

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

**ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE**

**2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA TRENO**

### OPERE DI ATTRAVERSAMENTO

**IN02 - Rio Lusso**

**Relazione di calcolo scatolare**

SCALA:

-

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


IV0H 02 D 26 CL IN0200 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	C. Soave	Febbraio 2022	M. Andreani	Febbraio 2022	G. Fadda	Febbraio 2022	A. Perego Febbraio 2022



File: IV0H02D26CLIN020001A.doc

n. Elab.: 42

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b></p> <p><b>IN02 – Rio Lusso</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>IN0200 001</td> <td>A</td> <td>2 DI 54</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	2 DI 54
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	2 DI 54								

## Sommario

1	Scopo del Documento .....	4
2	Normativa di Riferimento .....	5
2.1	Elaborati di riferimento .....	5
3	Caratteristiche dei Materiali .....	6
3.1	Calcestruzzo Strutture .....	6
3.2	Calcestruzzo Magrone .....	7
3.3	Acciaio da c.a. ....	7
4	Descrizione dell'opera.....	8
5	Caratterizzazione Geotecnica.....	10
6	Modellazione della Struttura .....	11
7	Analisi dei Carichi.....	14
7.1	Peso Proprio degli Elementi Strutturali .....	14
7.2	Carichi Permanenti Non Strutturali .....	14
7.3	Pressione del terreno a tergo del muro (SPTSX, SPTDX) .....	15
7.4	Pressione idrostatica (SPIDRO) .....	16
7.5	Azioni verticali dovute al carico ferroviario.....	17
7.5.1	Condizione accidentale verticale.....	17
7.5.2	Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (SPACCSX, SPACCDX) .....	19
7.5.3	Frenatura e avviamento .....	20
7.6	Variazione termica.....	20
7.7	Ritiro.....	20
7.8	Azione Sismica.....	22
7.8.1	Forze sismiche agenti sulla struttura .....	26
7.8.2	Spinta sismica del terreno (SPSDX, SPSSX).....	27
	Combinazioni di Carico .....	28
8	Sollecitazioni.....	31
8.1	Combinazione SLU .....	31
8.2	Combinazione SLV .....	32
8.3	Combinazione SLE Rara .....	33
8.4	Combinazione SLE Quasi Permanente.....	34
9	Verifiche strutturali .....	35
9.1	Metodi di verifica .....	35
9.2	Verifica soletta superiore.....	36



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO**  
**IN02 – Rio Lusso**

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	3 DI 54

9.2.1	Verifica SLU a Flessione .....	36
9.2.2	Verifica SLU a Taglio.....	37
9.2.3	Verifica SLE - Tensione.....	39
9.2.4	Verifica SLE - Fessurazione .....	40
9.3	Verifica piedritti .....	42
9.3.1	Verifica SLU a Flessione. ....	42
9.3.2	Verifica SLU a Taglio.....	43
9.3.3	Verifica SLE - Tensione.....	45
9.3.4	Verifica SLE - Fessurazione .....	47
9.4	Verifica soletta inferiore.....	48
9.4.1	Verifica SLU a Flessione. ....	48
9.4.2	Verifica SLU a Taglio.....	49
9.4.3	Verifica SLE - Tensione.....	51
9.4.4	Verifica SLE - Fessurazione .....	53
10	Conclusioni .....	54

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 4 DI 54


## 1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento si colloca all'interno delle opere di Progettazione Definitiva relative agli interventi previsti per l'adeguamento ed il potenziamento dell'impianto in zona industriale di Vado Ligure.

La presente relazione di calcolo ha come oggetto il dimensionamento e le verifiche strutturali dell'opera di attraversamento IN02 del Rio Lusso relativo alla Seconda Fase del progetto di adeguamento e potenziamento dell'impianto di Vado Ligure.

Nel seguito, dopo una breve descrizione dell'opera, si analizzano le azioni gravanti sulla struttura e si determinano le massime sollecitazioni per le verifiche dei singoli elementi.

Le analisi sono state svolte in accordo al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", nel seguito indicato con NTC 2018. Le verifiche strutturali sono state svolte con il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A	FOGLIO 5 DI 54

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore e nel seguito elencate:

- D.M. Min. delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP - Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- UNI EN 206:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI EN 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione. prestazione. produzione e conformità - Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206;
- UNI EN 1992-1-1:2015 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- RFI DTC SI MA IFS 001 E – Manuale di progettazione delle opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 E – Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili.

### 2.1 Elaborati di riferimento

- IV0H02D26BAIN0200001A – Pianta e sezione longitudinale
- IV0H02D26BAIN020A001A –Sezioni e particolari costruttivi

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dei materiali da costruzione utilizzati per la realizzazione dell'opera.

#### 3.1 Calcestruzzo Strutture

Per la realizzazione dei cassettoni si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C40/50 ( $R_{ck} \geq 50 \text{ N/mm}^2$ ), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cilindrica)  $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione  $\rightarrow \text{XA1}$  (condizione ambiental aggressiva)
- Resistenza Media a Compressione  $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 48 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico  $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 35.220 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza  $\rightarrow \gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione  $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 22,67 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media  $\rightarrow f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 3,51 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione  $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 3,51 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo  $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,64 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_c = 0,55 \times f_{ck} = 22 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente)  $\rightarrow \sigma_c = 0,40 \times f_{ck} = 16 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza  $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} = 5,53 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo  $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3,68 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura  $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

Per gli elementi strutturali si assume un copriferro di 40 mm (valutato al netto della staffa).

Per quanto riguarda la scelta degli stati limiti di fessurazione, si fa riferimento a quanto riportato al paragrafo 2.5.1.8.3.2.4 del MdP, il quale impone che per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili, come nel caso in esame, il limite da adottare per la verifica sia  $\delta_f \leq w_3 = 0,2 \text{ mm}$  in Combinazione Rara.

 <b>ITALFERR</b> <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>												
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>IN0200 001</td> <td>A</td> <td>7 DI 54</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	7 DI 54
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	7 DI 54								

### 3.2 Calcestruzzo Magrone

Per la realizzazione dei cassettoni si prevede l'utilizzo di calcestruzzo avente classe di resistenza C12/15 ( $R_{ck} \geq 15 \text{ N/mm}^2$ ), che presenta le seguenti caratteristiche:

- Resistenza Caratteristica a Compressione (Cilindrica)  $\rightarrow f_{ck} = 0,83 \times R_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$
- Classe di Esposizione  $\rightarrow X0$  (condizione ambientale ordinaria)
- Resistenza Media a Compressione  $\rightarrow f_{cm} = f_{ck} + 8 = 20 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico  $\rightarrow E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0,3} = 27.085 \text{ N/mm}^2$
- Coefficiente di Sicurezza  $\rightarrow \gamma_c = 1,5$
- Resistenza di Calcolo a Compressione  $\rightarrow f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 6,80 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione Media  $\rightarrow f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{2/3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione  $\rightarrow f_{ctk} = 0,7 \times f_{ctm} = 1,10 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione di Calcolo  $\rightarrow f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 0,73 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_c = 0,55 \times f_{ck} = 6,60 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Compressione (Comb. Quasi Permanente)  $\rightarrow \sigma_c = 0,40 \times f_{ck} = 4,80 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza  $\rightarrow f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk} = 2,48 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo  $\rightarrow f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 1,65 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione Ultima a Rottura  $\rightarrow \epsilon_{cu} = 0,0035$

### 3.3 Acciaio da c.a.

Barre B450C

- Tensione di snervamento caratteristica  $\rightarrow f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica a rottura  $\rightarrow f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Fattore di sicurezza acciaio  $\rightarrow \gamma_s = 1,15$
- Resistenza a trazione di calcolo  $\rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a Trazione (Comb. Rara)  $\rightarrow \sigma_s = 0,75 \times f_{yk} = 337,5 \text{ N/mm}^2$
- Modulo Elastico  $\rightarrow E_a = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Deformazione di Snervamento di Progetto  $\rightarrow \epsilon_{yd} = 0,0019$
- Densità  $\rightarrow \rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

#### 4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

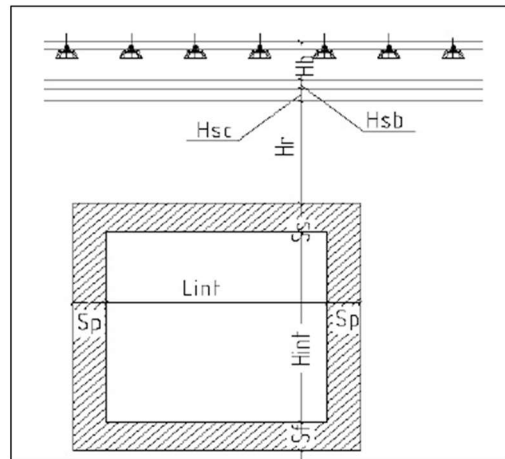
Nell'ambito degli interventi di adeguamento e di potenziamento dell'impianto in zona industriale di Vado Ligure è prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso ciclopedonale.

L'opera consiste in uno scatolare in c.a. prefabbricato caratterizzato da una sezione trasversale retta con una luce interna  $L_{int}$  di 4,00 m ed un'altezza netta  $H_{int}$  di 3,00 m; lo spessore della platea di fondazione  $S_f$  è di 0,35 m, come lo spessore della soletta di copertura  $S_s$  e dei piedritti  $S_p$ .

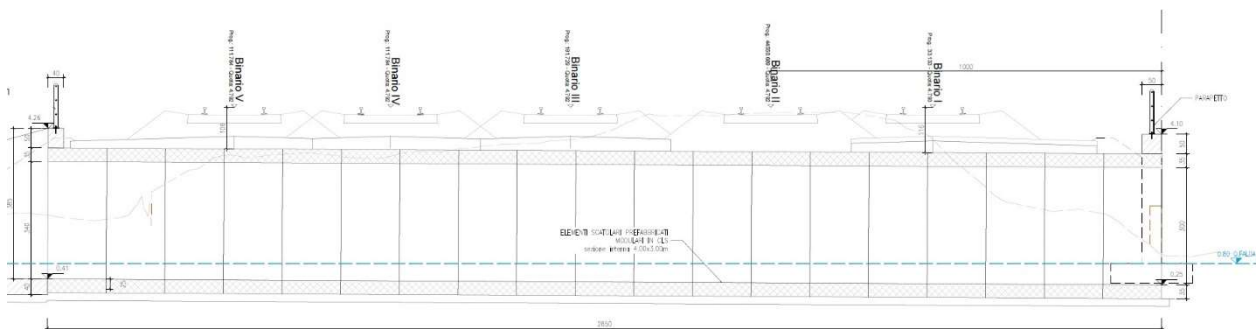
Segue una tabella riepilogativa delle caratteristiche geometriche:

##### Caratteristiche geometriche strutturali

$H_b$	0,8 m	Spessore medio ballast e armamento
$H_{tb}$	0,35 m	Spessore traversina e rotaie
$H_{sb}$	0 m	Spessore del sub ballast
$H_{sc}$	0 m	Spessore dello sperpompato
$H_r$	0 m	Spessore del rinterro
$L_{tot}$	4,7 m	Larghezza totale del sottopasso
$L_{int}$	4 m	Larghezza utile del sottopasso
$S_s$	0,35 m	Spessore soletta superiore
$S_p$	0,35 m	Spessore piedritti
$S_f$	0,35 m	Spessore platea di fondazione
$H_{litn}$	3 m	Altezza libera del sottopasso
$H_{tot}$	3,7 m	Altezza totale del sottopasso
$b$	1 m	Larghezza striscia di carico

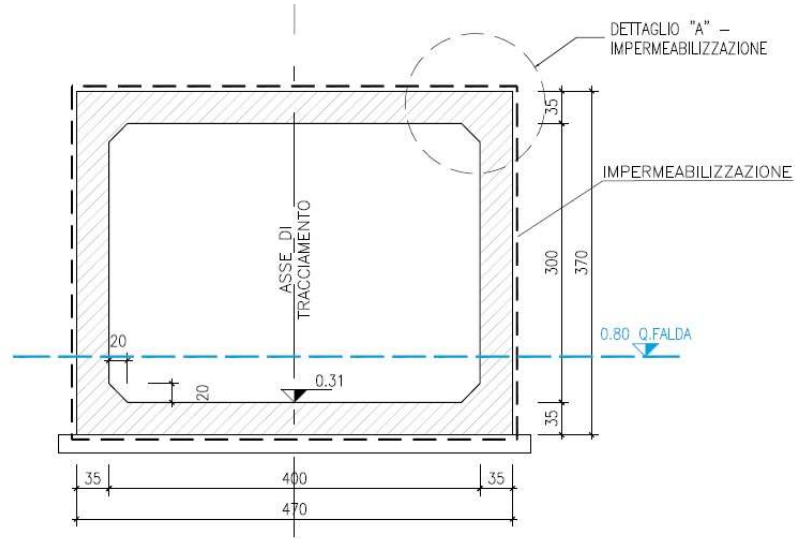


Di seguito si riporta una sezione trasversale e longitudinale dell'opera:

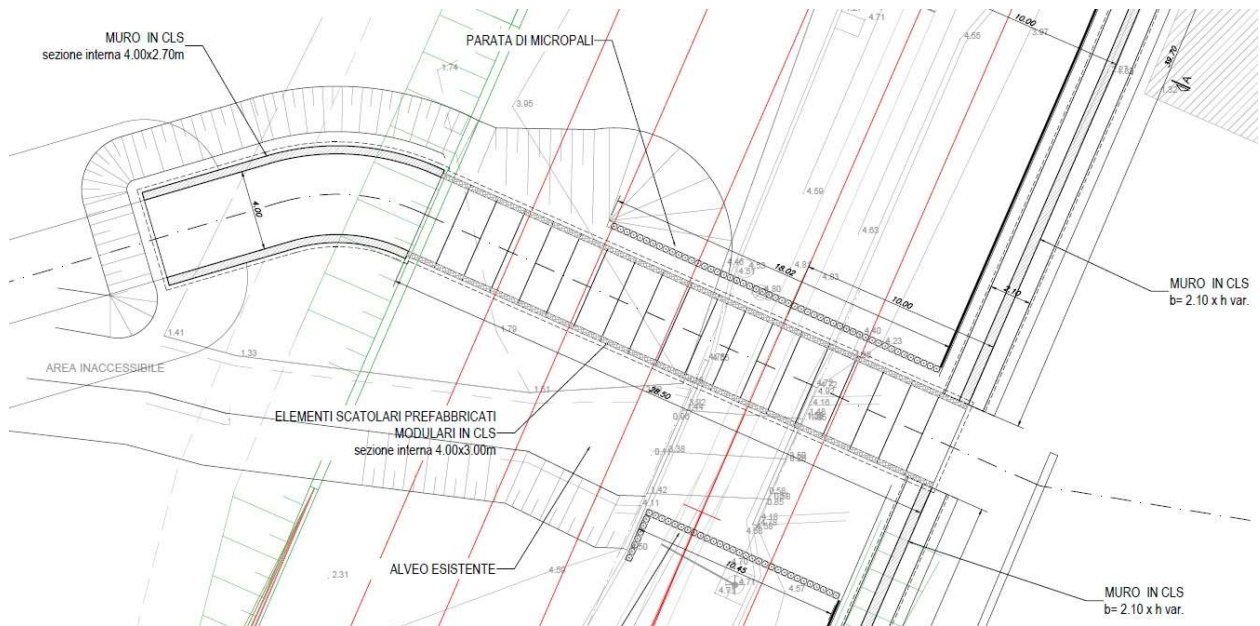


**Figura 4.1** – Sezione longitudinale scatolare IN02






**Figura 4.2 – Sezione trasversale scatolare IN02**



**Figura 4.3 – Pianta scatolare IN02**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL	IN0200 001	REV. A

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In accordo con le analisi geotecniche effettuate nell'area oggetto di intervento si riportano i parametri geotecnici di progetto dei terreni interessati:

Unità	Descrizione	Tipo di terreno	z iniziale (m da p.c.)	z finale (m da p.c.)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$ (°)	c' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico E <sub>op</sub> (MPa)	Modulo non drenato E <sub>u</sub> (MPa)	K media (m/s)
R	Ripporto antropico	GG	0	2	2	18	-	-	-	-	-	-	-
1a	Limo con sabbia debolmente argilloso, talvolta ghiaioso da poco a mediamente addensato	GG	2	8.5	6.5	18	40-50	28-30	-	-	10-30	-	1.13E-04
1b	Limo sabbioso, talvolta argilloso mediamente addensato	GF	8.5	30	21.5	18	-	28-30	0	80-90	40	60-70	-

Figura 5.1 - Modello geotecnico ai fini dell'analisi di progetto


La fondazione dell'opera si trova poggiante in uno strato di limo con sabbia debolmente argilloso, talvolta ghiaioso, con stato di addensamento variabile, caratterizzato dalle proprietà presenti nella tabella sopraportate.

Lateralmente, invece, risulta confinata da un terreno di ricoprimento le cui caratteristiche geotecniche sono di seguito riportate:

- Peso di volume naturale  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ;
- Angolo di resistenza al taglio  $\phi' = 38^\circ$ ;
- Coesione drenata  $c' = 0 \text{ kPa}$

Dalle indagini geotecniche, inoltre, come si evidenzia all'interno della relazione geotecnica di riferimento e dalle immagini relative alle sezioni longitudinali e trasversali precedentemente riportate, è stata desunta una quota di falda a 0,80 m.s.l.m. Al fine dell'analisi si ritiene opportuno trascurarne la presenza visto la limitata influenza con l'opera stessa.

Ai fini della definizione della categoria sismica del sottosuolo, nei pressi dell'opera è stata eseguita una prova MASW dalla quale è stata estrapolata una velocità  $V_{s,30}$  tale da ricondurre il terreno ad una categoria stratigrafica di tipo C.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b></p> <p><b>IN02 – Rio Lusso</b></p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>IN0200 001</td> <td>A</td> <td>11 DI 54</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	11 DI 54
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	11 DI 54								

## 6 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

L'analisi della struttura è condotta con il software di calcolo Midas Gen 2021 (v3.1), di Midas Information Technology Co. Ltd, seguendo quanto specificato dalle NTC 2018 al § 7.2.6.



**Figura 6.1** - Info e licenza software

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: [m]
- forze: [kN]
- temperature: gradi centigradi [C°]

Convenzione assi:

- x: asse trasversale del cassettone in c.a.;
- y: asse longitudinale del cassettone in c.a.;
- z: asse verticale del cassettone in c.a.;

Il modello di calcolo attraverso il quale viene discretizzata la struttura è quello di telaio chiuso dove la geometria è stata ricalcata dalla linea baricentrica degli elementi costituenti l'opera.

La struttura scatolare in esame è stata modellata dunque con un modello piano che identifica la rispettiva sezione trasversale di sviluppo unitario.

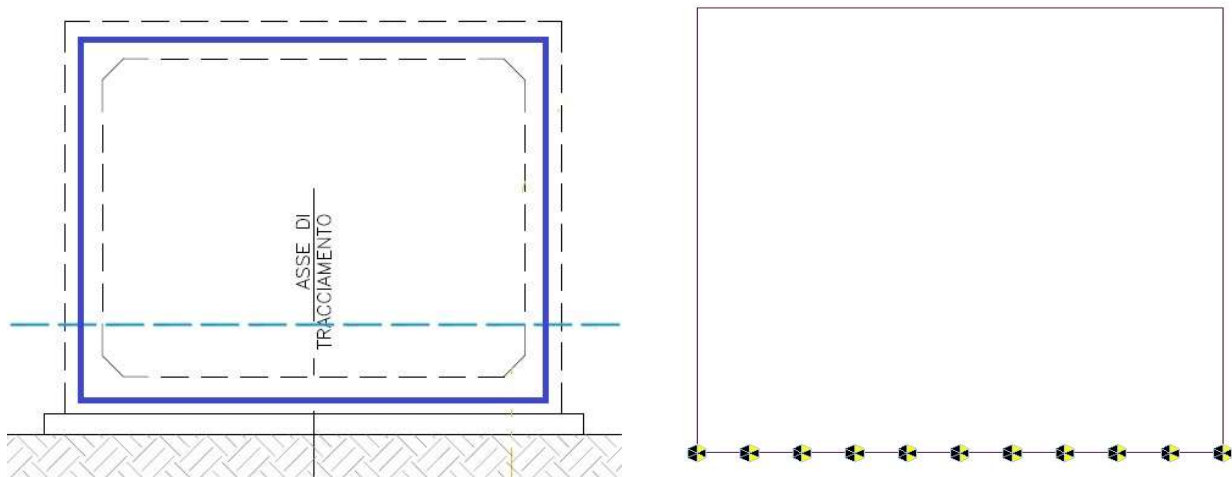
Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite molle alla Winkler calibrate sul modello geotecnico del terreno. Il coefficiente di Winkler verticale è stato valutato secondo la relazione di Vesic (1965) che propone la seguente formula:

$$K = \frac{0.65E}{1-\nu^2} \sqrt[1.5]{\frac{Eb^4}{(EJ)_{fond}}}$$

dove:

$E = 20 \text{ MPa}$	modulo elastico del terreno
$\nu = 0,3$	coefficiente di Poisson
$b = 4,35 \text{ m}$	larghezza unitaria della fondazione
$h = 0,35 \text{ m}$	spessore della fondazione
$J = 0,0155 \text{ m}^4$	inerzia trave

La geometria del modello, come raffigurato, ricalca la linea baricentrica degli elementi costituenti l'opera.



**Figura 6.2** – Modellazione di calcolo con linee baricentriche dei singoli elementi costituenti l'opera

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche si fa riferimento alla tabella che segue:

luce netta canna L	4,35 m
altezza netta H	3,35 m
spessore soletta superiore $S_s$	0,35 m
spessore piedritto/i $S_p$	0,35 m
spessore soletta inferiore $S_i$	0,35 m

La trave di fondazione viene divisa in 10 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno-struttura.

Per la realizzazione delle molle, nel caso in esame, si assume un valore del modulo di reazione verticale  $K_s=17699,40 \text{ kN/m}^3$ , funzione del modulo elastico del terreno.

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle, ottenendo per le 5 molle centrali un valore di:

$$K_{\text{centrale}} = K_s \times (Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2)/10 = 17699,40 \times (0,35/2 + 4,00 + 0,35/2)/10 = 7699,24 \text{ kN/m}$$

$$= K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10} = 7699,24 \text{ kN/m}$$

I valori delle molle di spigolo si ottengono con la seguente formulazione:

$$K_3, K_{13} = 2 \times K_s \times [(Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2)/10 / 2 + Sp/2] =$$

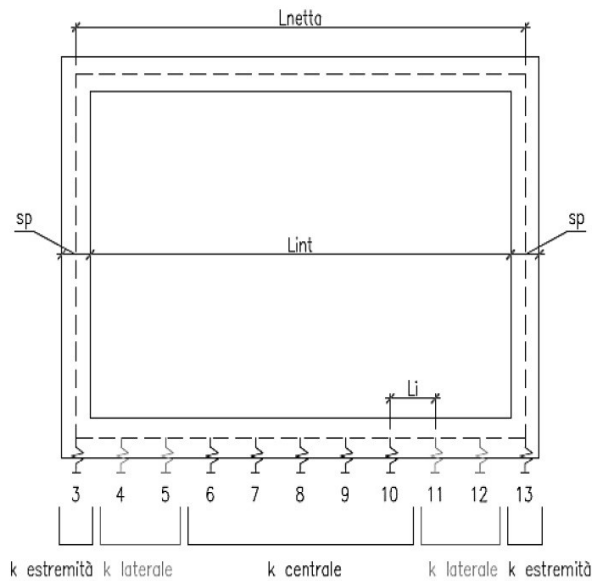
$$= 2 \times 17699,40 \times [(0,35/2 + 4,00 + 0,35/2)/10 / 2 + 0,23/2] = 13894,03 \text{ kN/m}$$

Ed infine i valori delle molle nei nodi restanti, come da letteratura, si assumono:

$$K_4, K_5, K_{11}, K_{12} = 1.5 \times K_{\text{centrale}} = 11548,86 \text{ kN/m}$$

Ai nodi della platea di fondazione sono anche introdotti molle orizzontali con un valore pari a 50% del valore delle molle verticali centrali.

$$K_h = 0,5 \times 7699,24 = 3849,62 \text{ kN/m}$$



**Figura 6.3** - Schematizzazione modello con molle

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

## 7 ANALISI DEI CARICHI

Il calcolo strutturale oggetto d'esame è svolto con riferimento alla località di Vado Ligure, nello specifico in corrispondenza del Rio Barabino, pertanto, i dati di riferimento utilizzati, quali azioni ambientali, caratterizzazione sismica del sito e parametrizzazione geotecnica del sottosuolo, sono stati definiti in modo da considerare le azioni più gravose fra quelle possibili nel sito in oggetto.



**Figura 7.1** - Inquadramento geografico dell'area di studio

Come prescritto dalle NTC 2018, sono state considerate agenti sulla struttura diverse condizioni di carico elementari, combinate tra loro in modo da determinare gli effetti più sfavorevoli ai fini delle verifiche dei singoli elementi strutturali. Per il calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali è stato utilizzato il programma di calcolo Midas Gen.

### 7.1 Peso Proprio degli Elementi Strutturali

Il peso degli elementi strutturali modellati viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato, assumendo  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ .

### 7.2 Carichi Permanenti Non Strutturali

- Peso dell'armamento e ballast

Congruentemente a quanto riportato al § 5.2.2.1.1 delle NTC per la determinazione dei carichi permanenti portati relativi al peso della massicciata, dell'armamento e dell'impermeabilizzazione si è assunto, convenzionalmente, un peso per unità di volume pari a  $18 \text{ kN/m}^3$ .

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

Nel caso in esame si considera uno spessore dal piano del ferro pari a 0,80 m

$$P_{\text{ballast}} = 0,80 \text{ m} \times 18 \text{ kN/m}^3 = 14,4 \text{ kN/m}^2$$

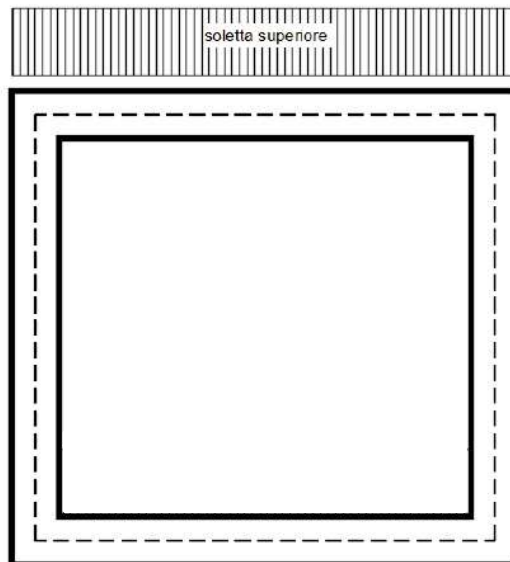


Figura 7.2 - Applicazione carichi permanenti non strutturali

### 7.3 Pressione del terreno a tergo del muro (SPTSX, SPTDX)


La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo con le seguenti caratteristiche meccaniche di riempimento, cautelative per l'opera analizzata.

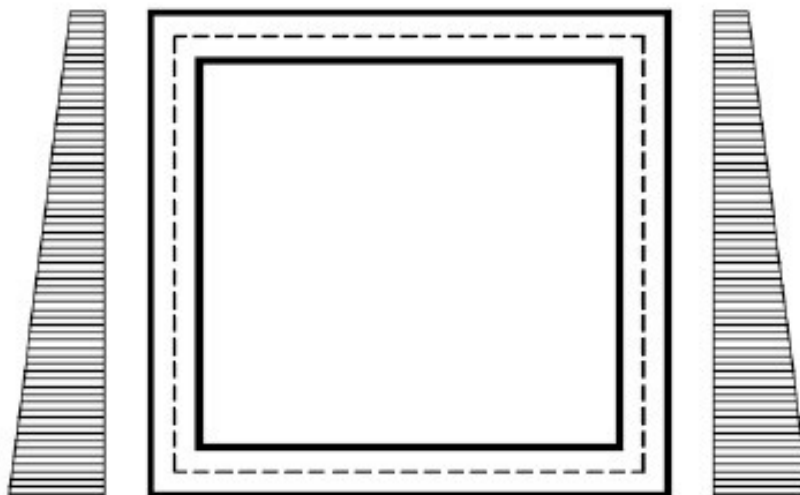
$\gamma = 20$  peso per unità di volume

$\varphi = 38$  angolo di attrito

da cui si ricava:

- $K_0 = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(38) = 0,38$
- Pressione in corrispondenza della quota di estradosso della soletta superiore:  
 $P_1 = 0,38 \times (0,80 \times 18) = 5,47 \text{ kN/m}^2$
- Pressione in asse alla soletta superiore:  
 $P_2 = P_1 + 0,38 \times (0,35/2 \times 20,00) = 6,8 \text{ kN/m}^2$
- Pressione in asse alla soletta inferiore:  
 $P_3 = P_2 + (0,38 \times 20,00 \times (0,35/2 + 3,00 + 0,35/2)) = 32,26 \text{ kN/m}^2$
- Pressione in corrispondenza della quota di intradosso della soletta inferiore:  
 $P_4 = P_3 + (0,38 \times 0,35/2 \times 20,00) = 33,60 \text{ kN/m}^2$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A



**Figura 7.3** - Spinta del terreno

Inoltre, viene aggiunto, come carico concentrato nei nodi di estremità superiori ed inferiori, la parte di spinta del terreno esercitata su mezzo spessore della soletta superiore e su mezzo spessore della soletta inferiore.

- Spinta sul semispessore della soletta superiore:

$$F_1 = (P_1 + P_2) \times (0,35/2) = 1,07 \text{ kN/m}$$

- Spinta sul semispessore della soletta inferiore:

$$F_2 = (P_3 + P_4) \times (0,35/2) = 5,76 \text{ kN/m}$$

#### **7.4 Pressione idrostatica (SPIDRO)**

Trattando uno scatolare sottobianrio, con lo scopo di opera di attraversamento, sarebbe opportuno valutare anche l'effetto della spinta idrostatica che il Rio esercita sull'opera stessa.

Al fine del calcolo la condizione più gravosa si verifica quando l'opera risulta priva di tale effetto in quanto comporta ad un contributo favorevole, generando delle spinte verso l'esterno, che si oppongono al contributo sfavorevole dato dalle spinte del terreno.

Pertanto, cautelativamente, si è ritenuto opportuno non considerare nell'analisi l'effetto della pressione idrostatica.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

## 7.5 Azioni verticali dovute al carico ferroviario

### 7.5.1 Condizione accidentale verticale

I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario.

Il modello di carico considerato è l'LM71 che schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale come riportato in figura:

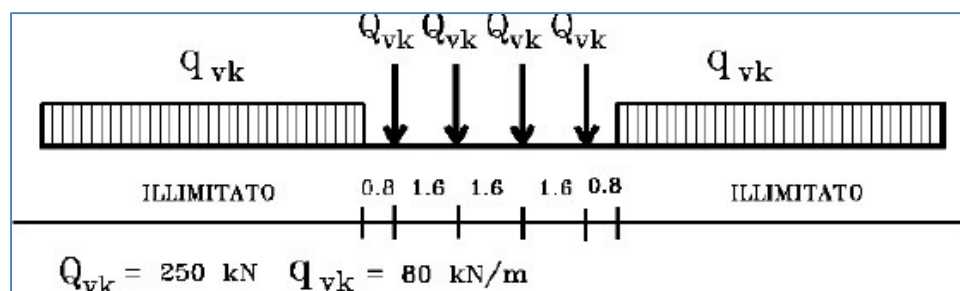


Figura 7.4 - Modello di carico LM71

- Quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m;
- Carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,80 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

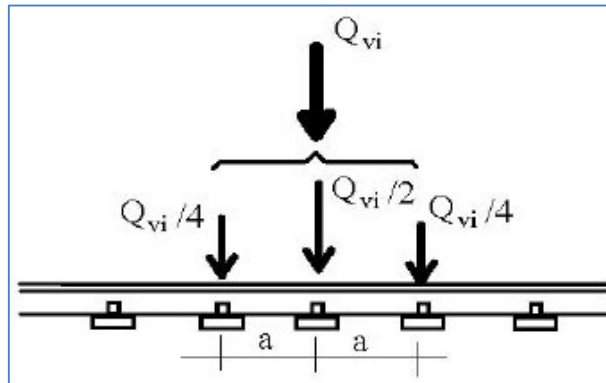
Dovendo dimensionare l'opera avente una sezione trasversale di 4,20 m, al fine di valutare gli effetti più gravosi agenti, si considerano agenti sulla stessa tre assi da 250 kN.

Tale valore di carico dovrà essere moltiplicato per un coefficiente di adattamento variabile  $\alpha$  in funzione della tipologia dell'infrastruttura che, per questo modello di carico, vale 1,1.

Inoltre, le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei modelli di carico devono essere incrementate per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli.

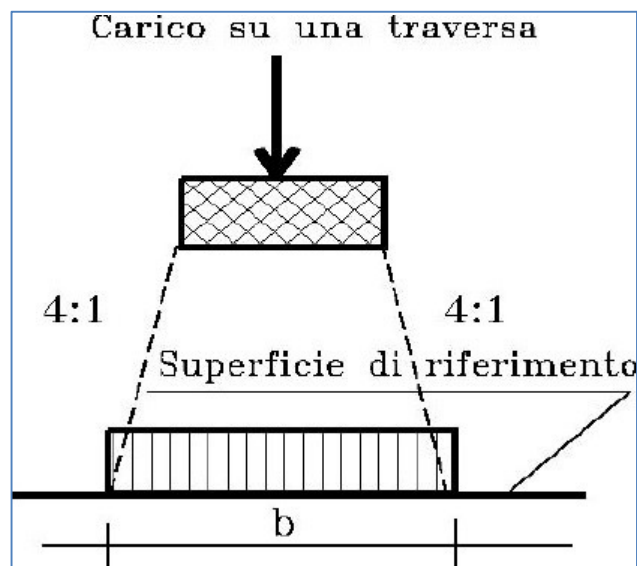
Secondo quanto riportato in Tab. 5.2.II al § 5.2.2.2.3 delle NTC si considera un coefficiente di amplificazione dinamica  $\Phi_3=1,35$  ottenendo quindi un carico di  $Q_{vk} = 371,25$  kN per asse.

Come riportato in normativa al § 5.2.2.2.1.4 il valore del carico assiale  $Q_{vk}$  può essere distribuito su tre traverse consecutive posto ad interasse uniforme "a", ripartendolo fra la traversa che precede, quella su cui insiste e quella successiva rispettivamente nelle proporzioni di 25%, 50% e 25% come riportato in figura:



**Figura 7.5** - Distribuzione longitudinale dei carichi assiali

In generale, i carichi assiali del modello di carico LM71 possono essere distribuiti uniformemente nel senso longitudinale. Tuttavia, per il progetto di particolari elementi strutturali la distribuzione longitudinale del carico assiale al di sotto della traversa avviene con una pendenza 4:1 come mostrato in figura. Per il calcestruzzo invece la diffusione avviene con pendenza 1:1.

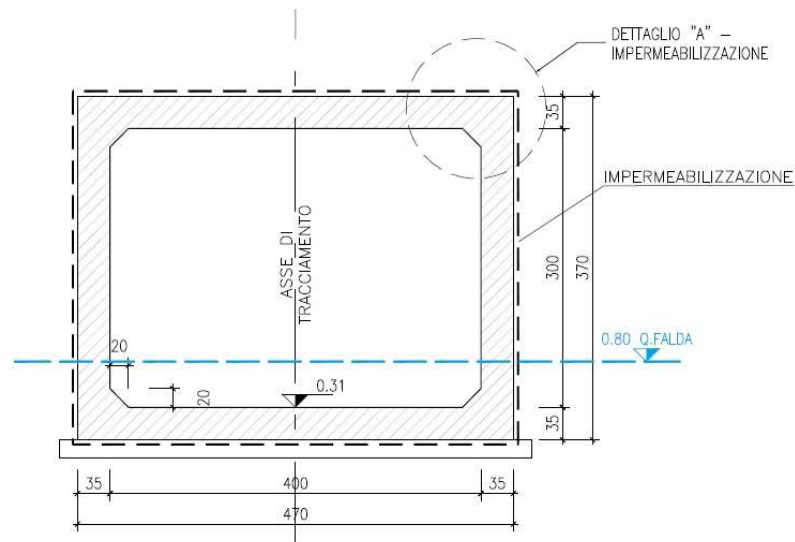


**Figura 7.6** - Distribuzione longitudinale dei carichi attraverso il ballast

Per cui, la diffusione del carico in senso trasversale all'asse del binario, considerando la traversina lunga 2,40 m e, cautelativamente, uno spessore del ballast di 0,45 m, ottenuto sottraendo l'altezza della traversina e del fungo dallo spessore del ballast da p.f., risulta:

$$B_{tr} = L_{traversina} + 2 \times ((h_{ballast} + h_{ballast} + h_{supercompattato})/4 + h_{soletta}/2)$$

$$B_{tr} = 2,40 + 2 \times (0,45/4 + 0,35/2) = 2,97 \text{ m.}$$



**Figura 7.7** - Sezione trasversale dell'opera di riferimento

Pertanto, con riferimento alla sezione trasversale soprariportata, il carico ripartito a metro di profondità dovuto al treno LM71 risulta:

$$Q_{vk/m} = (Q_{vk}/(S_p + L_{int} + S_p))/B_{tr}$$

$$Q_{vk/m} = ((3 \times 371,25)/(0,35 + 4,00 + 0,35))/2,97 = 79,70 \text{ kN/m}$$

### 7.5.2 Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico (SPACCSX, SPACCDX)

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo dei piedritti si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è pari a  $S = k_0 \times q \times H$  con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

Al fine della massimizzazione degli effetti la spinta del sovraccarico a tergo del rilevato verrà considerata agente sia su un solo piedritto che su entrambi.

Pressione del carico accidentale sui piedritti:

Carico distribuito 80 kN/m:

$$(Q_{vk} \times \alpha) / (L_{tot}) \times k_0 = (80 \times 1,1) / (2,97) \times 0,38 = 11,25 \text{ kN/m}$$

Assi di carico puntuali 250 kN:

$$(Q_{vk} \times \alpha) / (B_{tr} \times L_{tot}) \times k_0 = ((3 \times 250) \times 1,1) / (2,97 \times 4,75) \times 0,38 = 22,22 \text{ kN/m}$$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A	FOGLIO 20 DI 54

Oltre a tale carico si considera inoltre la parte di sovraspinta esercitata su mezzo spessore della soletta superiore e mezzo spessore della soletta inferiore.

$$F = 22,22 \times 0,25/2 = 2,8 \text{ kN}$$

### 7.5.3 Frenatura e avviamento

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario L determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato.

Avviamento:  $Q_{la,k} = 33 \text{ kN/m} \times 1 \text{ m} = 33 \text{ kN} < 1000 \text{ kN}$

Frenamento:  $Q_{lb,k} = 20 \text{ kN/m} \times 1 \text{ m} = 22 \text{ kN} < 6000 \text{ kN}$

I valori caratteristici trovati devono essere moltiplicati per  $\alpha$  quindi, valutando le azioni a m:

Avviamento:  $Q_{la,k} = (33 \text{ kN/m} \times 1,1)/2,97 \text{ m} = 12,22 \text{ kN/m}$

Frenamento:  $Q_{lb,k} = (20 \text{ kN/m} \times 1,1)/2,97 \text{ m} = 7,40 \text{ kN/m}$

## 7.6 Variazione termica

Essendo il ricoprimento inferiore a 1.5 m, è necessario considerare l'azione termica agenti sulla soletta superiore.

Si considerano pertanto:

- la variazione termica uniforme:  $\Delta T_{unif} = +/-15^{\circ}\text{C}$  e  $\Delta T_{grad} = +/-5^{\circ}\text{C}$
- il gradiente di temperatura, per m di spessore,  $\Delta T_{grad} = +/-5^{\circ}\text{C}$  cui corrisponde quindi un gradiente termico  $Grad = 5^{\circ}\text{C} / \text{spessore} = 5/0,6 = 8,4^{\circ}\text{C/m}$ .

## 7.7 Ritiro

Gli effetti del ritiro nel calcestruzzo sono valutati impiegando i coefficienti indicati al punto 11.2.10.6 delle NTC2018. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione da ritiro per essiccamento e dalla deformazione di ritiro autogeno.

All'interno del modello i fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica equivalente pari a:



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO**  
**IN02 – Rio Lusso**

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL IN0200 001	A	21 DI 54

**Caratteristiche del calcestruzzo a tempo zero**

$f_{ck}$	40 MPa	classe del calcestruzzo
$f_{cm}$	48 MPa	resistenza a compressione media
$E_{cm}$	35220,46 MPa	modulo elastico secante
tipo	R	classe del cemento

**Tempo e ambiente**

$t_s$	2 gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	2 gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	25550 gg	età del calcestruzzo in giorni
$u$	1000 mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$A_c$	350000 mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$h_0$	700 mm	dimensione fittizia dell'elemento di calcestruzzo
RH	75%	umidità percentuale relativa

**Coefficiente di viscosità  $\varphi(t, t_0)$**

$\alpha_1$	0,80	coefficiente per la resistenza del calcestruzzo
$\alpha_2$	0,94	coefficiente per la resistenza del calcestruzzo
$\alpha_3$	0,85	coefficiente per la resistenza del calcestruzzo
$\varphi_{RH}$	1,84	coefficiente che tiene conto dell'umidità
$\beta_H$	1280,87	coefficiente che tiene conto dell'umidità relativa
$\beta_c(f_{cm})$	2,42	coefficiente che tiene conto della resistenza del calcestruzzo
$\alpha$	1	coefficiente per il tipo di cemento
$t_0$	6,19	tempo $t_0$ corretto in funzione della tipologia di cemento
$\beta_c(t_0)$	0,65	coefficiente per l'evoluzione della viscosità nel tempo
$\beta_c(t, t_0)$	0,99	coefficiente per la variabilità della viscosità nel tempo
$\varphi_0$	2,90	coefficiente nominale di viscosità
$\varphi(t, t_0)$	2,86	coefficiente di viscosità
$E_{cm}(t, t_0)$	9131,11 MPa	modulo elastico del calcestruzzo a tempo t

**Deformazione di ritiro  $\epsilon(t, t_0)$**

$\alpha_{ds1}$	6	coefficiente per il tipo di cemento
$\alpha_{ds2}$	0,11	coefficiente per il tipo di cemento
$RH_0$	100%	
$f_{cm0}$	10 MPa	
$\beta_{RH}$	0,90	
$\epsilon_{cd,0}$	0,000395	deformazione di base
$k_h$	0,7	parametro funzione di $h_0$ (tabella)
$\beta_{ds}(t, t_s)$	1,00	coefficiente per la variabilità della deformazione nel tempo
$\epsilon_{cd}(t)$	0,000277	deformazione dovuta al ritiro per essiccamento
$\beta_{as}(t)$	1	
$\epsilon_{ca00}$	0,000075	
$\epsilon_{ca}(t)$	7,5E-05	deformazione dovuta al ritiro autogeno
$\epsilon_s(t, t_0)$	0,000352	deformazione del ritiro

**Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro**

$\Delta T_{ritiro}$	-9,11853	variazione termica
---------------------	----------	--------------------

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

## 7.8 Azione Sismica

Per il calcolo dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

Forza sismica orizzontale:  $F_h = k_h \times W$

Forza sismica verticale:  $F_v = k_v \times W$

Il valore dei coefficienti sismici orizzontale e verticale possono essere valutati mediante le seguenti espressioni:

$$k_h = a_{\max}/g$$

$$k_v = 0,5 \times k_h$$

Risulta pertanto necessaria la determinazione degli spettri di risposta di progetto la cui definizione avviene mediante l'utilizzo del software-free SPETTRI NTC (v 1.0.3), scaricato dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici [www.cslp.it](http://www.cslp.it), il quale fornisce gli spettri di risposta di riferimento per la verifica ai diversi stati limite, determinati congruentemente a quanto prescritto dalla norma.

Per fornire gli spettri richiesti è necessario l'inserimento di alcuni parametri caratteristici della struttura in esame e del sito in cui si trova. In particolare, oltre alle coordinate geografiche, è necessario specificare la Vita Nominale  $V_N$  della struttura e il suo Coefficiente d'Uso  $C_U$ , al fine di poter calcolare il periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U$

Per la definizione della **Vita Nominale** da assegnare ad ogni singola opera facente parte di un'infrastruttura ferroviaria si rimanda alla Tabella 2.5.1.1.1-1 *Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie* contenuta nel Manuale di Progettazione delle Opere Civili **RFI DTC SI PS MA IFS 001 E** e di seguito riportata:

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale $V_N$ [Anni] <sup>(1)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE ( $V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V < 250$ Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ $V \geq 250$ km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	$\geq 100$ <sup>(2)</sup>
(1) – La stessa $V_N$ si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

Tab. 2.5.1.1.1-1 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

**Figura 7.8** –RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Tabella 2.5.1.1.1-1 Vita Nominale delle infrastrutture ferroviarie

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

L'oggetto della presente relazione rientra nell'ambito di "altre opere nuove a velocità  $v < 250$  km/h", dunque le strutture di progetto avranno vita nominale  $V_N = 50$  anni.

Il valore del Coefficiente d'Uso  $C_U$  varia in relazione alla **Classe d'Uso** dell'edificio, come riportato nella Tabella 2.4.II delle NTC 2018. Le NTC 2018 prevedono quattro diverse Classi d'Uso.

Per la struttura in esame si fa riferimento alla **Classe II** "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.", alla quale corrisponde un Coefficiente d'Uso  $C_U = 1,0$ .

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

<b>CLASSE D'USO</b>	I	II	III	IV
<b>COEFFICIENTE <math>C_U</math></b>	0.7	1.0	1.5	2.0

Figura 7.9 – NTC 2018, Coefficiente d'Uso degli edifici

Si ottiene dunque un valore del Periodo di Riferimento per l'azione sismica pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1 = 50 \text{ anni}$$

È inoltre necessario precisare la **Categoria di Sottosuolo** e la **Categoria Topografica** cui appartiene il sito in esame. Tali informazioni sono reperibili nella relazione geotecnica che prescrive l'assunzione di una Categoria di Sottosuolo **C** e una Categoria Topografica **T<sub>1</sub>**.

Quanto ai parametri di amplificazione locale si considera:

$$S_s = 1,5$$

$$S_t = 1,00$$

L'accelerazione massima orizzontale al sito  $a_{s,max}$  è calcolata come il prodotto dell'accelerazione al substrato  $a_g$  e dei fattori di amplificazione  $S_s$  e  $S_t$ .

Si ottiene pertanto:

$$a_{s,max(SLV)} = a_{g(SLV)} \times S_s \times S_t = 0,057 \text{ g} \times 1,5 \times 1,00 = 0,086 \text{ g}$$

da cui ne deriva:

$$k_h = a_{max}/g = 0,086$$

$$k_v = 0,5 \times k_h = 0,043$$

Gli effetti dell'azione sismica verranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali dove, nello specifico, per i carichi dovuti al transito dei convogli si assumerà un  $\psi_{21} = 0,2$ .

Di seguito si riportano gli spettri di risposta oggetto della progettazione:

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

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,057 g
$F_o$	2,610
$T_o$	0,307 s
$S_E$	1,500
$C_c$	1,551
$S_T$	1,000
$q$	0,800

#### Parametri dipendenti

$S$	1,500
$\eta$	1,250
$T_B$	0,158 s
$T_C$	0,475 s
$T_D$	1,829 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

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

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

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

$$T_C = C_c \cdot T_o \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

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

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

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

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

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

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

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	0,086
$T_B$	0,158	0,280
$T_C$	0,475	0,280
	0,540	0,247
	0,604	0,220
	0,669	0,199
	0,733	0,182
	0,798	0,167
	0,862	0,155
	0,927	0,144
	0,991	0,134
	1,056	0,126
	1,120	0,119
	1,184	0,112
	1,249	0,107
	1,313	0,101
	1,378	0,097
	1,442	0,092
	1,507	0,088
	1,571	0,085
	1,636	0,081
	1,700	0,078
	1,765	0,075
$T_D$	1,829	0,073
	1,932	0,065
	2,036	0,059
	2,139	0,053
	2,243	0,048
	2,346	0,044
	2,449	0,041
	2,553	0,037
	2,656	0,035
	2,759	0,032
	2,863	0,030
	2,966	0,028
	3,070	0,026
	3,173	0,024
	3,276	0,023
	3,380	0,021
	3,483	0,020
	3,586	0,019
	3,690	0,018
	3,793	0,017
	3,897	0,016
	4,000	0,015

Figura 7.10 – Parametri spettro di risposta orizzontale allo SLV



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV**

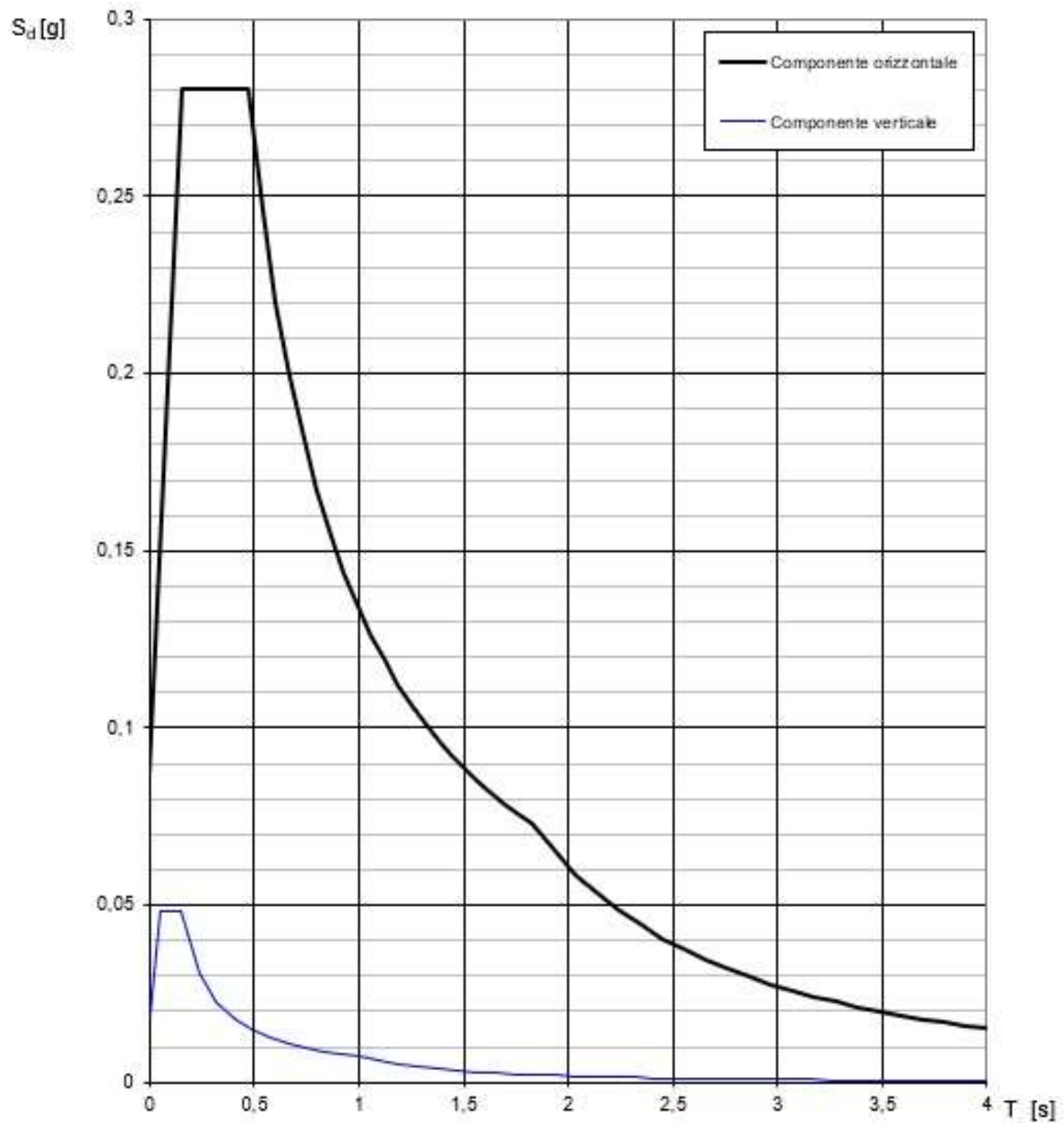


Figura 7.11 – Spettri di risposta orizzontali e verticali allo SLV

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 26 DI 54

### 7.8.1 Forze sismiche agenti sulla struttura

Combinazione sismica:  $G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Qk_1$

Dalle indicazioni precedentemente riportate, considerando uno spessore dello scatolare di 0,35 m, si ottiene un peso di soletta analogo a quello dei piedritti pari 6,25 kN/m, pertanto si avrà:

Massa associata al peso proprio:  $G_1 = 8,75 \text{ kN/m}$

Massa associata al carico permanente:  $G_2 = 14,4 \text{ kN/m}$

Massa treno:  $Q_k = 79,7 \text{ kN/m}$

#### Sisma H

Forza orizzontale sulla soletta di copertura:

$$F'_h = (G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Qk_1) \times k_h$$

$$F'_h = (8,75 + 14,4 + 0,2 \times 79,7) \times 0,086 = 3,36 \text{ kN/m}$$

Forza orizzontale sui piedritti:

$$F'_h = (G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Qk_1) \times k_h$$

$$F'_h = 8,75 \times 0,086 = 0,75 \text{ kN/m}$$

#### SismaV

Forza verticale sulla soletta di copertura:

$$F'_h = (G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Qk_1) \times k_v$$

$$F'_h = (8,75 + 14,4 + 0,2 \times 79,7) \times 0,043 = 1,68 \text{ kN/m}$$

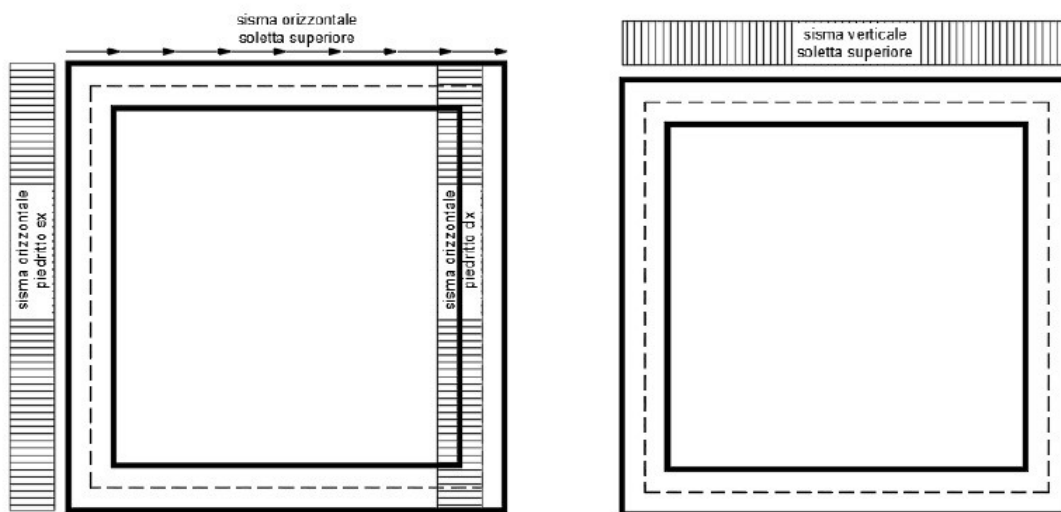


Figura 7.12 - Forze sismiche agenti sulla struttura



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO**  
**IN02 – Rio LUSO**

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	27 DI 54

*7.8.2 Spinta sismica del terreno (SPSDX, SPSSX)*

Le spinte delle terre potranno essere determinate secondo la teoria di Wood, secondo la quale la risultante dell'incremento di spinta per effetto del sisma su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta P_d = S_{ag}/g \times \gamma \times h_{scat}^2$$


$$\Delta P_d = 0,086 \times 20 \times 3,70^2 = 23,5 \text{ kN/m}^2$$

Tale risultante, applicata ad un'altezza pari ad H/2, sarà considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

Essendo  $\Delta P_d$  la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare:

$$\Delta P = (a_g/g) \times S \times \gamma \times h_{tot}$$

$$\Delta P = 0,086 \times 20 \times 3,70 = 6,4 \text{ kN/m}$$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

## COMBINAZIONI DI CARICO

Per le verifiche nei confronti dei diversi stati limite si adottano le combinazioni delle azioni tratte dal § 2.5.3 NTC 2018:

- Combinazione fondamentale SLU:  
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3}..$
- Combinazione caratteristica (rara):  
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione frequente:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione quasi permanente:  
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione sismica:  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vengono sempre combinati con altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti presenti alla Tabella 5.2.IV delle NTC 2018.

Tab. 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

Figura 0.1 - Tabella di valutazione dei carichi da traffico

In particolare, per ogni gruppo di carico viene individuata un'azione dominante che verrà considerata per intero, per le altre azioni vengono definiti diversi coefficienti di combinazione. Ogni gruppo massimizza una particolare condizione alla quale la struttura dovrà essere verificata.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

Figura 0.2 - Tabella coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

 Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\Psi$  delle azioni

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	$g_{r1}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(3)</sup>	0,0
	$g_{r2}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(3)</sup>	-
	$g_{r3}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(3)</sup>	0,0
	$g_{r4}$	1,00	1,00 <sup>(3)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{Wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

Figura 0.3 - Tabella coefficienti di combinazione delle azioni

Per i diversi stati limite considerati si ottiene quindi:

#### Combinazione Fondamentale:

		G1	G2	SPTSX	SPTDX	LM71	SPACCSX	SPACCDX	AVV/FRE	TERM	RITIRO
SPTSX 100% SPTDX 100%	SLU_1	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2
	SLU_2	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	1.45	0	1.45	0.9	1.2
	SLU_3	1.35	1.5	1.5	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2
SPTSX 100% SPTDX 60%	SLU_4	1.35	1.5	1.5	0.9	1.45	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2
	SLU_5	1.35	1.5	1.5	0.9	1.45	1.45	0	1.45	0.9	1.2
	SLU_6	1.35	1.5	1.5	0.9	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2
SPTSX 60% SPTDX 100%	SLU_7	1.35	1.5	0.9	1.5	1.45	1.45	1.45	1.45	0.9	1.2
	SLU_8	1.35	1.5	0.9	1.5	1.45	1.45	0	1.45	0.9	1.2
	SLU_9	1.35	1.5	0.9	1.5	1.45	0	1.45	1.45	0.9	1.2



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO**  
**IN02 – Rio Lusso**

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 IV0H 02 D 26 CL IN0200 001 A 30 DI 54

Combinazione Rara:

		G1	G2	SPTSX	SPTDX	LM71	SPACCSX	SPACCDX	AVV/FRE	TERM	RITIRO
SPTSX 100% SPTDX 100%	SLE_R1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1
	SLE_R2	1	1	1	1	1	1	0	1	0.6	1
	SLE_R3	1	1	1	1	1	0	1	1	0.6	1
SPTSX 100% SPTDX 60%	SLE_R4	1	1	1	0.6	1	1	1	1	0.6	1
	SLE_R5	1	1	1	0.6	1	1	0	1	0.6	1
	SLE_R6	1	1	1	0.6	1	0	1	1	0.6	1
SPTSX 60% SPTDX 100%	SLE_R7	1	1	0.6	1	1	1	1	1	0.6	1
	SLE_R8	1	1	0.6	1	1	1	0	1	0.6	1
	SLE_R9	1	1	0.6	1	1	0	1	1	0.6	1

Combinazione Quasi Permanente:

		G1	G2	SPTSX	SPTDX	LM71	SPACCSX	SPACCDX	AVV/FRE	TERM	RITIRO
SPTSX 100% SPTDX 100%	SLE_QP1	1	1	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1
	SLE_QP2	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	0.5	1
	SLE_QP3	1	1	1	1	0.2	0	0.2	0.2	0.5	1
SPTSX 100% SPTDX 60%	SLE_QP4	1	1	1	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1
	SLE_QP5	1	1	1	0.6	0.2	0.2	0	0.2	0.5	1
	SLE_QP6	1	1	1	0.6	0.2	0	0.2	0.2	0.5	1
SPTSX 60% SPTDX 100%	SLE_QP7	1	1	0.6	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1
	SLE_QP8	1	1	0.6	1	0.2	0.2	0	0.2	0.5	1
	SLE_QP9	1	1	0.6	1	0.2	0	0.2	0.2	0.5	1

Combinazione Sismica:

	G1	G2	SPTSX	SPTDX	LM71	SPACCSX	SPACCDX	AVV/FRE	TERM	RITIRO	Fh	Fv	SPSSX	SPSDX
SLV_1	1	1	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1	1	0.3	1	0
SLV_2	1	1	1	1	0.2	0.2	0	0.2	0.5	1	1	-0.3	1	0
SLV_3	1	1	1	1	0.2	0	0.2	0.2	0.5	1	-1	0.3	0	1
SLV_4	1	1	1	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1	-1	-0.3	0	1
SLV_5	1	1	1	0.6	0.2	0.2	0	0.2	0.5	1	0.3	1	0.3	0
SLV_6	1	1	1	0.6	0.2	0	0.2	0.2	0.5	1	0.3	-1	0.3	0
SLV_7	1	1	0.6	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1	-0.3	1	0	0.3
SLV_8	1	1	0.6	1	0.2	0.2	0	0.2	0.5	1	-0.3	-1	0	0.3

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

## 8 SOLLECITAZIONI

Di seguito si riportano alcune immagini che illustrano la distribuzione delle sollecitazioni negli elementi della struttura corrispondente ai diversi involuipi per le diverse combinazioni di carico considerate.

### 8.1 Combinazione SLU

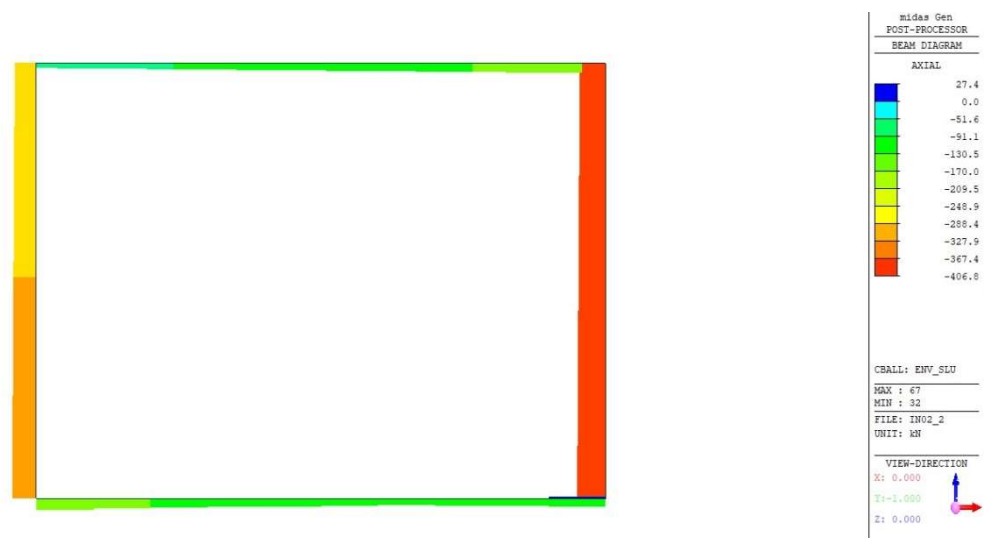


Figura 8.1 - Combinazione SLU – Involuppo valori di Sforzo Normale N

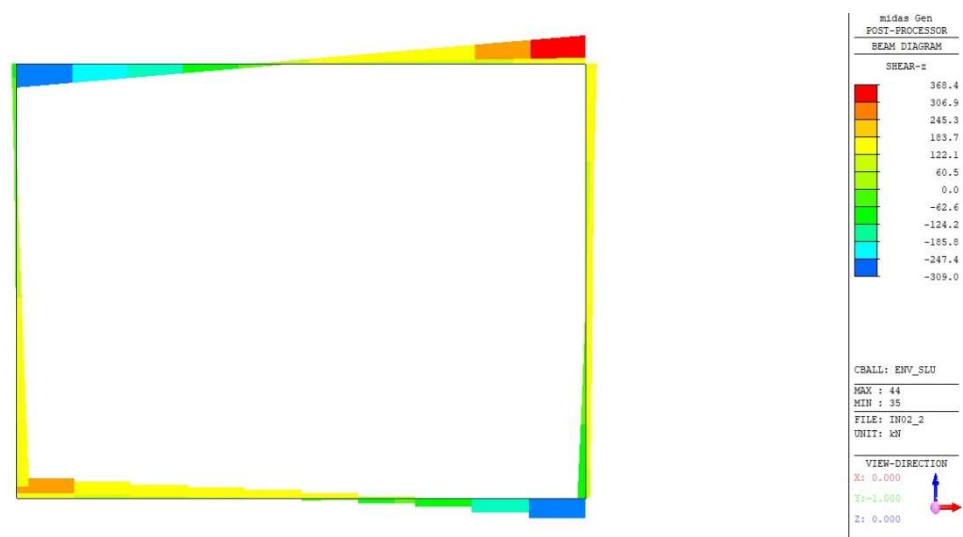
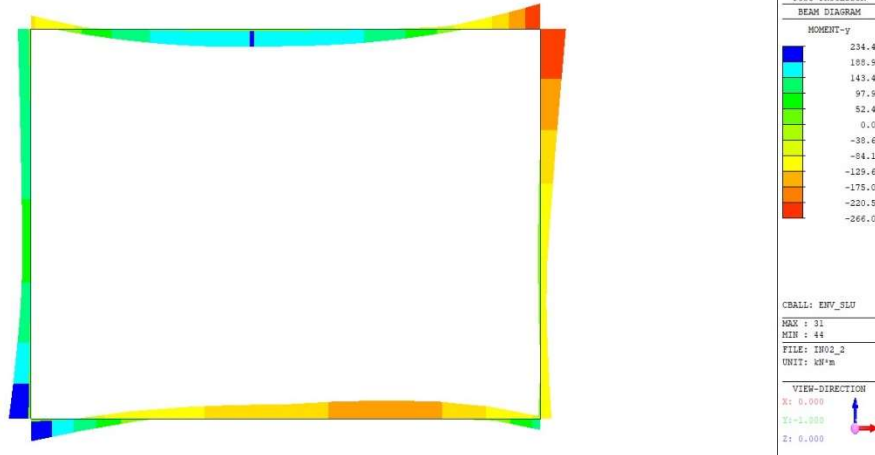
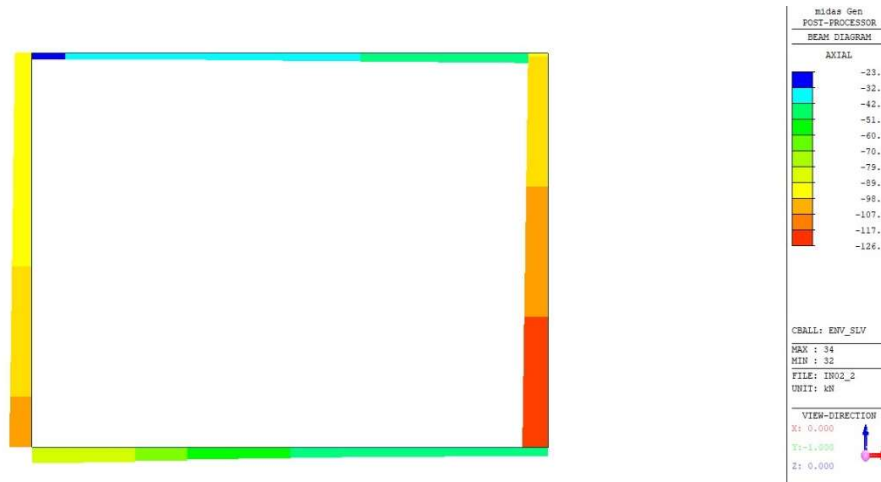


Figura 8.2 - Combinazione SLU – Involuppo valori di Taglio T

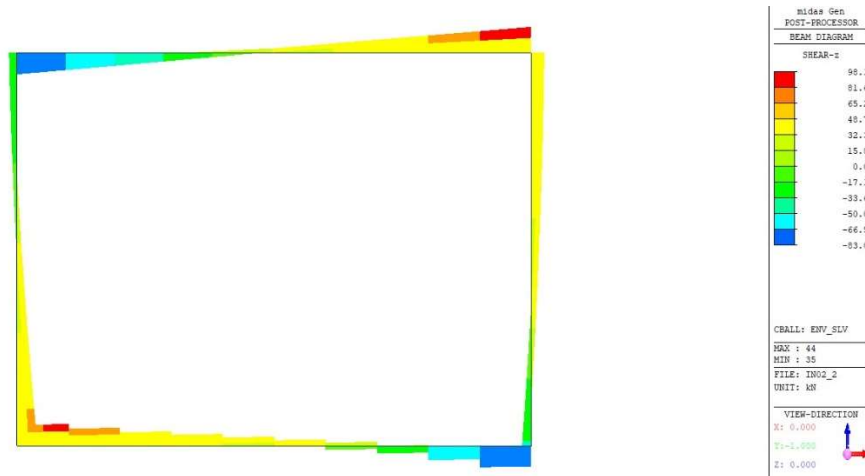


**Figura 8.3** - Combinazione SLU – Involuppo Valori di Momento Flettente M

## 8.2 Combinazione SLV




**Figura 8.4** - Combinazione SLV – Involuppo valori di Sforzo Normale N



**Figura 8.5** - Combinazione SLV – Involuppo valori di Taglio T



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

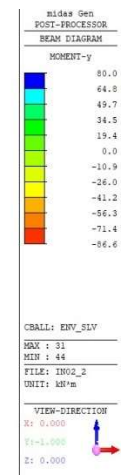
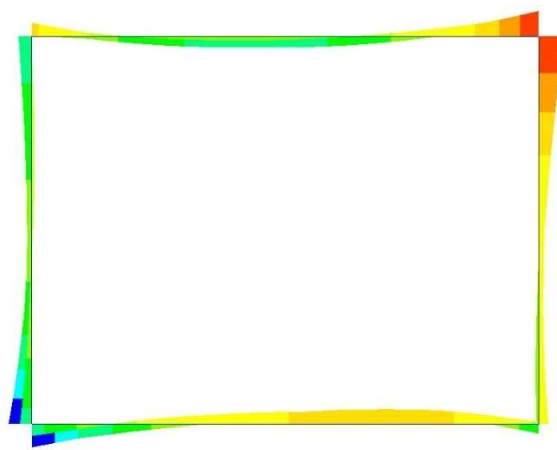


Figura 8.6 - Combinazione SLV – Involuppo Valori di Momento Flettente M

### 8.3 Combinazione SLE Rara

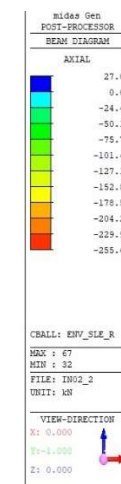


Figura 8.7 - Combinazione SLE Rara – Involuppo valori di Sforzo Normale N

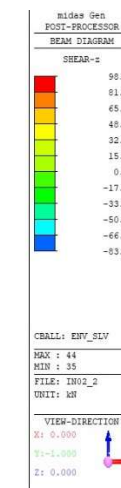
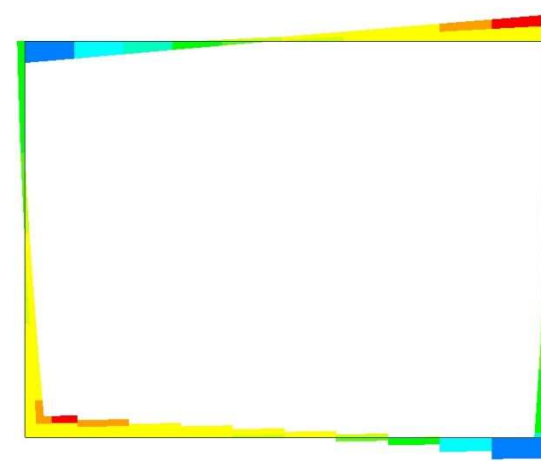



Figura 8.8 - Combinazione SLE Rara – Involuppo valori di Taglio T

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

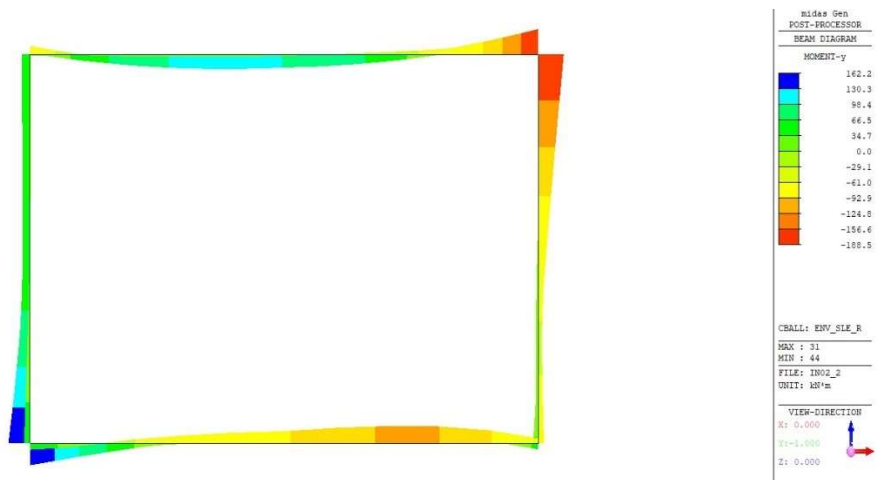


Figura 8.9 - Combinazione SLE Rara – Involuppo Valori di Momento Flettente M

#### 8.4 Combinazione SLE Quasi Permanente

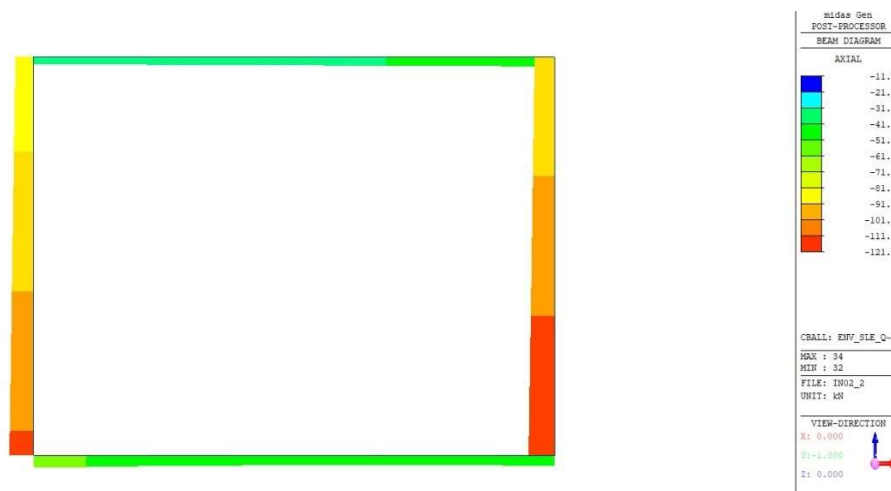


Figura 8.10 - Combinazione SLE Quasi Permanente – Involuppo valori di Sforzo Normale N

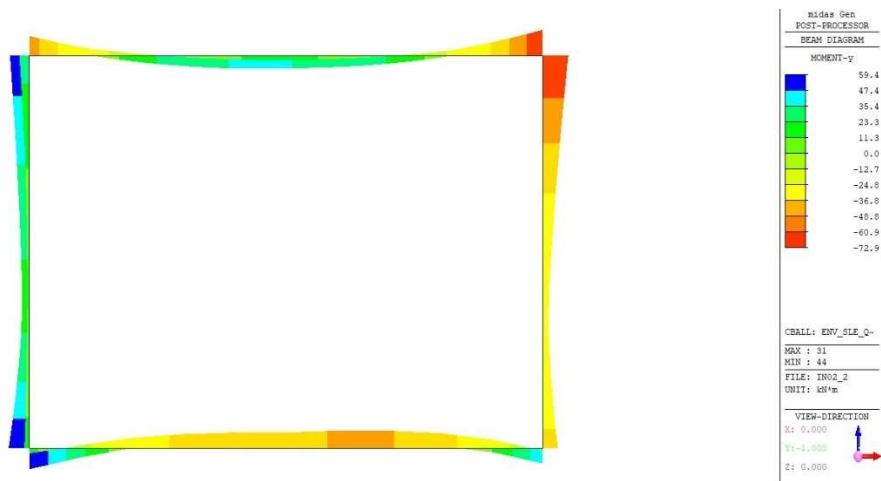


Figura 8.11 – Combinazione SLE Quasi Permanente– Involuppo Valori di Momento Flettente M

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

## 9 VERIFICHE STRUTTURALI

### 9.1 Metodi di verifica

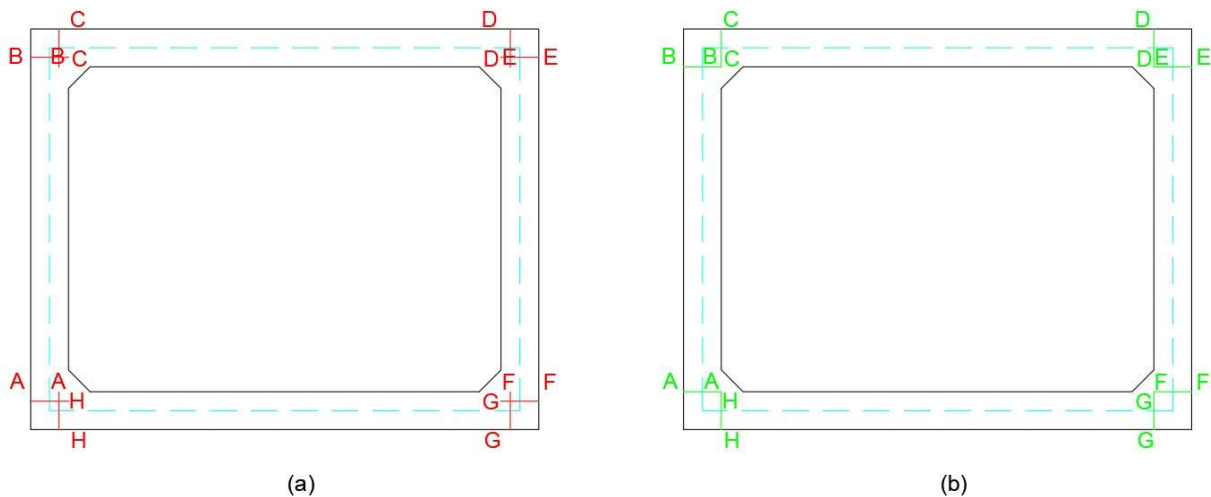
In accordo con le NTC 2018 e il Manuale di Progettazione delle Opere Civili le verifiche si ritengono soddisfatte quando, per ogni elemento, il valore di progetto di ciascuna sollecitazione ( $E_d$ ) risulta inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto ( $R_d$ ).

Le caratteristiche di resistenza e i criteri di verifica adottati differiscono a seconda del meccanismo indagato, funzione dei diversi stati limite considerati.

In particolare, nelle NTC18 vengono individuati due tipologie di elementi/meccanismi resistenti strutturali:

- Elementi resistenti duttili: elementi inflessi con o senza sforzo normale;
- Elementi resistenti fragili: elementi sollecitati a taglio.

Si riporta la rappresentazione delle sezioni dove vengono eseguite le verifiche a pressoflessione ( $s/4$ ) e a Taglio ( $s/2$ ).



**Figura 9.1** - Sezioni di verifica per pressoflessione (a) e taglio (b)

Cautelativamente, a favore di sicurezza, nonostante l'incremento di sezione in corrispondenza dei nodi, si ritiene opportuno eseguire le verifiche considerando la sezione con spessore ridotto in quanto più critica.

Le verifiche vengono svolte, per tutti gli elementi strutturali, cioè la soletta superiore, i piedritti e soletta inferiore, considerando agenti i carichi permanenti verticali, la spinta sui piedritti (statica e dinamica) del rilevato ferroviario e il carico ferroviario (statico e dinamico).

Nei paragrafi seguenti si riportano le verifiche delle sezioni degli elementi strutturali.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 36 DI 54

## 9.2 Verifica soletta superiore

Sollecitazioni massime SLU soletta superiore sezione C, D:

C:	$N_{Ed} = 76,5 \text{ kN}$	D:	$N_{Ed} = 110,9 \text{ kN}$
	$T_{Ed} = -282,9 \text{ kN}$		$T_{Ed} = 342,4 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = -113,2 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = -234,4 \text{ kN.m}$

### 9.2.1 Verifica SLU a Flessione

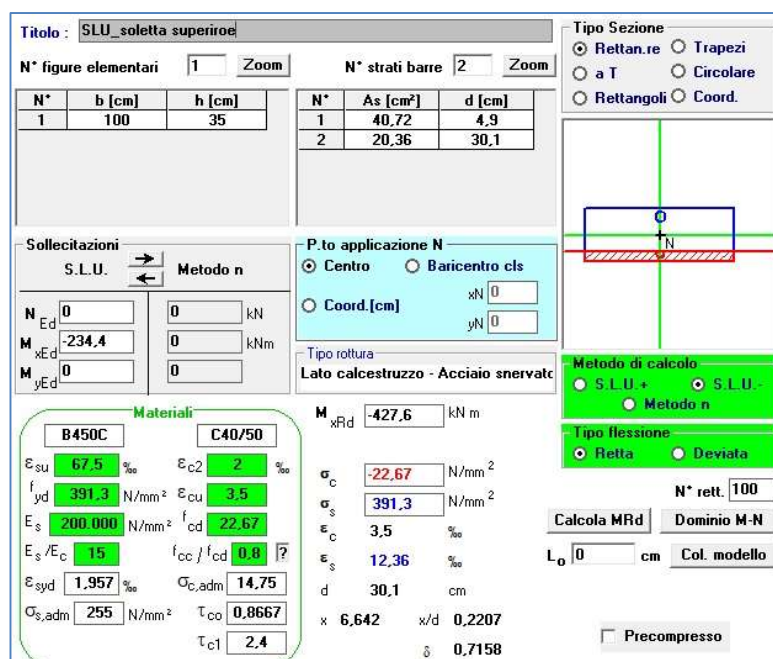
Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica di resistenza a flessione nei confronti delle sollecitazioni determinate dall'analisi globale condotta sulla struttura si conduce controllando la seguente disuguaglianza:  $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ .

Nello specifico, nel caso in esame:

$$A_{s_{min}} = \frac{M_{max}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{234,4 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 301 \cdot 391,3} = 2211,25 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Si decide quindi, a favore di sicurezza, di inserire superiormente armatura  $\varnothing 18$  a passo 6 cm (tesa) e inferiormente armatura  $\varnothing 18$  a passo 12 cm (compressa).

Il calcolo del momento resistente si è svolto mediante l'utilizzo del software VCASlu che ha validato il risultato analitico considerando le caratteristiche meccaniche precedentemente descritte. L'analisi è stata condotta trascurando, a favore di sicurezza, il contributo dello sforzo normale.



**Titolo:** SLU\_soletta superiore

N° figure elementari: 1    N° strati barre: 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

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

$N_{Ed}$  0    0 kN  
 $M_{xEd}$  -234,4    0 kNm  
 $M_{yEd}$  0    0

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

**Materiali:** B450C    C40/50

$E_{su}$  67,5 ‰     $E_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²     $E_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²     $f_{cd}$  22,67 ‰  
 $E_s/E_c$  15 ‰     $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $E_{syd}$  1,957 ‰     $\sigma_{c,adm}$  14,75 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²     $\tau_{co}$  0,8667 ‰  
 $\tau_{c1}$  2,4 ‰

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

**Tipo flessione:** Retta    Deviata

$M_{xRd}$  -427,6 kN m  
 $\sigma_c$  -22,67 N/mm²  
 $\sigma_s$  391,3 N/mm²  
 $E_c$  3,5 ‰  
 $E_s$  12,36 ‰  
 d 30,1 cm  
 x 6,642    x/d 0,2207  
 $\delta$  0,7158

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

Precompresso

Figura 9.2 – Combinazione SLU - Momento massimo flettente

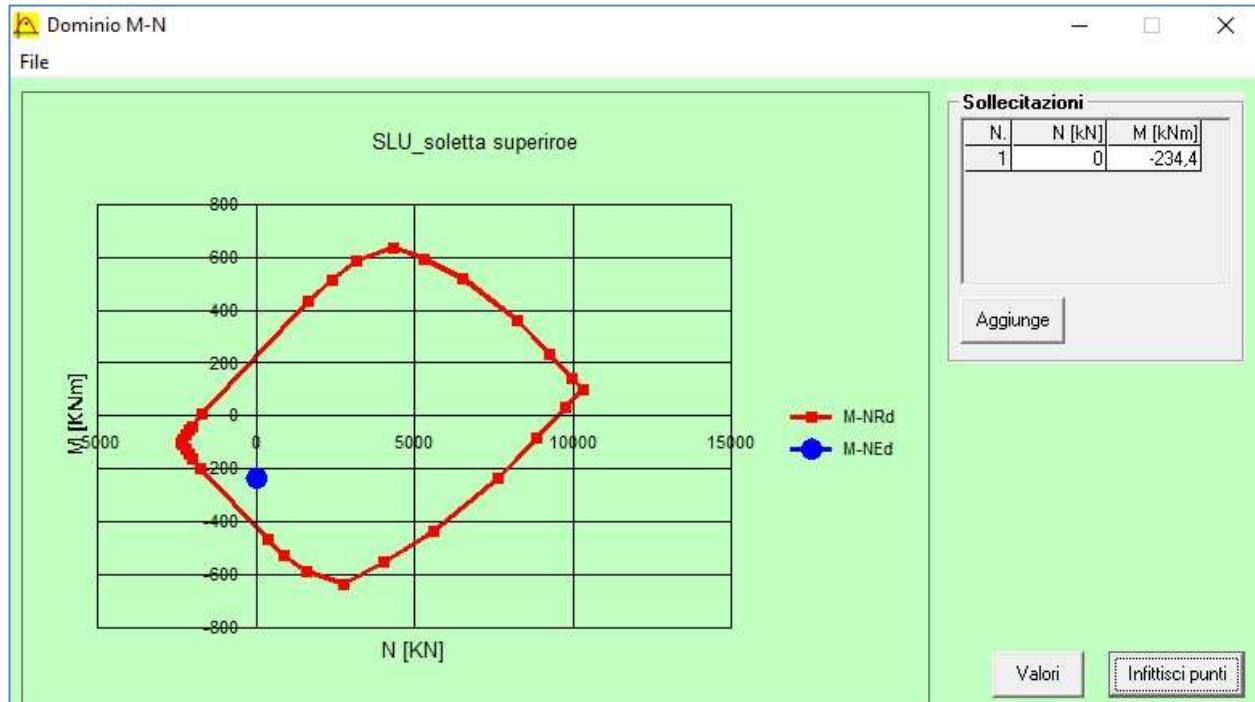


Figura 9.3 - Dominio di resistenza a flessione – Massimo momento flettente – FS = 1,8

### 9.2.2 Verifica SLU a Taglio

Secondo quanto specificato dalla normativa, la verifica di resistenza a taglio nei confronti delle sollecitazioni determinate dall'analisi globale condotta sulla struttura si conduce controllando la seguente disuguaglianza:  $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ .

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 350$	mm	altezza	$\gamma_s = 1,15$		coeff. sicurezza
$c = 60$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391,3$	MPa	resist. di calcolo

$f_{ck} = 40$  MPa resist. caratteristica

Armatura longitudinale tesa:

$\gamma_c = 1,50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 16$	$\emptyset$	$16 = 32,17$	$cm^2$
$\alpha_{cc} = 0,85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset$	$0 = 0,00$	$cm^2$
$d = 290$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset$	$0 = 0,00$
$f_{cd} = 22,67$	MPa	resist. di calcolo			$32,17$

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

$N_{ed} = 0,0$  kN                       $V_{ed} = 342,4$  kN



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO**  
**IN02 – Rio LUSO**

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	38 DI 54

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1,830 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0,548$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0,02 \quad \rho_1 = 0,011 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0,00 \text{ MPa} < 0,2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 225,5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 159,0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 225,5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

La sezione non risulta verificata in assenza di armatura a taglio, pertanto dev'essere inserita un'apposita armatura valutata sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio.

Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\Theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento devono rispettare il seguente limite:  $1 \leq \cotg \Theta \leq 2,5$ .

Nel caso in esame si prevede di **piegare a 45° 4Ø18 a passo 50 cm dell'armatura superiore.**

Pertanto:

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

$$\theta = 35,0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 45,0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \quad 18 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 4 \quad \text{passo } 50 \text{ cm} = 0,204 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0,90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 371,7 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 11,33 \text{ MPa} \quad \text{resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1,000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0,90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 2460,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 371,7 > 342,4 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1,1$$

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

**Le verifiche a flessione e a taglio per la soletta superiore risultano soddisfatte con un fattore di sicurezza FS pari rispettivamente a 1,8 e 1,1.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 39 DI 54

### 9.2.3 Verifica SLE - Tensione

Si riportano di seguito le verifiche effettuate per le sezioni più sollecitate tenendo conto che i limiti imposti per il controllo della tensione agli stati limite di esercizio sono quelli definiti nel MdP.

#### Combinazione Rara

- Calcestruzzo Compresso →  $\sigma_c = 0,55 \times f_{ck} = 22 \text{ N/mm}^2$
- Acciaio Teso →  $\sigma_s = 0,75 \times f_{yk} = 337,5 \text{ N/mm}^2$

Sollecitazioni massime SLE Rara soletta superiore sezione C, D:

C:	$N_{Ed} = 33,3 \text{ kN}$	D:	$N_{Ed} = 83,4 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = -47,8 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = -170 \text{ kN.m}$

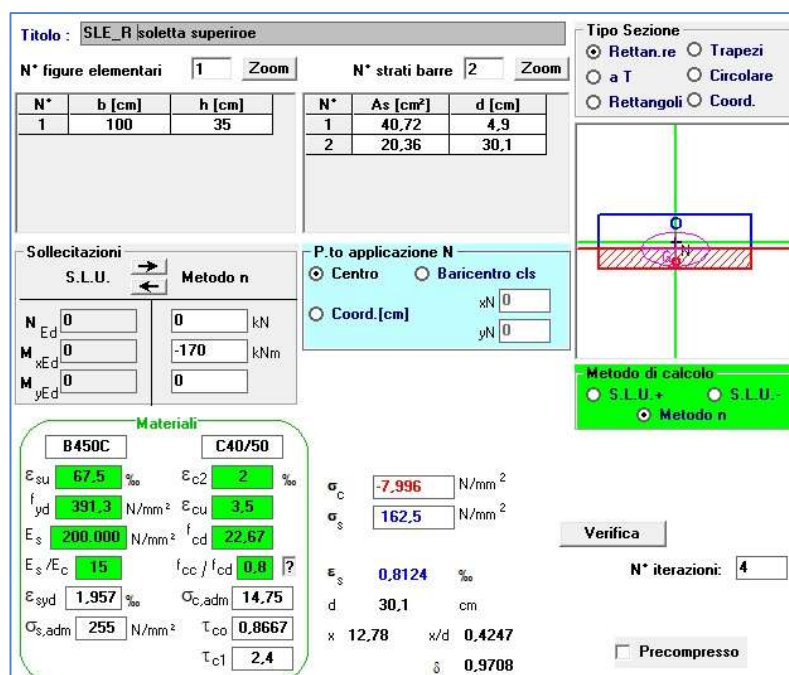
#### Combinazione Quasi Permanente

- Calcestruzzo Compresso →  $\sigma_c = 0,40 \times f_{ck} = 16 \text{ N/mm}^2$

Sollecitazioni massime SLE QP soletta superiore sezione C, D:

C:	$N_{Ed} = 34,6 \text{ kN}$	D:	$N_{Ed} = 43,8 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = -48,2 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = -57,3 \text{ kN.m}$

#### Combinazione Rara



Titolo: SLE\_R soletta superiore

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali: B450C, C40/50

$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  $\sigma_c$ : -7,996 N/mm²  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  $\sigma_s$ : 162,5 N/mm²  
 $E_s$ : 200.000 N/mm²  $f_{cd}$ : 22,67 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 14,75 ‰  $\epsilon_s$ : 0,8124 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²  $\tau_{co}$ : 0,8667  $d$ : 30,1 cm  
 $\tau_{c1}$ : 2,4  $x$ : 12,78  $x/d$ : 0,4247  
 $\delta$ : 0,9708

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Figura 9.4 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Rara

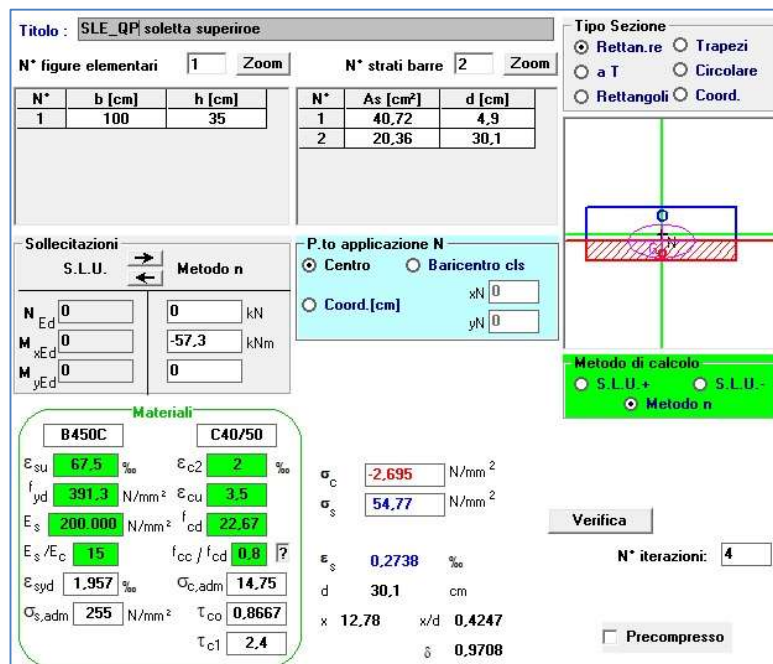
	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – RIO LUSSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 40 DI 54

$$\sigma_s = 162,5 \text{ N/mm}^2 < 337,5 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_c = 7,99 \text{ N/mm}^2 < 22 \text{ N/mm}^2.$$

**La verifica in combinazione rara pertanto risulta soddisfatta.**

### Combinazione Quasi Permanente



**Titolo:** SLE\_QP soletta superiore  
**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

**Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n  
**N<sub>Ed</sub>:** 0 kN  
**M<sub>xEd</sub>:** 0 kNm  
**M<sub>yEd</sub>:** 0 kNm

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

**Materiali:** B450C C40/50  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  22,67 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  14,75 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,8667  
 $\tau_{cl}$  2,4

$\sigma_c$  -2,695 N/mm²  
 $\sigma_s$  54,77 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0,2738 ‰  
 d 30,1 cm  
 x 12,78 x/d 0,4247  
 $\delta$  0,9708

**Verifica** **N° iterazioni:** 4  
 Precompresso

**Figura 9.5** - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Quasi Permanente

$$\sigma_s = 54,8 \text{ N/mm}^2 < 337,5 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_c = 2,7 \text{ N/mm}^2 < 16 \text{ N/mm}^2.$$

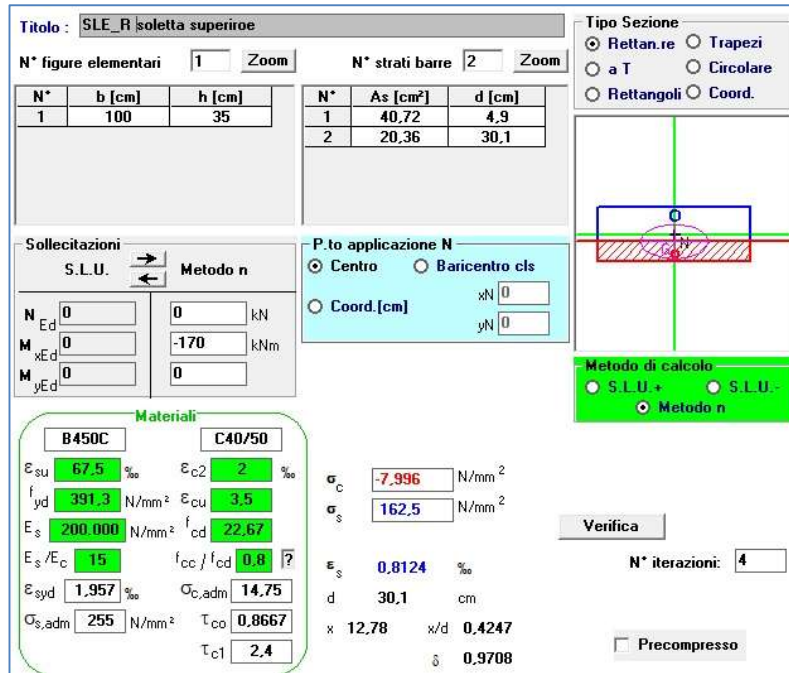
**La verifica in combinazione quasi permanente pertanto risulta soddisfatta.**

### 9.2.4 Verifica SLE - Fessurazione

Per quanto riguarda la scelta degli stati limite di fessurazione, si fa riferimento a quanto riportato al paragrafo 2.5.1.8.3.2.4 del MdP, il quale impone che per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili, come nel caso in esame, il limite da adottare per la verifica sia  $\delta_f \leq w_3 = 0,2 \text{ mm}$  in Combinazione Rara. Pertanto:



### Combinazione Rara



**Titolo:** SLE\_R soletta superiore

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

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

**N<sub>Ed</sub>:** 0 kN  
**M<sub>xEd</sub>:** -170 kNm  
**M<sub>yEd</sub>:** 0

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

**Materiali:** B450C C40/50

**σ<sub>c</sub>:** -7.996 N/mm<sup>2</sup>  
**σ<sub>s</sub>:** 162,5 N/mm<sup>2</sup>

**ε<sub>s</sub>:** 0,8124 ‰  
**d:** 30,1 cm  
**x:** 12,78 **x/d:** 0,4247  
**δ:** 0,9708

**Verifica** **N° iterazioni:** 4

Precompresso

Figura 9.6 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Rara

### Stato Limite di Apertura delle Fessure

#### Combinazione Rara

$\sigma_s$	162,5 N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura tesa valutata nella sezione fessurata in combinazione Rara
$k_t$	0,4	0,4 per carichi di lunga durata, 0,6 per carichi di breve durata
$f_{ctm}$	3,51 N/mm <sup>2</sup>	
$h_{c,eff}$	74,07 mm	
$A_{c,eff}$	74066,7 mm <sup>2</sup>	Area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura ( $h_{c,eff} \times t_w$ )
$\rho_{eff}$	0,041	
$\alpha_e$	5,96	Rapporto moduli elastici
$\epsilon_{sm}$	0,0006	Deformazione unitaria media delle barre
$k_1$	0,8	Per barre ad aderenza migliorata
$k_2$	0,5	Caso di flessione
$k_3$	3,4	
$k_4$	0,425	
$\Phi_1$	18 mm	
$\Phi_2$	0 mm	
$\Phi_{eq}$	18 mm	
$\Delta_{s,max}$	123,66 mm	Distanza massima tra le fessure
$w_3$	0,20 mm	Armatura poco sensibile
$w_{d(f)}$	0,12 mm	Valore di calcolo dell'apertura delle fessure

La verifica in combinazione rara pertanto risulta soddisfatta.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 42 DI 54

### 9.3 Verifica piedritti

Si riporta, analogamente a quanto fatto per la soletta superiore, le verifiche per gli altri elementi strutturali  
 Sollecitazioni massime piedritto sinistro A, E:

A:	$N_{Ed} = 301,4 \text{ kN}$	E:	$N_{Ed} = 369,47 \text{ kN}$
	$T_{Ed} = 154,5 \text{ kN}$		$T_{Ed} = 138,8 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = -220 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = -256,3 \text{ kN.m}$

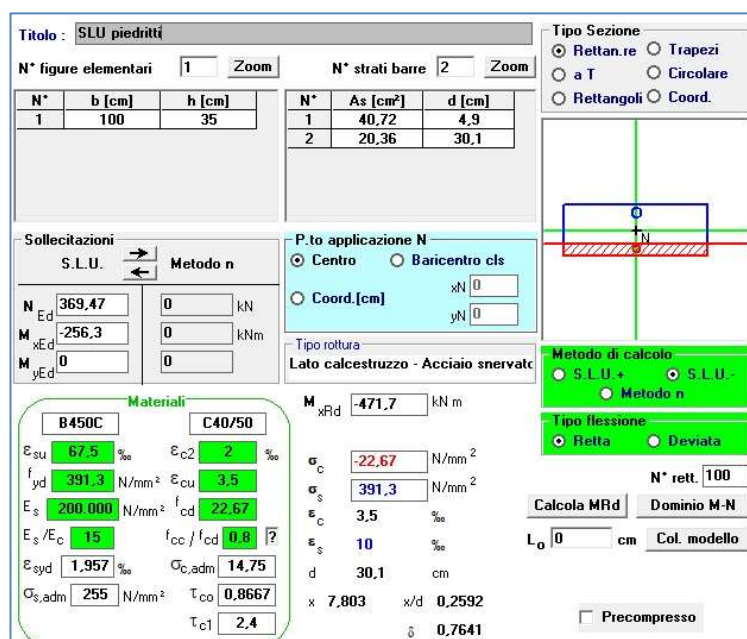
#### 9.3.1 Verifica SLU a Flessione.

Nello specifico, nel caso in esame:

$$A_{s_{min}} = \frac{M_{max}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{251,5 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 301 \cdot 391,3} = 2372,5 \text{ mm}^2/m$$

Si decide quindi, cautelativamente a quanto riportato al nodo della soletta superiore, di inserire superiormente armatura  $\varnothing 18$  a passo 6 cm (tesa) e inferiormente armatura  $\varnothing 18$  a passo 12 cm (compressa).

Il calcolo del momento resistente si è svolto mediante l'utilizzo del software VCASlu che ha validato il risultato analitico considerando le caratteristiche meccaniche precedentemente descritte.



**Titolo:** SLU piedritti

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40.72	4.9
			2	20.36	30.1

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

$N_{Ed}$  369.47 kN  
 $M_{xEd}$  -256.3 kNm  
 $M_{yEd}$  0 kNm

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

**Materiali:** B450C C40/50

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  22.67 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  14.75 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.8667 N/mm²  
 $\tau_{c1}$  2.4

**Metodo di calcolo:** S.L.U. + Metodo n  
**Tipo flessione:** Retta Deviata  
 N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 Precompresso

**Tipi rottura:** Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

$M_{xRd}$  -471.7 kNm  
 $\sigma_c$  -22.67 N/mm²  
 $\sigma_s$  391.3 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  10 ‰  
 d 30.1 cm  
 x 7.803 x/d 0.2592  
 $\delta$  0.7641

Figura 9.7 – Combinazione SLU - Momento massimo flettente

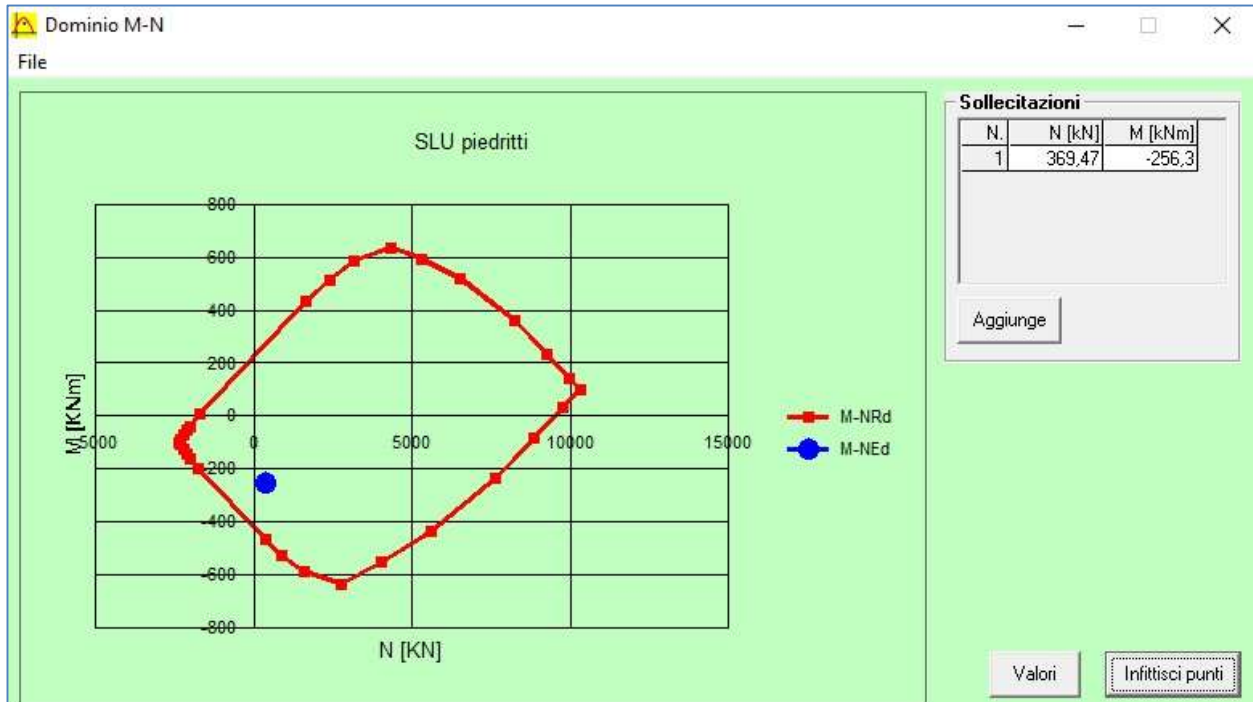


Figura 9.8 - Dominio di resistenza a flessione – Massimo momento flettente – FS = 1,8

### 9.3.2 Verifica SLU a Taglio

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 350$	mm altezza	$\gamma_s = 1,15$		coeff. sicurezza
$c = 48$	mm copriferro	$f_{yd} = 391,3$	MPa	resist. di calcolo

$f_{ck} = 40$  MPa resist. caratteristica      Armatura longitudinale tesa:

$\gamma_c = 1,50$       coeff. sicurezza       $A_{sl,1} = 16 \text{ } \emptyset 18 = 40,72 \text{ cm}^2$

$\alpha_{cc} = 0,85$       coeff. riduttivo       $A_{sl,2} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0,00 \text{ cm}^2$

$d = 302$  mm altezza utile       $A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0 = 0,00 \text{ cm}^2$

$f_{cd} = 22,67$  MPa resist. di calcolo       $40,72 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} = 0,0$  kN       $V_{ed} = 154,0$  kN

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1,814$       < 2

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0,541$

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0,02$        $\rho_1 = 0,013$       < 0,02

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = 0,00$  MPa      < 0,2  $f_{cd}$



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO**  
**IN02 – Rio LUSO**

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	IN0200 001	A	44 DI 54

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 248,3 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 163,3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 248,3 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

La verifica a taglio per i piedritti risulta soddisfatta senza apposita armatura a taglio. Cautelativamente, anche se non richiesto, si prevedere di inserire la medesima armatura a taglio utilizzata per la soletta superiore andando a **piegare a 45° 4Ø18 a passo 50 cm dell'armatura superiore.**

Pertanto:

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

$$\theta = 35,0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 45,0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \varnothing \quad 18 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 4 \quad \text{passo} \quad 50 \quad \text{cm} = 0,204 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0,90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg\alpha + \cotg\theta) \times \text{sen}\alpha \quad V_{Rsd} = 371,7 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 11,33 \quad \text{MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1,000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0,90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg\alpha + \cotg\theta) / (1 + \cotg^2\alpha) \quad V_{Rcd} = 2460,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 371,7 > 154,0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 2,4$$

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

**Le verifiche a flessione e a taglio per i piedritti risultano soddisfatti con un fattore di sicurezza FS rispettivamente pari a 1,8 e 2,4.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A	FOGLIO 45 DI 54

### 9.3.3 Verifica SLE - Tensione

#### Combinazione Rara

Sollecitazioni massime SLE Rara piedritti sezione A, E:

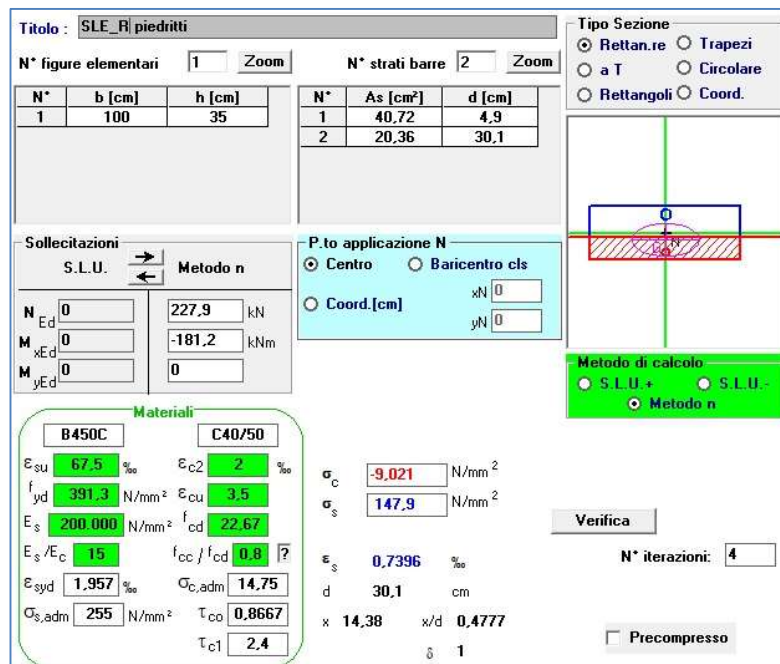
$$\begin{array}{ll}
 \text{A: } N_{Ed} = 170 \text{ kN} & \text{E: } N_{Ed} = 227,9 \text{ kN} \\
 M_{Ed} = -152,3 \text{ kN.m} & M_{Ed} = -181,2 \text{ kN.m}
 \end{array}$$

#### Combinazione Quasi Permanente

Sollecitazioni massime SLE QP piedritti sezione A, E:

$$\begin{array}{ll}
 \text{A: } N_{Ed} = 101,2 \text{ kN} & \text{E: } N_{Ed} = 93,4 \text{ kN} \\
 M_{Ed} = -54,8 \text{ kN.m} & M_{Ed} = -69,8 \text{ kN.m}
 \end{array}$$

#### Combinazione Rara



Titolo : SLE\_R|piedritti

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n  
 N<sub>Ed</sub> 0 227,9 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 -181,2 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

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

Materiali  
**B450C** **C40/50**  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 22,67 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,75 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,8667  
 τ<sub>c1</sub> 2,4

σ<sub>c</sub> -9,021 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 147,9 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,7396 ‰  
 d 30,1 cm  
 x 14,38 x/d 0,4777  
 δ 1

Verifica N° iterazioni: 4  
 Precompresso

Figura 9.9 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Rara

$$\sigma_s = 147,9 \text{ N/mm}^2 < 337,5 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_c = 9,02 \text{ N/mm}^2 < 22 \text{ N/mm}^2.$$

**La verifica in combinazione rara pertanto risulta soddisfatta.**

### Combinazione Quasi Permanente

Titolo : SLE\_QF piedritti

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 93,4 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 -68,8 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

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

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

Materiali  
 B450C C40/50  
 E<sub>su</sub> 67,5 ‰ E<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² E<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 22,57 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8 ?  
 E<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,75 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,8667 ‰  
 τ<sub>c1</sub> 2,4 ‰

σ<sub>c</sub> -3,439 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 55,42 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,2771 ‰  
 d 30,1 cm  
 x 14,51 x/d 0,4821  
 δ 1

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Figura 9.10 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Quasi Permanente

$$\sigma_s = 55,42 \text{ N/mm}^2 < 337,5 \text{ N/mm}^2;$$

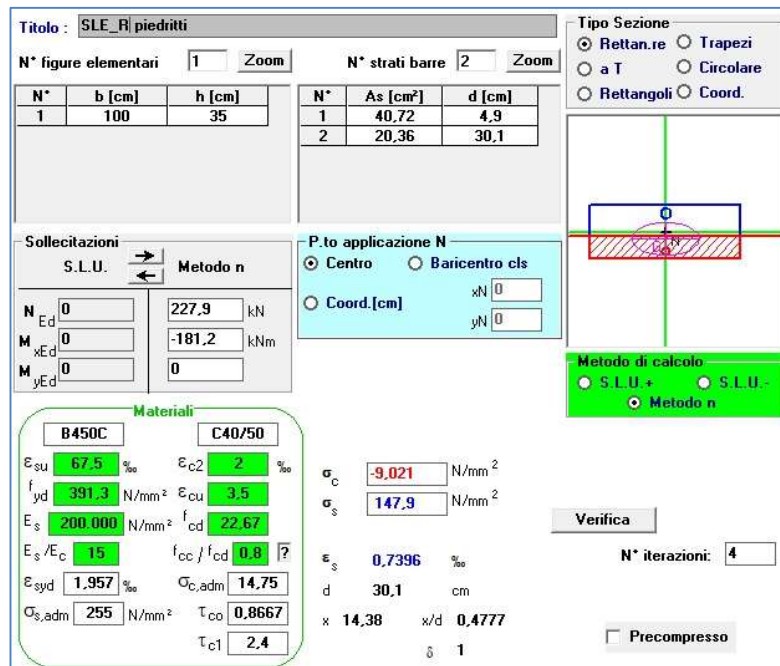
$$\sigma_c = 3,43 \text{ N/mm}^2 < 16 \text{ N/mm}^2.$$

**La verifica in combinazione quasi permanente pertanto risulta soddisfatta.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio LUSO</b>				
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA DOCUMENTO D 26 CL IN0200 001	REV. A

### 9.3.4 Verifica SLE - Fessurazione

#### Combinazione Rara



**Titolo:** SLE\_R|piedritti

**N° figure elementari:** 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

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

**N<sub>Ed</sub>:** 0 **227,9** kN  
**M<sub>xEd</sub>:** 0 **-181,2** kNm  
**M<sub>yEd</sub>:** 0

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

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

**Materiali:** B450C C40/50

**σ<sub>s</sub>:** -9,021 N/mm² **σ<sub>s</sub>:** 147,9 N/mm²

**ε<sub>s</sub>:** 0,7396 ‰ **N° iterazioni:** 4

**d:** 30,1 cm **x/d:** 0,4777

**Precompresso:**

Figura 9.11 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Rara

#### Stato Limite di Apertura delle Fessure

##### Combinazione Rara

$\sigma_s$	147,9 N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura tesa valutata nella sezione fessurata in combinazione Rara
$k_t$	0,4	0,4 per carichi di lunga durata, 0,6 per carichi di breve durata
$f_{ctm}$	3,51 N/mm <sup>2</sup>	
$h_{c,eff}$	66,80 mm	
$A_{c,eff}$	66800,0 mm <sup>2</sup>	Area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura ( $h_{c,eff} \times t_w$ )
$\rho_{eff}$	0,046	
$\alpha_e$	5,96	Rapporto moduli elastici
$\epsilon_{sm}$	0,0005	Deformazione unitaria media delle barre
$k_1$	0,8	Per barre ad aderenza migliorata
$k_2$	0,5	Caso di flessione
$k_3$	3,4	
$k_4$	0,425	
$\Phi_1$	18 mm	
$\Phi_2$	0 mm	
$\Phi_{eq}$	18 mm	
$\Delta_{s,max}$	119,38 mm	Distanza massima tra le fessure
$w_3$	0,20 mm	Armatura poco sensibile
$w_{d(f)}$	0,11 mm	Valore di calcolo dell'apertura delle fessure

**La verifica in combinazione rara pertanto risulta soddisfatta.**

## 9.4 Verifica soletta inferiore

Si riporta, analogamente a quanto fatto per gli altri elementi, le verifiche per la soletta inferiore.

Sollecitazioni massime soletta inferiore sezione G, H:

G:	$N_{Ed} = 98,22 \text{ kN}$	H:	$N_{Ed} = 159,2 \text{ kN}$
	$T_{Ed} = 258,8 \text{ kN}$		$T_{Ed} = 261,9 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = -93,8 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = -211,2 \text{ kN.m}$

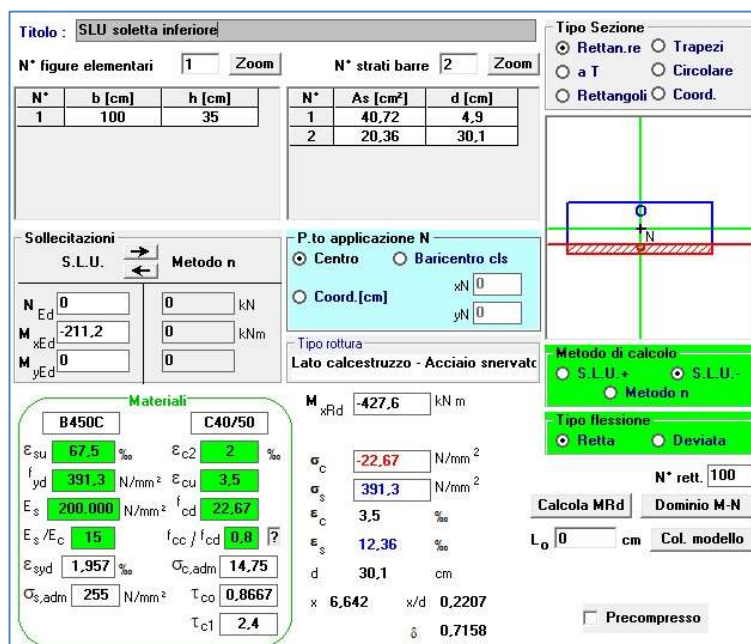
### 9.4.1 Verifica SLU a Flessione.

Nello specifico, nel caso in esame:

$$A_{s_{min}} = \frac{M_{max}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{211,2 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 301 \cdot 391,3} = 1992,39 \text{ mm}^2/m$$

Si decide quindi, analogamente a quanto previsto per gli altri elementi, di inserire superiormente armatura  $\varnothing 18$  a passo 6 cm (tesa) e inferiormente armatura  $\varnothing 18$  a passo 12 cm (compressa).

Il calcolo del momento resistente si è svolto mediante l'utilizzo del software VCASlu che ha validato il risultato analitico considerando le caratteristiche meccaniche precedentemente descritte. L'analisi è stata condotta trascurando, a favore di sicurezza, il contributo dello sforzo normale.



**Titolo:** SLU soletta inferiore

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
M<sub>xEd</sub>: -211,2 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro  
Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C, C40/50

Metodo di calcolo: S.L.U. +  
Tipo flessione: Retta

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

Precompresso:

Figura 9.12 – Combinazione SLU - Momento massimo flettente



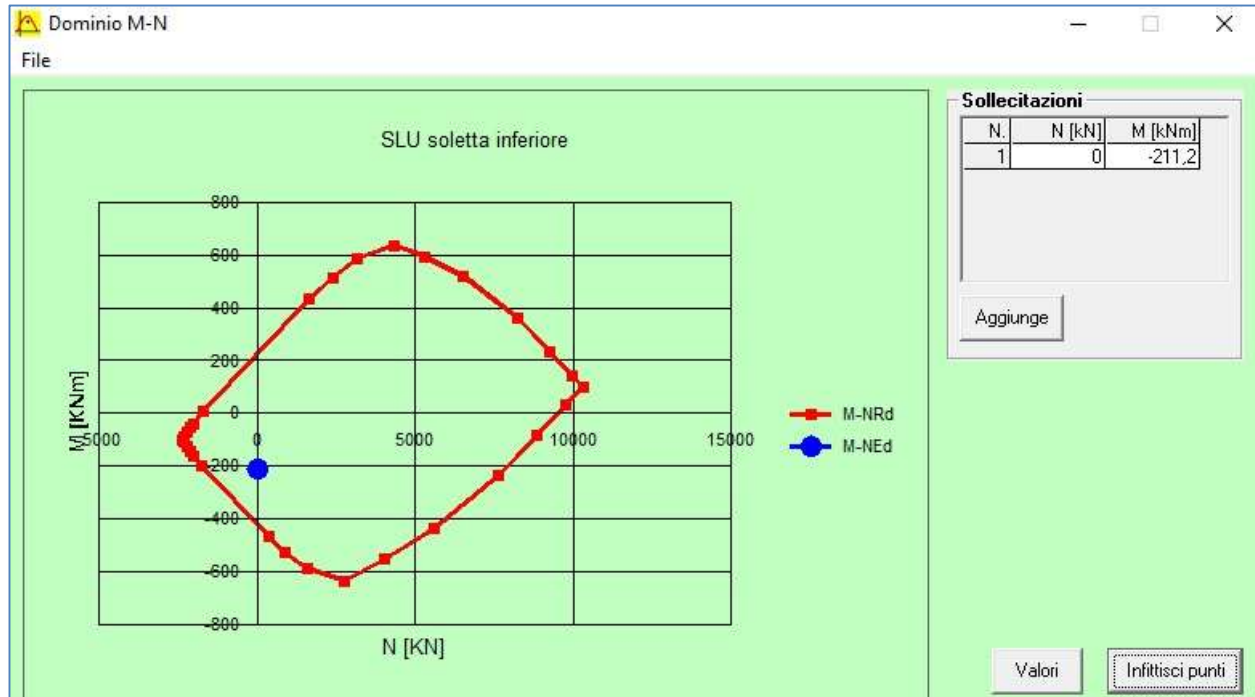


Figura 9.13 - Dominio di resistenza a flessione – Massimo momento flettente – FS = 2

#### 9.4.2 Verifica SLU a Taglio

##### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 350$	mm altezza	$\gamma_s = 1,15$		coeff. sicurezza
$c = 48$	mm copriferro	$f_{yd} = 391,3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 40$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1,50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 16$	$\emptyset 18$	$= 40,72 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0,85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0,00 \text{ cm}^2$
$d = 302$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0,00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 22,67$	MPa resist. di calcolo			$40,72 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} = 0,0 \text{ kN}$                        $V_{ed} = 261,9 \text{ kN}$

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1,814$	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0,541$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0,02$	$\rho_1 = 0,013$	$< 0,02$
$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0,00$	MPa $< 0,2 f_{cd}$

$$V_{Rd} = (0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 248,3 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 163,3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 248,3 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

La sezione non risulta verificata in assenza di armatura a taglio, pertanto dev'essere inserita un'apposita armatura valutata sulla base di un'adeguata schematizzazione a traliccio.

Nel caso in esame, analogamente al resto della struttura, si prevede di **piegare a 45° 4Ø18 a passo 50 cm dell'armatura superiore.**

Pertanto:

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

$$\theta = 35,0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 45,0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \varnothing \quad 18 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 4 \quad \text{passo} \quad 50 \quad \text{cm} = 0,204 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0,90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg\alpha + \cotg\theta) \times \text{sen}\alpha \quad V_{Rsd} = 371,7 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 11,33 \quad \text{MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1,000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0,90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg\alpha + \cotg\theta) / (1 + \cotg^2\alpha) \quad V_{Rcd} = 2460,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 371,7 > 261,9 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1,4$$

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

**Le verifiche a flessione e a taglio per la soletta inferiore risultano soddisfatte con un fattore di sicurezza FS rispettivamente pari a 2 e 1,4.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – RIO LUSSO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A

### 9.4.3 Verifica SLE - Tensione

#### Combinazione Rara

Sollecitazioni massime SLE Rara soletta superiore sezione G, H:

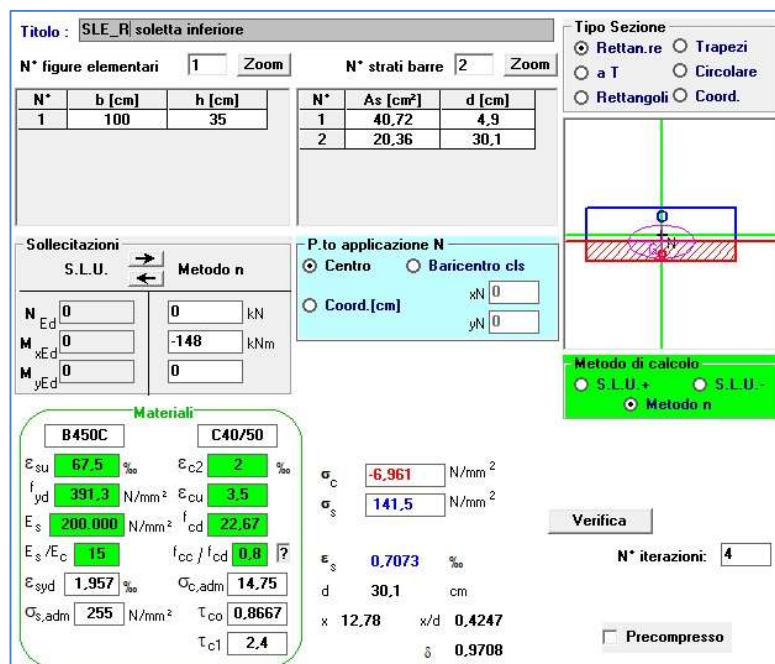
G:	$N_{Ed} = 27,01 \text{ kN}$	H:	$N_{Ed} = 107,2 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = 61,9 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = -148,7 \text{ kN.m}$

#### Combinazione Quasi Permanente

Sollecitazioni massime SLE QP soletta superiore sezione C, D:

G:	$N_{Ed} = 48,6 \text{ kN}$	H:	$N_{Ed} = 52,9 \text{ kN}$
	$M_{Ed} = 36,3 \text{ kN.m}$		$M_{Ed} = 52,6 \text{ kN.m}$

#### Combinazione Rara



Titolo: SLE\_RI soletta inferiore

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

Tipo Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

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

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

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

Materiali: B450C C40/50

ε<sub>su</sub>: 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub>: 2 ‰  
f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub>: 3,5 ‰  
E<sub>s</sub>: 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub>: 22,67 N/mm²

σ<sub>c</sub>: -6,961 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 141,5 N/mm²

Verifica: N° iterazioni: 4

ε<sub>s</sub>: 0,7073 ‰  
d: 30,1 cm  
x: 12,78 x/d: 0,4247  
τ<sub>co</sub>: 0,8667  
τ<sub>c1</sub>: 2,4  
δ: 0,9708

Precompresso

Figura 9.14 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Rara

$$\sigma_s = 141,5 \text{ N/mm}^2 < 337,5 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_c = 6,96 \text{ N/mm}^2 < 22 \text{ N/mm}^2.$$

La verifica in combinazione rara pertanto risulta soddisfatta.

### Combinazione Quasi Permanente

Titolo : SLE\_QP soletta inferiore

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 -52,6 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0

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

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

Materiali  
 B450C C40/50  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 22,67  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 14,75  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,8667  
 τ<sub>c1</sub> 2,4

σ<sub>c</sub> -2,474 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 50,28 N/mm²

Verifica  
 N° iterazioni: 4  
 Precompresso

ε<sub>s</sub> 0,2514 ‰  
 d 30,1 cm  
 x 12,78 x/d 0,4247  
 δ 0,9708

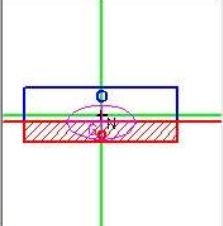


Figura 9.15 - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Quasi Permanente

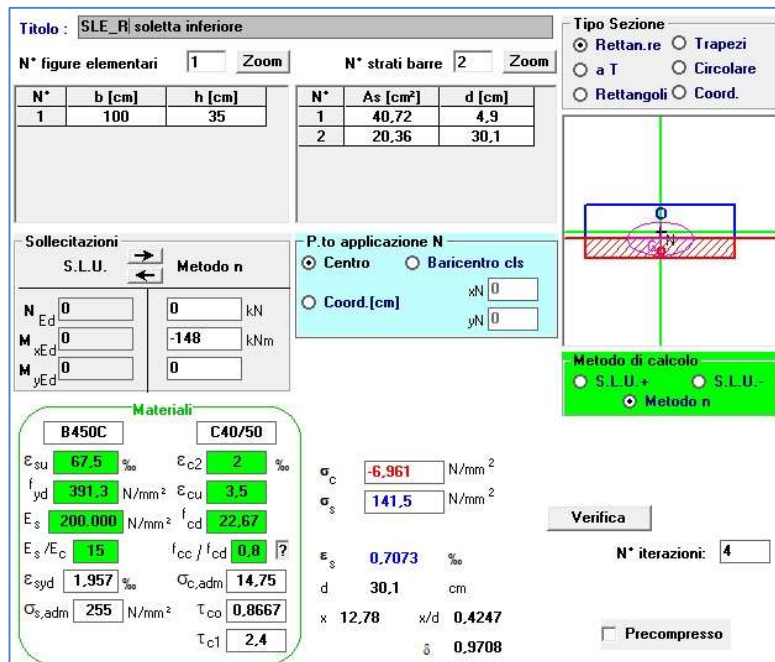
$$\sigma_s = 50,28 \text{ N/mm}^2 < 337,5 \text{ N/mm}^2;$$

$$\sigma_c = 2,47 \text{ N/mm}^2 < 16 \text{ N/mm}^2.$$

La verifica in combinazione quasi permanente pertanto risulta soddisfatta.

#### 9.4.4 Verifica SLE - Fessurazione

##### Combinazione Rara



**Titolo:** SLE\_RI soletta inferiore

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	35	1	40,72	4,9
			2	20,36	30,1

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

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

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

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

**Materiali:**  
**B450C:** E<sub>su</sub>: 67,5 ‰; f<sub>yd</sub>: 391,3 N/mm²; E<sub>s</sub>: 200.000 N/mm²; E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>: 15; E<sub>syd</sub>: 1,957 ‰; σ<sub>s,adm</sub>: 255 N/mm²  
**C40/50:** E<sub>c2</sub>: 2 ‰; E<sub>cu</sub>: 3,5; f<sub>cd</sub>: 22,67; σ<sub>c,adm</sub>: 14,75; τ<sub>co</sub>: 0,8667; τ<sub>c1</sub>: 2,4

**Calcoli:**  
σ<sub>c</sub>: -6,961 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 141,5 N/mm²  
E<sub>s</sub>: 0,7073 ‰  
d: 30,1 cm  
x: 12,78    x/d: 0,4247  
δ: 0,9708

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

**Verifica:** N° iterazioni: 4

Precompresso

**Figura 9.16** - Controllo di tensione agli SLE della sezione più sollecitata – Combinazione Rara

#### Stato Limite di Apertura delle Fessure

##### Combinazione Rara

σ <sub>s</sub>	141,5 N/mm <sup>2</sup>	Tensione nell'armatura tesa valutata nella sezione fessurata in combinazione Rara
k <sub>t</sub>	0,4	0,4 per carichi di lunga durata, 0,6 per carichi di breve durata
f <sub>ctm</sub>	3,51 N/mm <sup>2</sup>	
h <sub>c,eff</sub>	74,07 mm	
A <sub>c,eff</sub>	74066,7 mm <sup>2</sup>	Area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura (h <sub>c,eff</sub> x t <sub>w</sub> )
ρ <sub>eff</sub>	0,041	
α <sub>e</sub>	5,96	Rapporto moduli elastici
ε <sub>sm</sub>	0,0005	Deformazione unitaria media delle barre
k <sub>1</sub>	0,8	Per barre ad aderenza migliorata
k <sub>2</sub>	0,5	Caso di flessione
k <sub>3</sub>	3,4	
k <sub>4</sub>	0,425	
Φ <sub>1</sub>	18 mm	
Φ <sub>2</sub>	0 mm	
Φ <sub>eq</sub>	18 mm	
Δ <sub>s,max</sub>	123,66 mm	Distanza massima tra le fessure
w <sub>3</sub>	0,20 mm	Armatura poco sensibile
w <sub>d(r)</sub>	0,10 mm	Valore di calcolo dell'apertura delle fessure

**La verifica in combinazione rara pertanto risulta soddisfatta.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b> <b>IN02 – Rio Lusso</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN0200 001	REV. A	FOGLIO 54 DI 54

## 10 CONCLUSIONI

In virtù di quanto sopra descritto, con particolare riferimento:

- alle caratteristiche geometriche della struttura in oggetto;
- alla tipologia di vincoli esterni;
- alle caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati;
- alle caratteristiche del terreno di fondazione;
- al modello di calcolo;
- ai carichi agenti;

si conclude che la struttura in oggetto della presente relazione è conforme ai criteri di progettazione e di resistenza indicati dalla normativa vigente.

### Riassunto incidenze:

Si riportano le incidenze afferenti ai singoli elementi in calcestruzzo:

Soletta superiore:	215 kg/m <sup>3</sup>
Piedritto destro:	170 kg/m <sup>3</sup>
Piedritto sinistro:	170 kg/m <sup>3</sup>
Soletta inferiore:	215 kg/m <sup>3</sup>