 617 N/mm l  
 $E_s/E_c$  6  
 $\epsilon_{syd}$  8.085 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  1080 N/mm l

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**

Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>o</sub> 0 cm Col. modello

$\sigma_{sp}$  1 617 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_{sp}$  14.36 ‰ compressa predef.

Precompresso

Traverso di campata :  $M_{ed} = -1796$  kNm

Verifica C.A. S.L.U. - File: Internal\_Transverse\_Beam\_rev1

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** Traverso SLU - Interno

N° Vertici  Zoom N° barre  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
4	137.5	131
5	137.5	161
6	0	161
7	-97.40	161
8	-97.40	131
9	0	131

Sollecitazioni  
S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  kNm  
M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura  
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Armatura Precompressione  
N° cavi  Zoom

N°	As [cm]	x [cm]	y [cm]	σ <sub>sp</sub> [MPa]
1	9.8	20	27	0
2	9.8	20	120	0

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>  cm Col. modello

N° rett.   
Precompresso

Materiali  
Prestress y   
ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm l ε<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm l f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  ‰  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm l τ<sub>co</sub>  ‰  
τ<sub>c1</sub>  ‰

Tipo cavo  
Prestress y  
ε<sub>su</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm l  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  ‰  
ε<sub>syd</sub>  ‰  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm l

σ<sub>sp</sub>  N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>sp</sub>  ‰ compressa pref.

### 8.3 Apparecchi di appoggio

#### 8.3.1 Scarichi sugli apparecchi di appoggio

Si riportano le azioni massime in termini di scarichi sui 5 appoggi

**TABLE: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
47	STR_ENV	Combination	Max	0	0	2079.80	0	0	0
47	STR_ENV	Combination	Min	0	0	675.99	0	0	0
47	SLE_ENV	Combination	Max	0	0	1522.15	0	0	0
47	SLE_ENV	Combination	Min	0	0	755.24	0	0	0
48	STR_ENV	Combination	Max	102.56	1004.16	1594.74	0	0	0
48	STR_ENV	Combination	Min	-877.08	-1723.57	509.53	0	0	0
48	SLE_ENV	Combination	Max	76.49	743.82	1173.82	0	0	0
48	SLE_ENV	Combination	Min	-156.08	-461.85	498.50	0	0	0
73	STR_ENV	Combination	Max	0	0	1457.10	0	0	0
73	STR_ENV	Combination	Min	0	0	615.03	0	0	0
73	SLE_ENV	Combination	Max	0	0	1070.46	0	0	0
73	SLE_ENV	Combination	Min	0	0	593.50	0	0	0
74	STR_ENV	Combination	Max	162.07	462.36	1361.49	0	0	0
74	STR_ENV	Combination	Min	-842.94	-1707.07	484.79	0	0	0
74	SLE_ENV	Combination	Max	119.53	336.87	838.65	0	0	0
74	SLE_ENV	Combination	Min	-109.52	-743.82	501.69	0	0	0
75	STR_ENV	Combination	Max	0	0	2287.52	0	0	0
75	STR_ENV	Combination	Min	0	0	960.83	0	0	0
75	SLE_ENV	Combination	Max	0	0	1204.74	0	0	0
75	SLE_ENV	Combination	Min	0	0	758.36	0	0	0
76	STR_ENV	Combination	Max	0	0	2045.28	0	0	0
76	STR_ENV	Combination	Min	0	0	735.15	0	0	0
76	SLE_ENV	Combination	Max	0	0	1496.41	0	0	0
76	SLE_ENV	Combination	Min	0	0	784.74	0	0	0
77	STR_ENV	Combination	Max	64.63	0	1540.32	0	0	0
77	STR_ENV	Combination	Min	-880.03	0	526.08	0	0	0
77	SLE_ENV	Combination	Max	48.44	0	1134.70	0	0	0
77	SLE_ENV	Combination	Min	-189.26	0	521.66	0	0	0
78	STR_ENV	Combination	Max	0	0	1446.64	0	0	0
78	STR_ENV	Combination	Min	0	0	601.61	0	0	0
78	SLE_ENV	Combination	Max	0	0	1062.81	0	0	0
78	SLE_ENV	Combination	Min	0	0	596.11	0	0	0
79	STR_ENV	Combination	Max	130.57	0	1242.13	0	0	0
79	STR_ENV	Combination	Min	-830.59	0	526.38	0	0	0

**TABLE: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
79	SLE_ENV	Combination	Max	96.15	0	860.44	0	0	0
79	SLE_ENV	Combination	Min	-137.41	0	514.02	0	0	0
80	STR_ENV	Combination	Max	0	0	2034.82	0	0	0
80	STR_ENV	Combination	Min	0	0	860.40	0	0	0
80	SLE_ENV	Combination	Max	0	0	1191.94	0	0	0
80	SLE_ENV	Combination	Min	0	0	803.80	0	0	0

### 8.3.2 Verifica varchi e spostamenti apparecchi di appoggio

Per valutare l'escursione totale dei giunti e degli apparecchi d'appoggio si fa riferimento alla seguente espressione:

$$E_L = k_1 \times k_2 \times (E_1 + E_2 + E_3) \quad \text{direzione longitudinale}$$

$$E_L \geq E_i \text{ con } i=1,2,3 ; E_L = \max (E_L, E_1, E_2, E_3)$$

$$E_T = k_1 \times k_2 \times (E_{2,trasv} + E_{3,trasv}) \quad \text{direzione trasversale}$$

$$E_T \geq E_i \text{ con } i=2,3 ; E_T = \max (E_T, E_{2,trasv}, E_{3,trasv})$$

con:

- $E_1 = 2 \times D_t$ , spostamento dovuto alla variazione termica uniforme;
- $E_2 = 2 \times D_e$  spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica in direzione longitudinale;  $E_{2,trasv} =$  spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica in direzione trasversale;
- $E_3 = D_{RL}$  spostamento fra le fondazioni di strutture non collegate dovuto all'azione sismica in direzione longitudinale (in caso di ponte spalla spalla questo valore è nullo in quanto si considerano infinitamente rigide);
- $E_{3,trasv} = D_{RT}$  spostamento fra le fondazioni di strutture non collegate dovuto all'azione sismica in direzione trasversale;

- $k_1 = 0.45$  – coefficiente che tiene conto della non contemporaneità dei valori massimi corrispondenti a ciascun evento singolo;
- $k_2 = 0.55$  – coefficiente che tiene conto della effettiva probabilità che si verifichi il moto in opposizione di fase dei due elementi indipendenti;
- $D_t = L \times \alpha \times \Delta T$  dilatazione termica in direzione longitudinale

La corsa degli apparecchi d'appoggio non deve essere inferiore a  $\pm E_L/2$ , inoltre, al fine di scongiurare la caduta dell'impalcato, deve essere garantito un ulteriore franco di corsa pari a  $E_L/8$ .

In direzione trasversale si assume un valore di corsa degli apparecchi d'appoggio non inferiore a  $\pm E_T/2$ .

Il varco da prevedere fra le testate delle travi, a temperatura media ambiente, dovrà essere non inferiore a:

$$V \geq E_L/2 + V_0$$

The gap to be foreseen between the heads of the beams, at average room temperature, must be not less than

Con  $V_0 = 20$  mm

I dispositivi di fine corsa longitudinale dovranno essere posti ad una distanza dal bordo della trave supportata dal vincolo mobile pari a:

$$d = V - V_0/2$$

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa dei valori di escursione dei giunti, del varco fra le testate delle travi e di distanza dalla testata delle travi ai dispositivi di fine corsa:

<u>Caratteristiche sismiche</u>					
Categoria di sottosuolo è "C" e la categoria topografica è "T1".					
$a_g =$	0,09				
$S =$	1,6				
$T_c =$	0,437				
$T_D =$	1,96				
$d_{Ee} =$	0,006013	m			- è lo spostamento relativo totale tra le parti, pari allo spostamento $d_E$ prodotto dall'azione sismica di progetto
$d_g =$	0,00308347	m			- spostamento assoluto orizzontale massimo del suolo
$e_s =$	1,2334E-05				
$d_{rg} =$	0,00092504	$\leq 2 \cdot d_g$	OK!		- è lo spostamento relativo tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno, da valutare secondo il paragrafo 3.2.3.3 del DM 14.1.2008 che di seguito si riporta;
<u>Escursione Appoggi</u>					
$L_g =$	500	m			
$L_{ponte} =$	75	m			- la lunghezza del ponte (m).
$\Delta T =$	15	°C			- Termica uniforme
$\alpha =$	0,00001				- Coefficienti di dilatazione termica a temperatura ambiente
$D_t =$	0,01125	mm			- Deformazione dovuta alla termica uniforme
$k_1 =$	0,45				- coefficiente che tiene conto della non contemporaneità dei valori massimi corrispondenti a ciascun evento singolo;
$k_2 =$	0,55				- coefficiente legato alla probabilità di moto in controfase di due pile adiacenti;
$q =$	1				
$H_q =$	1				
$V_D =$	20	mm			
$E_1 =$	0,0225				- Spostamento dovuto alla variazione termica uniforme;
$E_2 =$	0,0132286				- Spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica;
$E_3 =$	0,00185008				- spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni di strutture non collegate;
$E_s =$	16,9104074	mm			- Spostamenti in direzione longitudinale;
$E_{giunti} =$	$\pm$	18,4552	mm		- Escursione dei giunti;
$E_{appog.,min} =$	$\pm$	23,4552	mm		- Apparecchi d'appoggio;
$V \geq$	28,4552037	mm			- Ampiezza dei varchi;

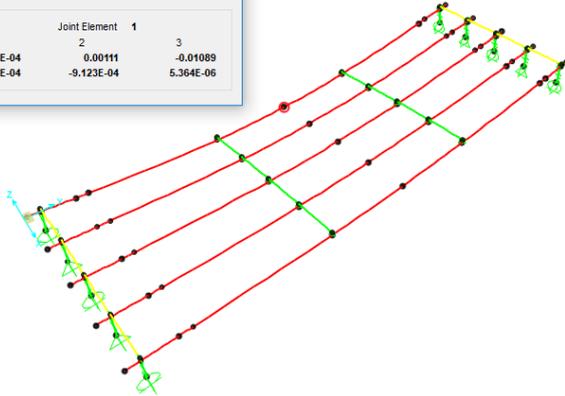
#### 8.4 Verifica deformabilità impalcato

La freccia massima in mezzeria, dovuta ai carichi accidentali incrementati dinamicamente, risulta pari a:

$$f = 0,01089 \text{ m} = 1,089 \text{ cm}$$

Deformed Shape (traffico)

Joint Object	1	Joint Element	1	2	3
Trans	5.488E-04	0.00111	-0.01089		
Rotn	-1.431E-04	-9.123E-04	5.364E-06		



La freccia così calcolata risulta inferiore a  $L/700 = 3,35$  cm; la deformata indotta dai carichi accidentali si ritiene quindi accettabile.

## 9 IMPALCATO: ANALISI EFFETTI LOCALI

### 9.1 Descrizione del modello di calcolo

Per il calcolo delle sollecitazioni, si è ricorso all'impiego di modelli agli elementi finiti, messi a punto e risolti con software SAP2000 della Computers and Structures. Il modello è composto da 19 elementi frames, da 30 nodi e 4 links; lo stesso discretizza con grande fedeltà geometrica la sezione trasversale tipo del viadotto. Nelle pagine che seguono viene riportato il modello con l'ubicazione dei nodi e delle aste.

#### 9.1.1 Caratteristiche geometriche dei frames

Per le aste discretizzanti la soletta superiore si assume:

$E_c = 33019 \text{ N/mm}^2$ ; Modulo Elastico del calcestruzzo ( $R_{ck} = 37 \text{ N/mm}^2$ ).

Le restanti aste del reticolo discretizzano i cassoni prefabbricati; per le stesse si assume:

$E_c = 36416 \text{ N/mm}^2$ ; Modulo Elastico del calcestruzzo ( $R_{ck} = 55 \text{ N/mm}^2$ ).

Sezione corrente, con le nervature di spessore 0.14 m e bulbo inferiore di spessore medio 0.23 m.

Di seguito si illustra il modello trasversale dell'impalcato con l'indicazione dei nodi e dei frames:

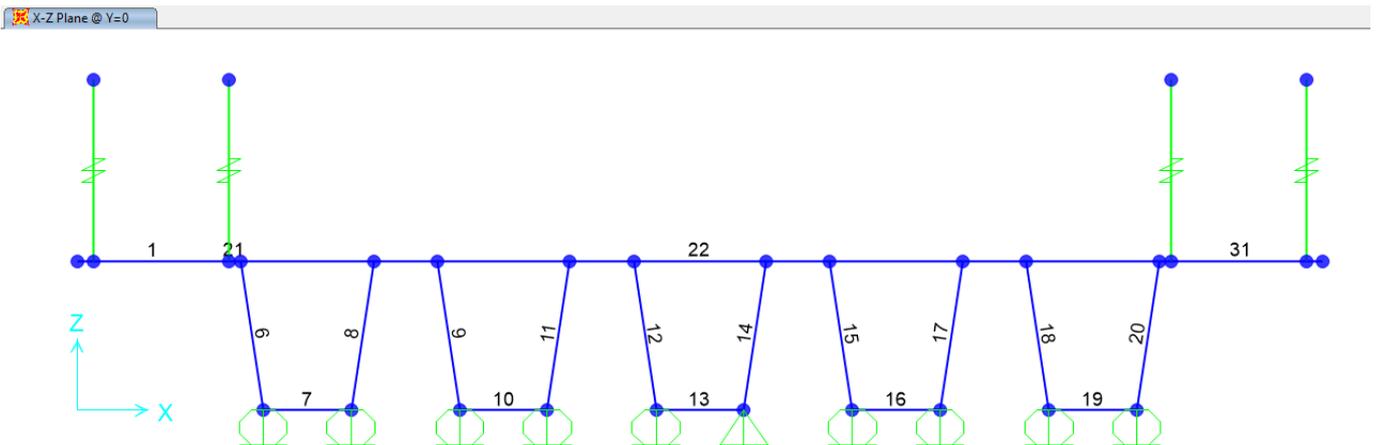


Fig. 37 – Modello trasversale con l'indicazione dei frames

X-Z Plane @ Y=0

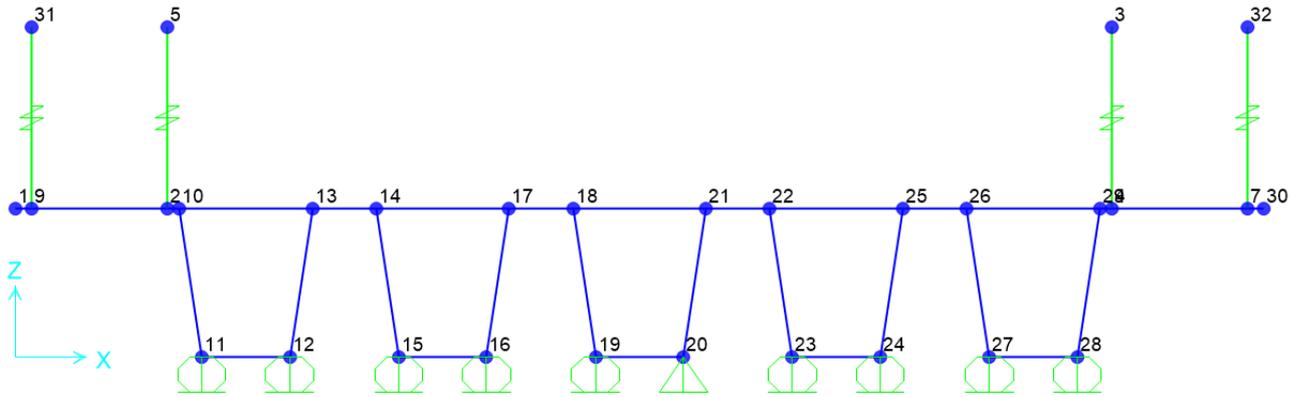


Fig. 38 – Modello trasversale con l'indicazione dei nodi

### 9.1.2 Condizioni di vincolo del modello

I vincoli del modello sono costituiti da carrelli in corrispondenza degli appoggi dei cassoni, con una cerniera in corrispondenza di uno di essi.

### 9.1.3 Descrizione delle condizioni di carico

Sono state esaminate varie condizioni di carico elementari da cui è possibile desumere le sollecitazioni di verifica più significative agli effetti dei massimi momenti trasversali d'esercizio nella soletta superiore dell'impalcato. Le condizioni di carico vengono di seguito illustrate in dettaglio.

#### 9.1.3.1 Carichi strutturali e carichi permanenti

Il peso proprio degli elementi strutturali componenti il modello di calcolo, è calcolato in automatico dal modello di calcolo avendo considerato un peso per unità di volume del calcestruzzo pari a  $25 \text{ kN/m}^3$ .

Si è considerato uno spessore medio della soletta.

Si riporta di seguito il peso della pavimentazione

- Peso pavimentazione:  $p = 20.00 \times 0.12 = 2.40 \text{ kN/m}$

Frame Span Loads (G2\_Pavimentazione) (GLOBAL CSys)

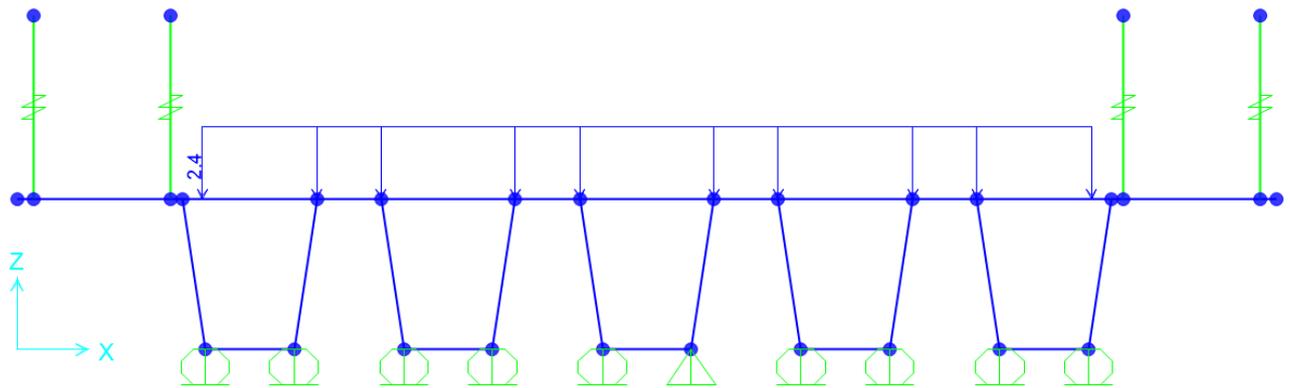


Fig. 39 – Peso pavimentazione

- Peso veletta destra e sinistra 2.50 kN/m come carico verticale:

Joint Loads (G2\_Veletta) (As Defined)

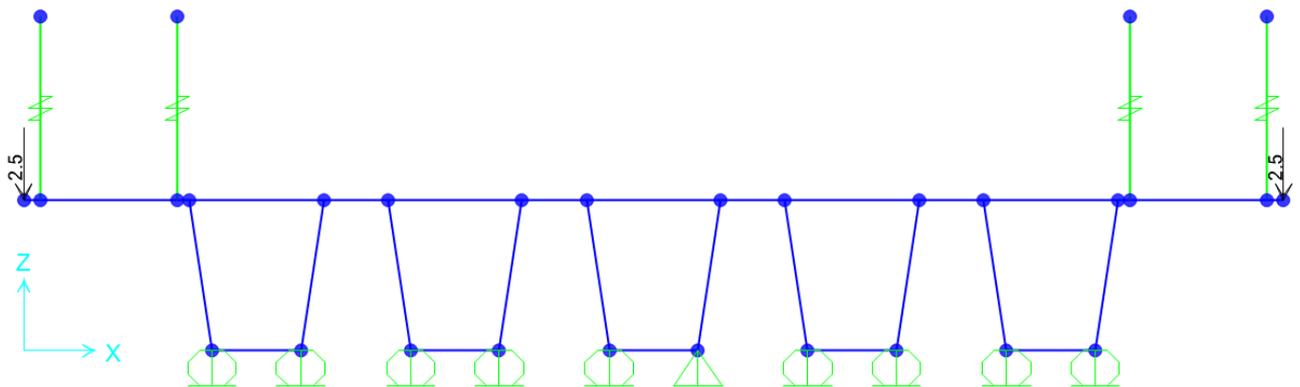


Fig. 40 – Peso velette

- Peso parapetto lato destro e sinistro:  $F_v = 1.00 \text{ kN/m}$

Joint Loads (G2\_Parapetti) (As Defined)

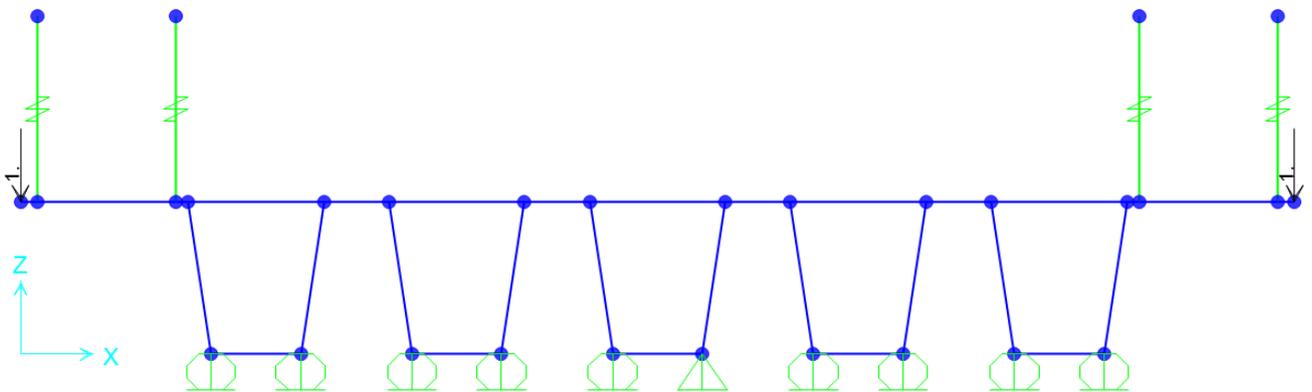


Fig. 41 – Peso parapetto

- Peso sicurvita destro e sinistro:  $F_v = 1.40 \text{ kN/m}$

Joint Loads (G2\_Sicurvita) (As Defined)

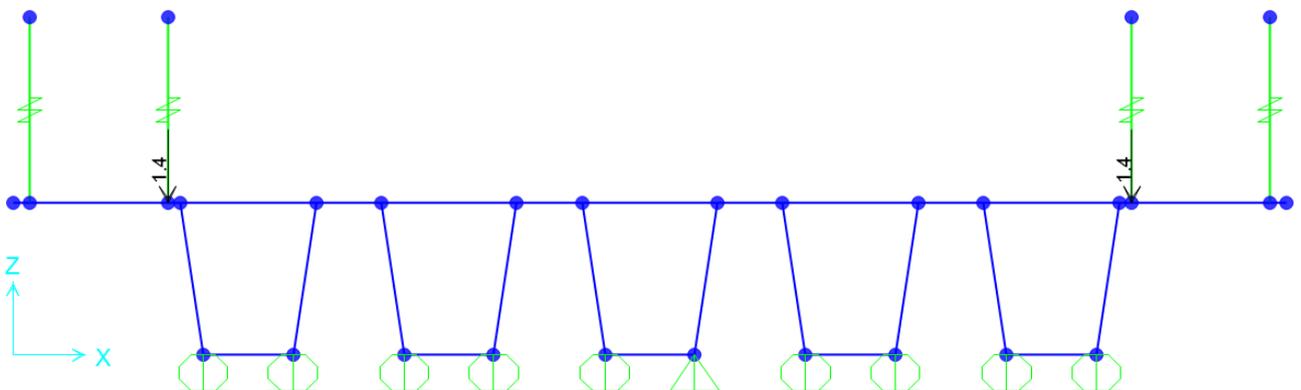


Fig. 42 – Peso sicurvita

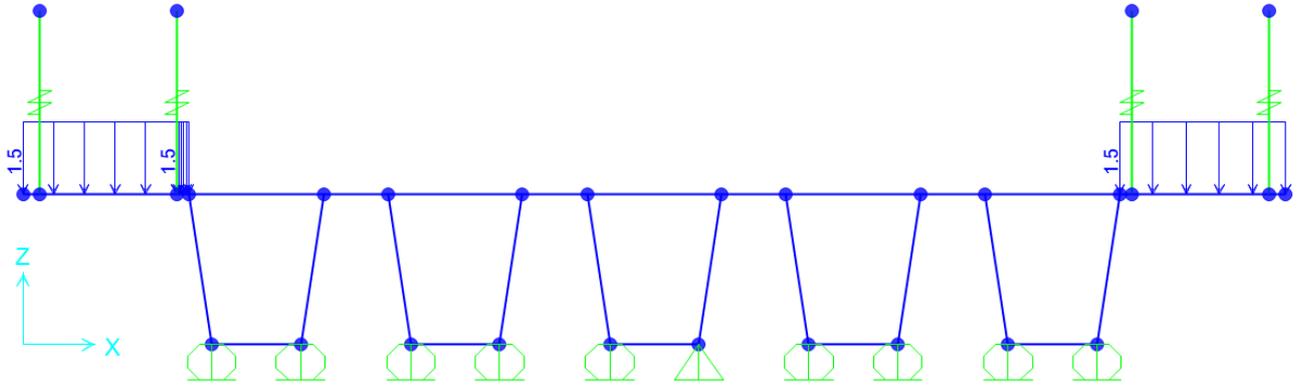


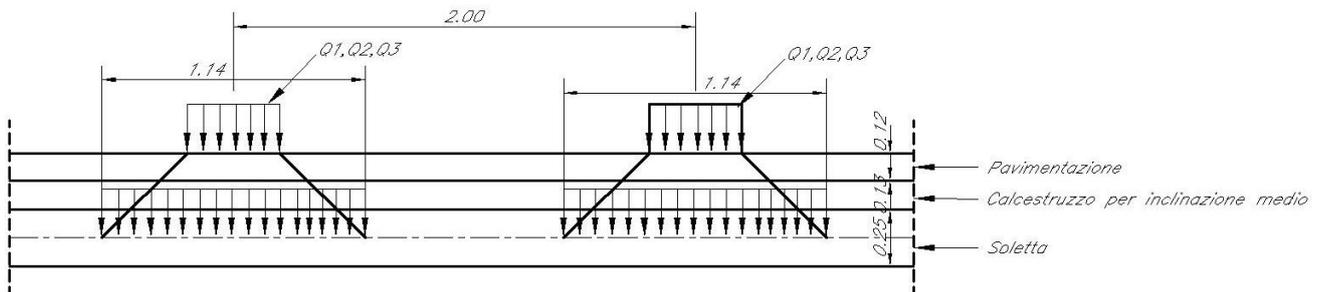
Fig. 43 – Peso impianti

### 9.1.3.2 Carichi mobili q1

Sono stati considerati i carichi da traffico stradale indicati nella normativa vigente [D.M. 17.01.2018] con diverse configurazioni, al fine di trovare le massime sollecitazioni nelle sezioni di interesse per la verifica della soletta.

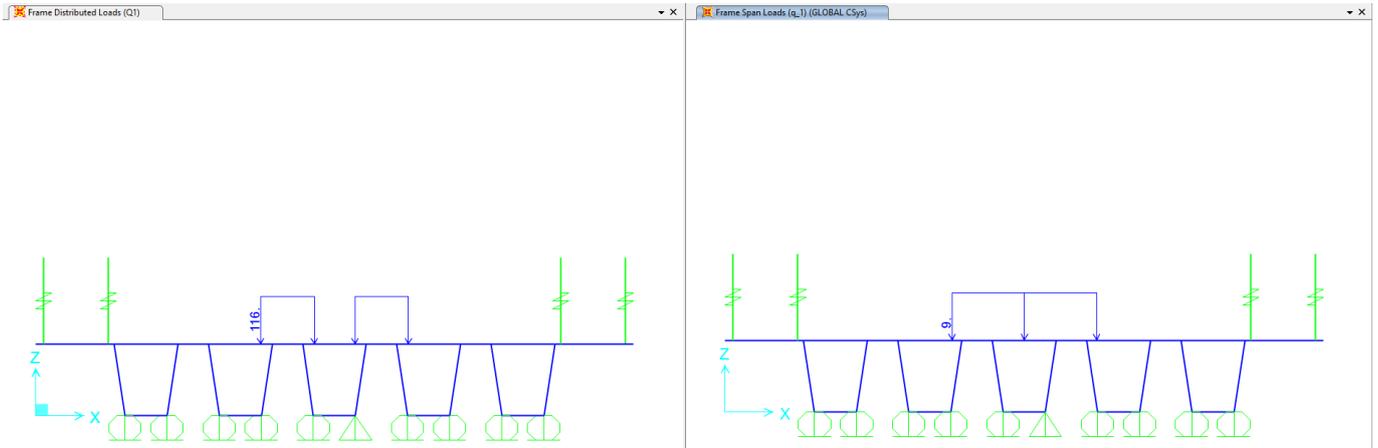
Si riportano in maniera non esaustiva degli esempi di assegnazione dei carichi

Schema di ripartizione azioni sulla soletta

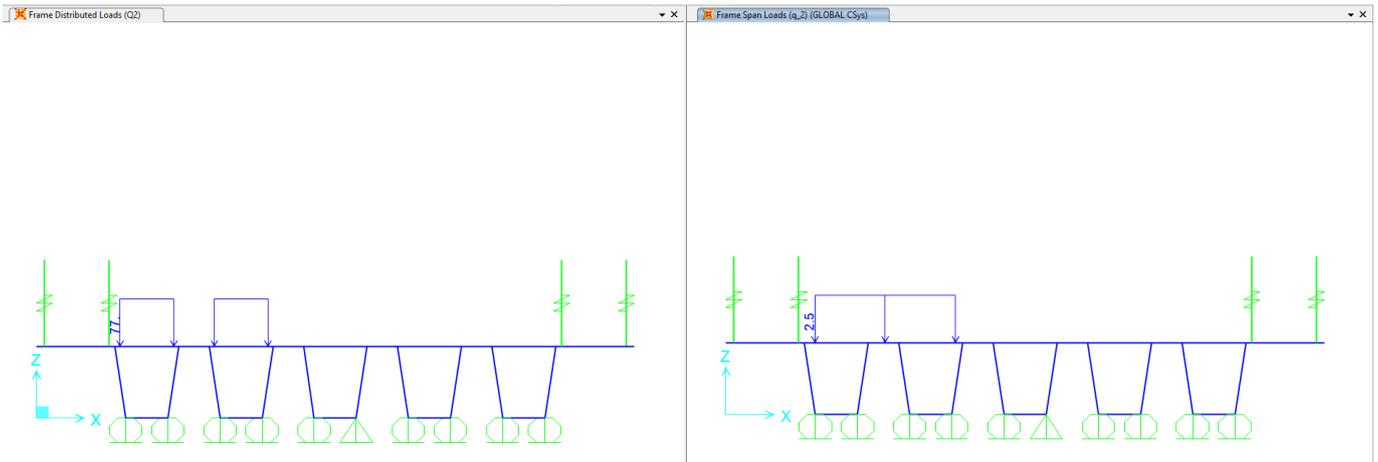


9.1.3.3 Carichi Schema 1:

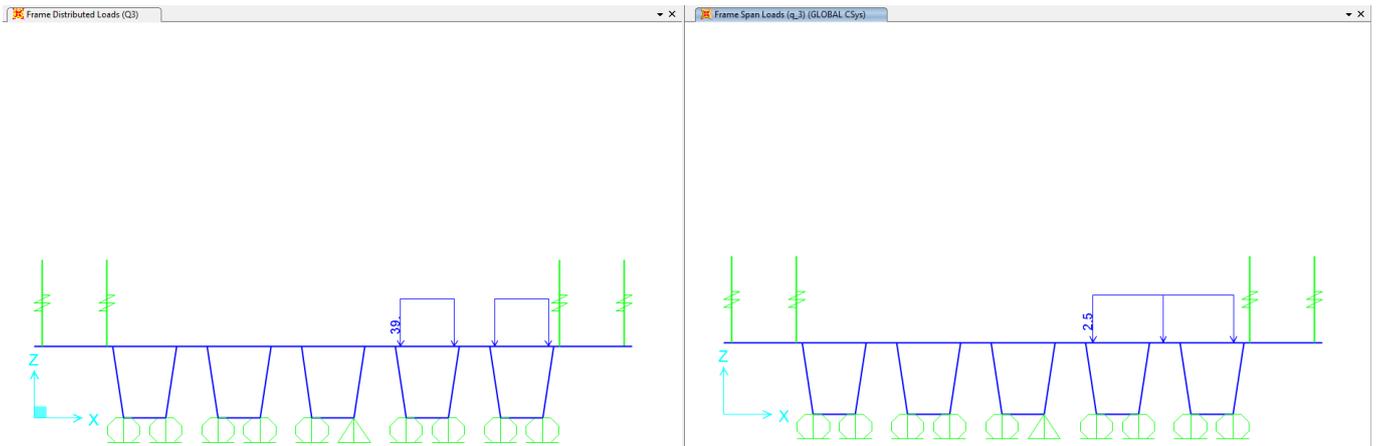
$$Q1=150/1.14^2=116 \text{ kN/m}^2$$



$$Q2=100/1.14^2=77 \text{ kN/m}^2$$

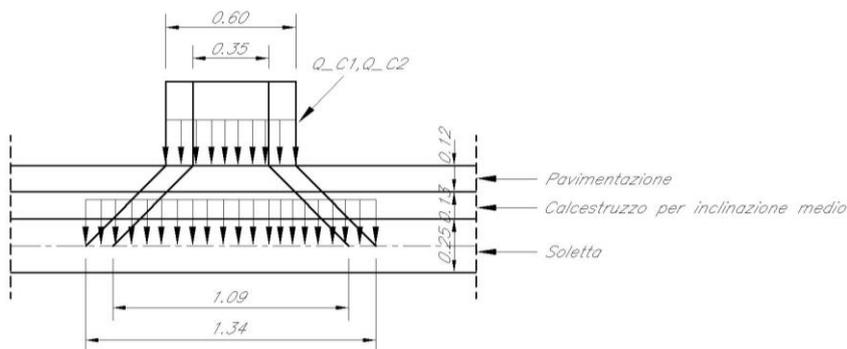


$$Q_3 = 50 / 1.14^2 = 39 \text{ kN/m}^2$$

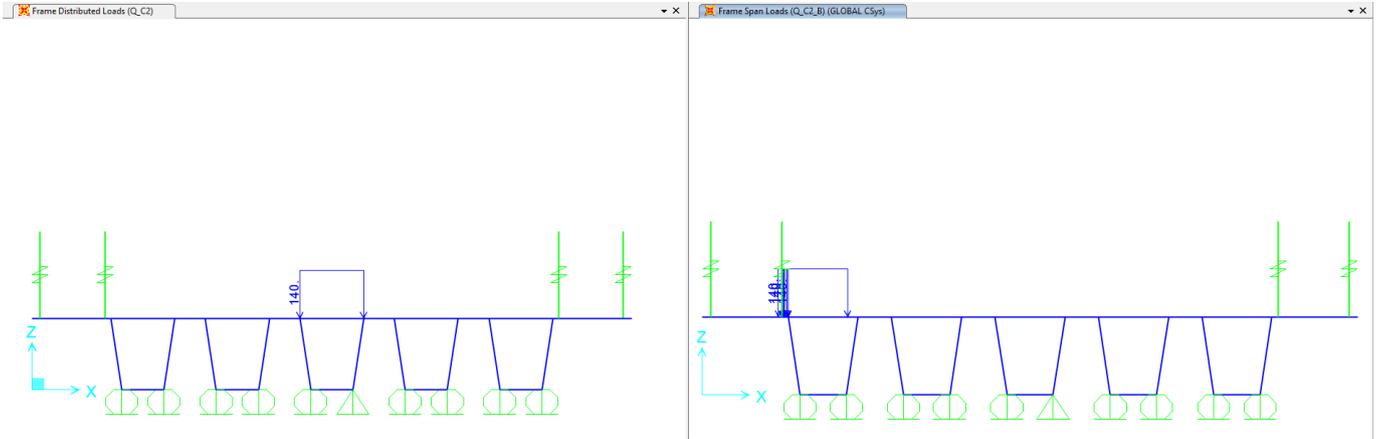


#### 9.1.3.4 Carichi Schema 2:

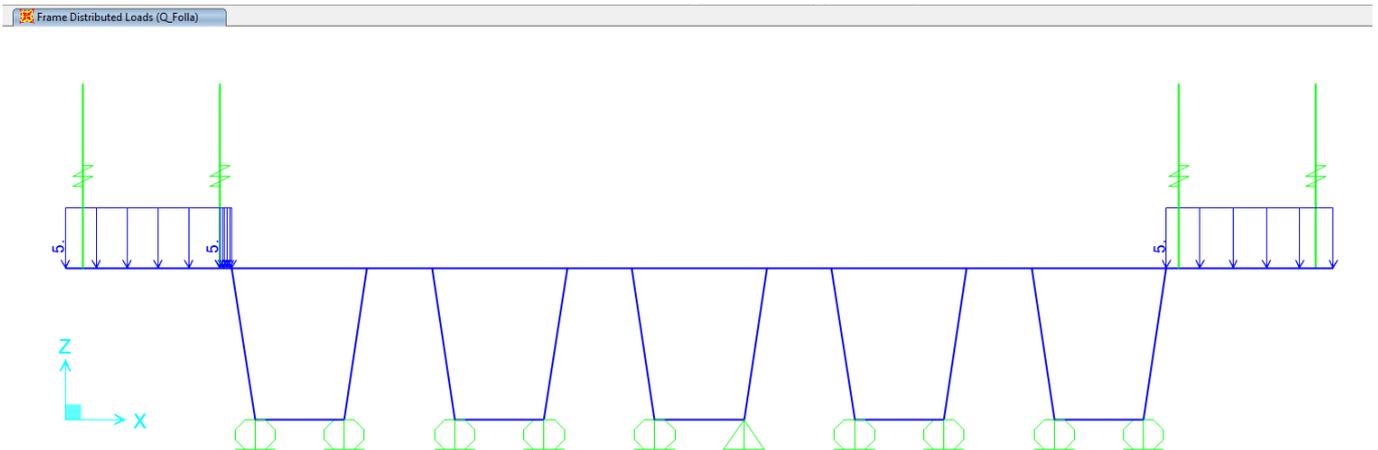
Al fine di ottenere le condizioni di carico più gravose, si è considerata pure la condizione di carico rappresentata dalla presenza del veicolo con ruota in mezzzeria della porzione di soletta compresa tra le due nervature del cassone e nella posizione più vicina allo sbalzo laterale:



$$Q_{C1} = Q_{C1\_B} = 200 / (1.34 \times 1.09) = 140 \text{ kN/m}^2$$



Il carico folla è uniformemente distribuito ripartito in superficie è pari a  $5.00 \text{ kN/m}^2$  su una larghezza di 1.85 m:

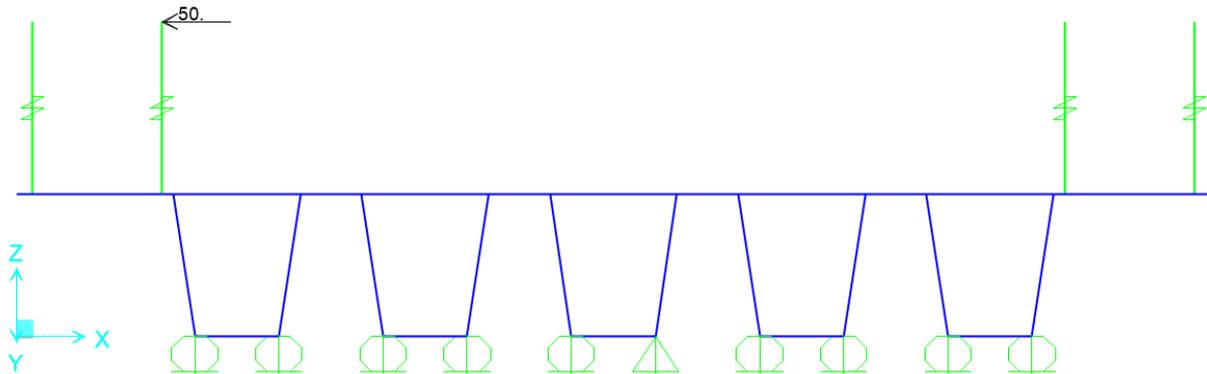




### 9.1.3.7 Urto dei veicoli in svio

I sicurvia e gli elementi strutturali a cui sono collegati devono essere dimensionati per una forza orizzontale trasversale non inferiore a 100 kN. Si ipotizza questa forza ripartita su 3 montanti del sicurvia posti ad una distanza di 1.5m e con una ripartizione 25 – 50 – 25. Quindi si applica una forza di 50 kN.

Joint Loads (Q\_Svio) (As Defined)

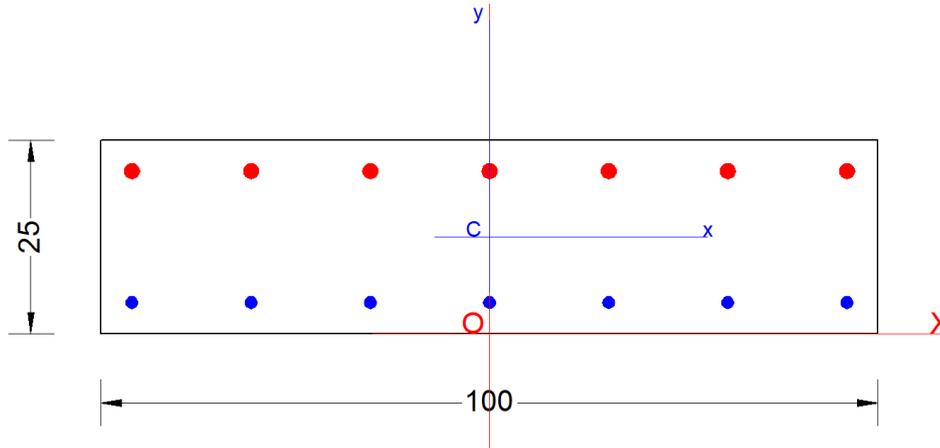


### 9.1.4 **Analisi dei risultati**

Di seguito si illustrano le sollecitazioni da involucro SLU :



### 9.2.1 Soletta



#### 9.2.1.1 Verifica armatura trasversale

Si riportano le verifiche dell'armatura trasversale della soletta.

La sezione più sollecitata risulta essere quella in corrispondenza dello sbalzo, viene verificata la sezione minore.

#### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: Slab\_Check.secEC

(File path: S:\Projects\18005\_0549D07\_Cesano Vigna di Valle\Work\01 Cavalcaferrovia\NV01\Report Superstructure\Calculations\Slab\_Check.secEC)

Section description:	
Reference code:	EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex
Exposure Class:	XC3 - Carbonation (Moderate humidity)
Structural member of belonging:	Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]
Section type:	Predefined section
Cross-section shape:	Rectangular
Stress path:	Constant axial force to achieve bending ULS
Reference of assigned forces:	Principal axes x,y of inertia

#### MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C30/37
	Design compressive strength $f_{cd}$ :	17.0 MPa
	Shear reduced compressive strength $v1*f_{cd}$ :	8.5 MPa (6.9)EC2
	Coeff. $\alpha_{ct}$ :	0.1200 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. $K_1$ :	0.1500 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. $\nu$ min:	0.0111 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2)
	Strain at max strength $\epsilon_{c2}$ :	0.0020
	Ultimate strain $\epsilon_{cu}$ :	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus $E_{cm}$ :	32836.6 MPa
	Mean tensile strength $f_{ctm}$ :	2.9 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	18.0 MPa

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	149 di 162

Stress limit Frequent SLS:	18.0	MPa
wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.400	mm
Coeff. k3:	3.4000	§ 7.3.4(3) EC2
Coeff. k4:	0.4250	§ 7.3.4(3) EC2
Stress limit Quasi-Permanent SLS:	13.5	MPa
wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.300	mm

STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C
	Characteristic yield stress fyk:	450.0 MPa
	Tensile strength ftk:	540.0 MPa
	Design yield stress fyd:	391.3 MPa
	Design strength ftd:	391.3 MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068
	Mean elastic modulus Es:	200000.0 MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	25.0	cm
Bottom bars:	7Ш16	(14.1 cm?)
Top bars:	7Ш20	(22.0 cm?)
Low Cover (from centroid of bar):	4.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	4.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	4.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section
VY	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y
T	Design torsional Moment [kN m]

Comb.N.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	-133.64	57.93	0.00
2	0.00	-20.84	135.03	0.00
3	0.00	27.13	52.40	0.00
4	0.00	27.13	2.23	0.00
5	0.00	-95.86	-151.49	0.00

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-45.60
2	0.00	21.00
3	0.00	-16.00

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N	Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)
Mx	Moment force [kNm] around x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	150 di 162

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-44.00
2	0.00	15.00
3	0.00	-11.40

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	0.00	-41.00
2	0.00	3.00

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars: 3.0 cm  
Min edge distance between longitudinal bars: 13.3 cm  
Min edge cover of stirrups: 3.0 cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check Result of check  
N Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)  
Mx Design bending moment force [kNm] around x axis of reference  
N ult Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)  
Mx ult Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference  
S.F. Safety factor = vectorial ratio of (N ult, Mx ult) to (N, Mx). Check OK if such ratio is >=1.0  
Yneutral Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system  
Mx sn. Yielding bending moment [kNm]  
x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section  
D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]  
As Tension Area bars in tension zone [cm?] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm?] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

Comb.N.	OK	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	Yneutral	Mx sn.	x/d	D	As Tension
1	OK	0.00	-133.64	0.25	-159.51	1.194	4.9	-153.82	---	---	---
2	OK	0.00	-20.84	0.25	-159.51	7.654	4.9	-153.82	---	---	---
3	OK	0.00	27.13	0.22	106.49	3.925	21.0	100.73	---	---	---
4	OK	0.00	27.13	0.22	106.49	3.925	21.0	100.73	---	---	---
5	OK	0.00	-95.86	0.25	-159.51	1.664	4.9	-153.82	---	---	---

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max Ultimate compressive strain in concrete  
ec\* Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec\*>0 then the section is all compressed)  
Yc max Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max  
es max Max strain in steel bars (+ if compressive)  
Ys max Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max  
es min Min strain in steel bars (+ if compressive)  
Ys min Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
---------	--------	------	--------	--------	--------	--------	--------

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	151 di 162

1	0.00350	-0.00413	0.0	0.00065	4.0	-0.01145	21.0
2	0.00350	-0.00413	0.0	0.00065	4.0	-0.01145	21.0
3	0.00350	-0.00588	25.0	0.00000	21.0	-0.01488	4.0
4	0.00350	-0.00588	25.0	0.00000	21.0	-0.01488	4.0
5	0.00350	-0.00413	0.0	0.00065	4.0	-0.01145	21.0

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Check	Result of Check
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	4.91	0.0	0.00	8.2	-115.2	4.0	5.6	561	22.0	15.3
2	OK	2.49	25.0	0.00	18.4	-81.6	21.0	6.1	613	14.1	15.3
3	OK	1.72	0.0	0.00	8.2	-40.4	4.0	5.6	561	22.0	15.3

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e3	Concrete tensile strain at the inner edge of the effective tension area
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= (e1 + e2)/(2*e1) [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
ll   c	Equivalent bar diameter [mm]   cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	e3	k2	ll   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00076	0	-0.00050	0.833	20 3.0	0.039	0.000345 (0.00035)	246	0.085	-40.22
2	OK	-0.00052	0	-0.00035	0.833	16 3.2	0.023	0.000245 (0.00024)	306	0.075	38.14
3	OK	-0.00027	0	-0.00018	0.833	20 3.0	0.039	0.000121 (0.00012)	246	0.030	-40.22

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	4.73	0.0	0.00	8.2	-111.1	4.0	5.6	561	22.0	15.3
2	OK	1.79	25.0	0.00	18.4	-58.3	21.0	6.1	613	14.1	15.3
3	OK	1.23	0.0	0.00	8.2	-28.8	4.0	5.6	561	22.0	15.3

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	152 di 162

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	e3	k2	$\lambda   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00073	0	-0.00049	0.833	20 3.0	0.039	0.000333 (0.00033)	246	0.082 (0.40)	-40.22
2	OK	-0.00037	0	-0.00025	0.833	16 3.2	0.023	0.000175 (0.00017)	306	0.054 (0.40)	38.14
3	OK	-0.00019	0	-0.00013	0.833	20 3.0	0.039	0.000086 (0.00009)	246	0.021 (0.40)	-40.22

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	4.41	0.0	0.00	8.2	-103.5	4.0	5.6	561	22.0	15.3
2	OK	0.36	25.0	0.00	18.4	-11.7	21.0	6.1	613	14.1	15.3

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	e3	k2	$\lambda   c$	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00068	0	-0.00045	0.833	20 3.0	0.039	0.000335 (0.00031)	246	0.082 (0.30)	-40.22
2	OK	-0.00007	0	-0.00005	0.833	16 3.2	0.023	0.000035 (0.00003)	306	0.011 (0.30)	38.14

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL (§ 7.3.2 EC2)**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	1.00	0.39	1200	---	---	---	-176.19	22.0	3.0
2	Frequent	Web	1.00	0.42	1300	---	---	---	-185.80	14.1	3.5
3	Frequent	Web	1.00	0.39	1200	---	---	---	-176.19	22.0	3.0
1	Quasi-perm.	Web	1.00	0.39	1200	---	---	---	-176.19	22.0	3.0
2	Quasi-perm.	Web	1.00	0.42	1300	---	---	---	-185.80	14.1	3.5

### 9.2.1.2 Verifica a taglio

Si riporta la verifica a taglio. La soletta viene verificata a taglio con le armature longitudinali (trasversali per l'impalcato)

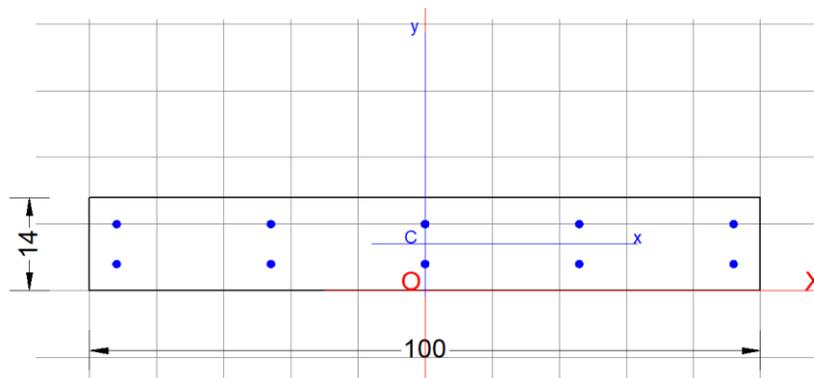
#### ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)

Check	Result of check
Ved	Design value [daN] of applied shear force $V_y$ (uniaxial shear)
Vwct	Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]
d	Effective depth of section [cm]
bw	Effective min width of the cross-section [cm]
Ro	Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement = $As_l/(bw d) < 0.02$
Scp	Mean compression stress $(NE_d/A_c)$ [Mpa] [ $< 0.2 f_{cd}$ ]
k	Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	57.93	157.11	21.0	100.0	0.0000	0.00	1.976
2	OK	135.03	157.11	21.0	100.0	0.0000	0.00	1.976
3	OK	52.40	135.40	21.0	100.0	0.0000	0.00	1.976
4	OK	2.23	135.40	21.0	100.0	0.0000	0.00	1.976
5	OK	-151.49	157.11	21.0	100.0	0.0000	0.00	1.976

### 9.2.2 Verifica nervature travi CAP

Calcolata l'armatura delle nervature nei confronti delle azioni di taglio dovute a comportamento globale dell'impalcato, si rende necessaria una ulteriore armatura per nei confronti delle azioni locali



#### GENERAL DATA OF PREDEFINED RC CROSS-SECTION

Section Name: girder\_shear\_rev1.secEC

(File path: S:\Projects\18005\_0549D07\_Cesano Vigna di Valle\Work\01 Cavalcaferrovia\NV01\Report Superstructure\Calculations\girder\_shear\_rev1.secEC)

Section description:

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	154 di 162

Reference code: EN 1992-1-1 [EC2] Italian Annex  
 Exposure Class: XC3 - Carbonation (Moderate humidity)  
 Structural member of belonging: Beam (or slab) without stirrup [§6.2.1(4) EC2]  
 Section type: Predefined section  
 Cross-section shape: Rectangular  
 Stress path: Constant axial force to achieve bending ULS  
 Reference of assigned forces: Principal axes x,y of inertia

**MATERIALS DATA**

CONCRETE -	Class:	C45/55
	Design compressive strength fcd:	25.5 MPa
	Shear reduced compressive strength v1* fcd:	12.8 MPa (6.9)EC2
	Coeff. Crd,c:	0.1200 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. K1:	0.1500 § 6.2.2(1) EC2
	Coeff. v min:	0.0136 Mpa (§ 6.2.2(1) EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020
	Ultimate strain ecu:	0.0035
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rectangle
	Mean elastic modulus Ecm:	36283.2 MPa
	Mean tensile strength fctm:	3.8 MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00
	Stress limit Characteristic SLS:	27.0 MPa
	Stress limit Frequent SLS:	27.0 MPa
	wk lim =limit crack width Frequent SLS:	0.400 mm
	Coeff. k3:	3.4000 § 7.3.4(3) EC2
	Coeff. k4:	0.4250 § 7.3.4(3) EC2
	Stress limit Quasi-Permanent SLS:	20.3 MPa
	wk lim =limit crack-width Quasi-Permanent SLS:	0.300 mm
	STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:
Characteristic yield stress fyk:		450.0 MPa
Tensile strength ftk:		540.0 MPa
Design yield stress fyd:		391.3 MPa
Design strength ftd:		391.3 MPa
Design ultimate strain esu:		0.068
Mean elastic modulus Es:		200000.0 MPa
SLS Charact. - Ss Limit:		360.00 MPa

**GEOMETRIC AND REINFORCEMENT DATA**

Width:	100.0	cm
Depth:	14.0	cm
Bottom bars:	5∅12	(5.7 cm?)
Top bars:	5∅12	(5.7 cm?)
Low Cover (from centroid of bar):	4.0	cm
Top Cover (from centroid of bar):	4.0	cm
Web Cover (from centroid of bar):	4.0	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - DESIGN INTERNAL FORCES ASSIGNED FOR EACH COMBINATION**

N	Design axial force [kN] applied in the concrete centroidal point (+ if compressive)
Mx	Design moment force [kNm] around the x axis with positive direction if such as to compress the upper edge of the section
Vy	Design shear [kN] in a direction parallel to the axis Y
T	Design torsional Moment [kN m]

Comb.N.      N                      Mx                      Vy                      MT

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	155 di 162

1	152.00	-17.01	-30.52	0.00
2	40.69	21.02	-30.52	0.00
3	32.52	-17.21	22.14	0.00
4	148.37	1.99	-1.43	0.00
5	122.18	-16.76	-26.69	0.00

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	111.58	5.87
2	27.81	14.15
3	101.34	-3.82
4	108.46	2.33
5	91.18	-11.63
6	-5.69	-14.02

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - FREQUENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	82.07	1.04
2	72.64	9.30
3	78.56	-2.97
4	79.40	4.88
5	75.08	-5.57
6	75.08	-5.57

**SERVICEABILITY LIMIT STATE - QUASI-PERMANENT COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION**

N Axial force [kN] applied in the concrete centroidal (+ if compressive)  
Mx Moment force [kNm] around x axis  
with positive direction if such as to compress the upper edge of the section

Comb.N.	N	Mx
1	8.76	0.45
2	11.20	-0.83

**CHECKS RESULTS**

**Checks of section OK for all assigned combinations**

Min edge cover of longitudinal bars:	3.4	cm
Min edge distance between longitudinal bars:	4.8	cm
Min edge cover of strirrups:	3.4	cm

**ULTIMATE LIMIT STATE - CHECKS FOR BENDING AND AXIAL FORCE**

Check	Result of check
N	Design axial force applied in the concrete centroid [kN] (+ if compressive)
Mx	Design bending moment force [kNm] around x axis of reference

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	156 di 162

N ult	Axial capacity [kN] of section (+ if compressive)
Mx ult	Bending moment capacity [kNm] around x axis of reference
S.F.	Safety factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult) to (N,Mx). Check OK if such ratio is >=1.0
Yneutral	Ordinate Y [cm] of neutral axis in the reference system
Mx sn.	Yielding bending moment [kNm]
x/d	Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D	Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [(5.10)EC2]
As Tension	Area bars in tension zone [cm <sup>2</sup> ] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

As Tension Area bars in tension zone [cm<sup>2</sup>] (beam). [Between brackets is shown the min. area from eq.(9.1N) EC2]

1	OK	152.00	-17.01	151.92	-33.88	1.992	2.7	-28.59	---	---	---
2	OK	40.69	21.02	40.50	29.08	1.384	11.7	23.01	---	---	---
3	OK	32.52	-17.21	32.65	-28.69	1.667	2.3	-22.59	---	---	---
4	OK	148.37	1.99	148.18	33.74	16.973	11.3	28.40	---	---	---
5	OK	122.18	-16.76	122.24	-32.76	1.955	2.6	-27.13	---	---	---

**ULTIMATE LIMIT STATE - STRAINS AT ULTIMATE STATE**

ec max	Ultimate compressive strain in concrete
ec*	Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Yc max	Ordinate in [cm] of the fiber corresponding to ec max
es max	Max strain in steel bars (+ if compressive)
Ys max	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es max
es min	Min strain in steel bars (+ if compressive)
Ys min	Ordinate [cm] of the bar corresponding to es min

Comb.N.	ec max	ec *	Yc max	es max	Ys max	es min	Ys min
1	0.00350	-0.00420	0.0	-0.00163	4.0	-0.00934	10.0
2	0.00350	-0.00547	14.0	-0.00248	10.0	-0.01144	4.0
3	0.00350	-0.00558	0.0	-0.00255	4.0	-0.01163	10.0
4	0.00350	-0.00423	14.0	-0.00165	10.0	-0.00939	4.0
5	0.00350	-0.00444	0.0	-0.00179	4.0	-0.00973	10.0

**ULTIMATE LIMIT STATE - SHEAR CHECKS WITH NO TRANSVERSE REINFORCEMENT (§ 6.2.2 EC2)**

Check	Result of check
Ved	Design value [daN] of applied shear force Vy (uniaxial shear)
Vwct	Design shear resistance [kN] without shear reinforcement [eq.(6.2)EC2]
d	Effective depth of section [cm]
bw	Effective min width of the cross-section [cm]
Ro	Geometrical ratio of longitudinal tension longitudinal reinforcement = Asl/(bw d)[<0.02]
Scp	Mean compression stress (NEd/Ac)[Mpa] [< 0.2 fcd]
k	Coeff. k in the equation (6.2.a) EC2

Comb.N.	Check	Ved	Vwct	d	bw	Ro	Scp	k
1	OK	-30.52	86.88	10.0	100.0	0.0000	0.11	2.000
2	OK	-30.52	74.95	10.0	100.0	0.0000	0.03	2.000
3	OK	22.14	74.08	10.0	100.0	0.0000	0.02	2.000
4	OK	-1.43	86.49	10.0	100.0	0.0000	0.11	2.000
5	OK	-26.69	83.68	10.0	100.0	0.0000	0.09	2.000

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION (§ 7.2 EC2)**

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	157 di 162

Check	Result of Check
Sc max	Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]
Yc max	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Sc min	Min compression stress (+) in concrete [Mpa]
Yc min	y-coordinate [cm] of concrete fiber corresponding to Sc min (reference X,Y,O)
Ss min	Min tension stress (-) of steel bars [Mpa]
Ys min	y-coordinate [cm] of centroid bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
hc eff.	Concrete depth [cm] in concrete tension area surrounding tension steel bars
Ac eff	Effective tension area [cm <sup>2</sup> ] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff	Area of tension steel bars [cm <sup>2</sup> ] within Ac eff (for crack width control)
D bars	Mean spacing [cm] of bonded reinforcement [eq.(7.11) §7.3.4(3)EC2] (D bars = 0 indicates spacing > 5(c+O/2) and eq.(7.14) is pertinent)

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	3.17	14.0	0.00	7.0	-20.0	10.0	2.3	232	5.7	0.0
2	OK	9.59	14.0	0.00	10.3	-248.6	10.0	3.4	344	5.7	0.0
3	OK	1.92	0.0	0.00	9.6	-1.2	4.0	1.5	146	5.7	0.0
4	OK	1.36	14.0	0.02	0.0	6.1	10.0	0.0	0	0.0	0.0
5	OK	7.42	0.0	0.00	4.4	-140.0	4.0	3.2	319	5.7	0.0
6	OK	9.68	0.0	0.00	3.4	-278.6	4.0	3.5	353	5.7	0.0

**SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain (tension is -) within the entire section assessed in cracked section
e3	Concrete tensile strain at the inner edge of the effective tension area
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for charact. and frequent SLS; = 0.4 for quasi-perm. SLS (Factor dependent on the duration of the load [see eq.(7.9) EC2])
k2	= (e1 + e2)/(2*e1) [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) EC2 according to national annex
ll   c	Equivalent bar diameter [mm] cover [cm] to the tensile reinforcement [see eq.(7.11)(7.12) EC2]
r eff	Geometrical ratio As eff/Ac eff [eq.(7.10) EC2]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete under the relevant combination [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm)[eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
M crack	First cracking bending moment [kNm]

Comb.N.	Check	e1	e2	e3	k2	ll   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00024	0	-0.00016	0.833	12 3.4	0.024	0.000060 (0.00006)	91	0.005	22.88
2	OK	-0.00203	0	-0.00135	0.833	12 3.4	0.016	0.000746 (0.00075)	134	0.100	13.83
3	OK	-0.00007	0	-0.00004	0.833	12 3.4	0.039	0.000004 (0.00000)	57	0.000	-32.20
4	OK	0.00000	0	---	---	---	---	---	---	---	0.00
5	OK	-0.00120	0	-0.00080	0.833	12 3.4	0.018	0.000420 (0.00042)	124	0.052	-16.01
6	OK	-0.00224	0	-0.00149	0.833	12 3.4	0.016	0.000836 (0.00084)	137	0.115	-13.11

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.82	14.0	0.23	0.0	5.9	10.0	0.0	319	0.0	0.0
2	OK	5.93	14.0	0.00	9.6	-112.2	10.0	3.2	319	5.7	0.0
3	OK	1.50	0.0	0.00	9.6	-1.0	4.0	1.5	148	5.7	0.0
4	OK	2.75	14.0	0.00	7.8	-25.2	10.0	2.6	260	5.7	0.0
5	OK	3.27	0.0	0.00	5.6	-40.1	4.0	2.8	283	5.7	0.0
6	OK	3.27	0.0	0.00	5.6	-40.1	4.0	2.8	283	5.7	0.0

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	158 di 162

**SLS FREQUENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	e3	k2	W   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	0.00002	0		---	---	---	---	---	---	0.00
2	OK	-0.00096	0	-0.00064	0.833	12 3.4	0.018	0.000336 (0.00034)	124	0.042 (0.40)	16.00
3	OK	-0.00005	0	-0.00003	0.833	12 3.4	0.038	0.000003 (0.00000)	58	0.000 (0.40)	-32.00
4	OK	-0.00026	0	-0.00017	0.833	12 3.4	0.022	0.000076 (0.00008)	101	0.008 (0.40)	20.70
5	OK	-0.00038	0	-0.00025	0.833	12 3.4	0.020	0.000120 (0.00012)	110	0.013 (0.40)	-18.88
6	OK	-0.00038	0	-0.00025	0.833	12 3.4	0.020	0.000120 (0.00012)	110	0.013 (0.40)	-18.88

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]**

Comb.N.	Check	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Ss min	Ys min	hc eff	Ac eff	As Eff	D bars
1	OK	0.24	14.0	0.00	6.8	-1.5	10.0	2.3	229	5.7	0.0
2	OK	0.48	0.0	0.00	5.6	-5.9	4.0	2.8	282	5.7	0.0

**SLS QUASI-PERMANENT COMBINATIONS - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]**

Comb.N.	Check	e1	e2	e3	k2	W   c	r eff	e sm - e cm	sr max	wk	M crack
1	OK	-0.00002	0	-0.00001	0.833	12 3.4	0.025	0.000004 (0.00000)	89	0.000 (0.30)	23.17
2	OK	-0.00006	0	-0.00004	0.833	12 3.4	0.020	0.000018 (0.00002)	110	0.002 (0.30)	-18.93

**SLS - MINIMUM REINFORCEMENT AREAS FOR CRACK CONTROL [§ 7.3.2 EC2]**

N.Comb.	SLS combination number
Comb.Type	Frequent or Quasi-Permanent
Region	Part of concrete section under consideration (Web/Flange)
k	Coeff. wich take account of self-equilibrating stresses [see eq.(7.1) EC2]
kc	Coeff. wich take account of stress distribution at cracking[see eq.(7.1) EC2]
Ac eff	Area of concrete within tensile zone of the region under consideration just before cracking [(7.1)]
Ned	SLS axial force (+ if compressive) acting on the region under consideration [kN]
Sc	=Ned/Ac mean stress in the region of area Ac (web or rectangular section) [eq.(7.1)]
Fcr	Absolute value of the tensile force [kN] within the flange at cracking due to the cracking moment [eq.(7.3)]
k1	Coeff. considering the effect of axial forces on the stress (web or rectangular section) [eq.(7.2)]
As reg	Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration
As min	Minimum Area [cm <sup>2</sup> ] of reinforcing steel within the tensile zone of region under consideration required by eq. (7.1)

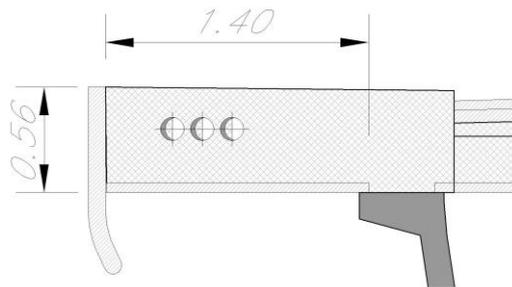
Comb.N.	Comb.Type	Region	k	kc	Ac eff	Ned	Sc	k1	Frc	As reg	As min
1	Frequent	Web	1.00	0.34	0	---	---	---	0.00	0.0	0.0
2	Frequent	Web	1.00	0.34	600	---	---	---	-109.65	5.7	1.7
3	Frequent	Web	1.00	0.02	300	---	---	---	-54.83	5.7	0.1
4	Frequent	Web	1.00	0.25	450	---	---	---	-84.89	5.7	0.9
5	Frequent	Web	1.00	0.29	500	---	---	---	-93.02	5.7	1.2
6	Frequent	Web	1.00	0.29	500	---	---	---	-93.02	5.7	1.2
1	Quasi-perm.	Web	1.00	0.20	400	---	---	---	-75.82	5.7	0.7
2	Quasi-perm.	Web	1.00	0.28	500	---	---	---	-92.74	5.7	1.2

L'incremento di armatura necessario nei confronti delle azioni locali nelle nervature è pari a 1130 mmq/m.

Dalle analisi locali si rendono necessari ferri  $\Phi 12/250\text{mm}$ .

### 9.2.3 Verifica predalles in fase di getto

Si riportano le verifiche delle predalles in fase di getto. In particolare si analizza l'elemento in corrispondenza dello sbalzo laterale, che lavorando a mensola risulta essere il più sollecitato avendo anche la luce maggiore.



I dati geometrici impiegati sono i seguenti:

Getto soletta a sbalzo		
L	1.4 m	Luce sbalzo
$P_{veletta}$	2.5 kN/veletta	
$S_{marciapiede}$	0.56 m	spessore sbalzo
$\gamma_{calc.}$	25 kN/	Peso proprio calcestruzzo
$Q_{acc}$	1 kN/	carico operai e macchine
$M_{max}$	24.72 kNm	momento massimo per m
$V_{max}$	31.94 kN/	Taglio massimo

Quindi le verifiche sul traliccio a filo della fine della predalla in CA.

**Relazione di calcolo impalcato**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NR1J	01 D 29	CL	IV0107001	B	160 di 162

**Dati della sezione della predalla:**

$R_{ck}$		37 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$		5 cm spessore lastra
$i_{tr}$		30 cm interasse tralicci
$h_{tr}$		14 cm h traliccio (interasse correnti)
$b_{tr}$		11 cm distanza correnti inf. Singolo traliccio
$p_d$		20 cm passo diagonali traliccio
$L_{predalla}$		120 cm larghezza predalla
$\phi$	$n^\circ$	$p.(cm)$ $A_s [mm^2]$
	12	2 30 226 correnti inferiori
	14	1 30 154 corrente superiore
	8	1 20 50 diagonale traliccio
	14	1 40 154 Armatura aggiuntiva

**Verifica in fase di getto**

$M_{ed} =$	29.66 kNm	=>	$M^* =$	7.42 kNm
$V_{ed} =$	38.32 kN	=>	$V^* =$	9.58 kN

**Verifica di stabilità dei correnti inferiori compressi**

$N_s = M^*/h_{tr} =$	52.97 kN	
$\beta =$	1	
$l = \phi/4$	0.35 cm	
$L_0 = p_d =$	20 cm	
$\lambda = \beta L_0 / i$	57	
$\omega(\lambda)$	1.41 (DIN 4114)	
$\sigma_s = \omega N_s / A_s =$	330.16 N/mm <sup>2</sup>	< 373.9 N/mm <sup>2</sup>

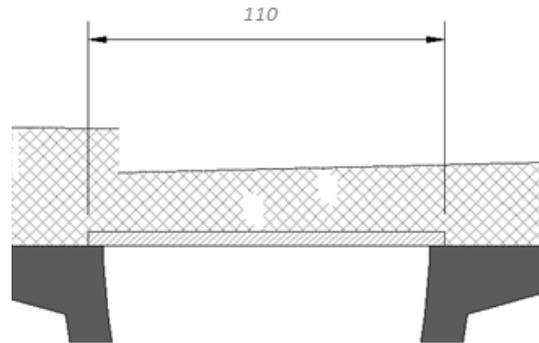
**Verifica di resistenza del corrente superiore teso**

$N_i = M^*/h_{tr} =$	52.97 kN	
$\sigma_t = N_i / A_t =$	344.07 N/mm <sup>2</sup>	< 373.9 N/mm <sup>2</sup>

**Verifica di stabilità della diagonale compressa**

$L_d = [h_{tr}^2 + (b_{tr}/2)^2 + (p_d/2)^2]^{1/2} =$	18.06 cm	
$\cos \alpha = h_{tr} / L_d$	0.775 rad	
$N_d = V / (2 \cos \alpha) =$	6.18 kN/m	
$L_0 = L_d =$	18.06 cm	
$\beta =$	1	
$l = \phi/4$	0.2 cm	
$\lambda = \beta L_0 / i$	90	
$\omega(\lambda)$	2.53 (DIN 4114)	
$\sigma_d = \omega N_d / A_d =$	311.07 N/mm <sup>2</sup>	< 373.9 N/mm <sup>2</sup>

Per la verifica degli elementi comprese tra le nervature dei cassoncini



**Getto tra i cassoncini**

L	1.1	m	luce sbalzo
$I_{predalles}$	1.2	m	larghezza veletta
$S_{soletta}$	0.48	m	spessore sbalzo
$Q_{acc}$	1	kN/mq	carico operai e macchine

$M_{max}$	2.36	kNm	momento massimo
$V_{max}$	8.58	kN	Taglio massimo

**Dati della sezione della predalla:**

$R_{ck} =$	<b>37.0</b>	N/mm <sup>2</sup>	
$s_l =$	<b>5.0</b>	cm	spessore lastra
$i_{tr} =$	<b>40.0</b>	cm	interasse tralicci
$h_{tr} =$	<b>14.0</b>	cm	h traliccio (interasse correnti)
$b_{tr} =$	<b>11.0</b>	cm	distanza correnti inf. singolo traliccio
$p_d =$	<b>20.0</b>	cm	passo diagonali traliccio
$L_{predalla} =$	<b>120.0</b>	cm	larghezza predalla
$\phi$	n°	p.(cm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )
<b>8</b>	2	40.00	101 correnti inferiori
<b>12</b>	1	40.00	113 corrente superiore
<b>6</b>	1	20.00	28 diagonale traliccio
<b>0</b>	0	40.00	0 Armatura aggiuntiva
$c =$	2.0	cm	copriferro al lembo inferiore

**Verifica in fase di getto**

$M = 2.36$  KNm/m       $M^* = 0.79$  KNm/tr

**Verifica di stabilità del corrente superiore compresso**

$N_s = M^*/h_{tr} = 5.62$  KN  
 $\beta = 1.00$        $\lambda = \beta L_0/i = 67$   
 $i = \phi/4 = 0.30$  cm  
 $L_0 = p_d = 20.00$  cm       $\omega(\lambda) = 1.58$  DIN 4114  
 $\sigma_s = \omega N_s/A_s = 78.48$  N/mm<sup>2</sup>      **< 373.9** N/mm<sup>2</sup>

**Verifica di resistenza dei correnti inferiori tesi**

$N_i = M^*/h_{tr} = 5.62$  KN/tr  
 $\sigma_i = N_i/A_i = 55.88$  N/mm<sup>2</sup>      **< 373.9** N/mm<sup>2</sup>

**10 INCIDENZE**

Si riepilogano le armature degli elementi strutturali : travi c.a.p. , trasversi c.a.p. e soletta in cls e le relative incidenze:

Incidenze elementi strutturali				
	Armatura da precompressione	Incidenza [kg/m3]	Armatura lenta	Incidenza [[kg/m3]
Travi in c.a.p.	44/32 trefoli 0.6"	60	40 $\phi$ 10/20 long $\phi$ 16/15 staffe $\phi$ 12/25 staffe	165
Traversi in c.a.p	7 + 7 trefoli 0.6"	30		165
Soletta cls	-	-	7 $\phi$ 20 7 $\phi$ 16	95