

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

FV01 – FERMATA FINALE LIGURE

Relazione di calcolo

Prolungamento sottopasso

SCALA:

-

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

I V 0 1 | 0 0 | D | 2 6 | C L | F V 0 1 0 0 | 0 0 2 | A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P.L. Carci <i>P.L. Carci</i>	Febbraio 2022	M. Severi <i>M. Severi</i>	Febbraio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Febbraio 2022	A Perego Febbraio 2022

File: IV0100D26CLFV0100002A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	3
2.1	GEOMETRIA	3
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
3.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	4
3.2	ELABORATI PROGETTUALI	5
4	MATERIALI	5
4.1	CALCESTRUZZO PER MAGRONE	5
4.2	CALCESTRUZZO PER FONDAZIONE ED ELEVAZIONE	5
4.3	ACCIAIO B450C	5
4.4	VALORI LIMITI TENSIONALI ALLO SLE	5
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	6
5.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO	7
5.2	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA	7
6	ANALISI DEI CARICHI	8
6.1	PESI PROPRI	8
6.2	AZIONI PERMANENTI	8
6.2.1	<i>Ricoprimento, ballast e armamento</i>	8
6.2.2	<i>Pavimentazione sottopasso</i>	8
6.3	SPINTA DEL TERRENO	9
6.4	CARICHI FOLLA	9
6.5	RITIRO DIFFERENZIALE DELLA SOLETTA DI COPERTURA	9
6.6	AZIONE TERMICA	12
6.7	AZIONE SISMICA	12
6.7.1	<i>Sovrappinta sismica</i>	13
6.7.2	<i>Azione sismica inerziale</i>	13
7	COMBINAZIONI DI CARICO	13
7.1	ELENCO COMBINAZIONI	16
8	MODELLO DI CALCOLO	24
8.1	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	24
8.2	AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO	24
9	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	25
10	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO	29
10.1	SEZIONE 1	29
10.2	SEZIONE 2	31
10.3	SEZIONE 3	33
10.4	SEZIONE 4	35
10.5	SEZIONE 5	36
10.6	SEZIONE 6	38
11	VERIFICHE GEOTECNICHE	40

1 PREMESSA

Nella presente relazione sono riportate le verifiche strutturali relative al prolungamento del sottopasso scatolare esistente "FV01" da realizzarsi in corrispondenza della fermata Finale Ligure nell'ambito del progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora in corrispondenza della progressiva chilometrica pk 65+811.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il prolungamento del sottopasso esistente di stazione verrà realizzato previo demolizione dell'attuale parete di chiusura terminale del sottopasso esistente ed a mezzo di due brevi paratie di micropali laterali al sottopasso esistente che consentiranno di eseguire lo scavo limitando lo sbancamento.

Le paratie di micropali sono oggetto di separata relazione di calcolo.

Una volta eseguite le paratie e terminato lo scavo lo scatolare verrà eseguito "in adiacenza" a quello esistente costituendone il prolungamento.

La struttura è caratterizzata, lungo il suo sviluppo al disotto della banchina, da una sezione scatolare trasversale costante. Nelle analisi viene perciò presa in considerazione una striscia di sezione scatolare di lunghezza unitaria.

2.1 Geometria

La sezione trasversale retta dello scatolare ha una larghezza interna di $L_{int} = 4.80$ m ed un'altezza netta di $H_{int} = 2.95$ m; lo spessore della platea di fondazione è di $S_f = 0.70$ m, lo spessore dei piedritti è di $S_p = 0.60$ m e lo spessore della soletta di copertura è di $S_s = 0.60$ m. Il ricoprimento, compreso tra soletta superiore e il piano del ferro, è pari ad 1.00 m.

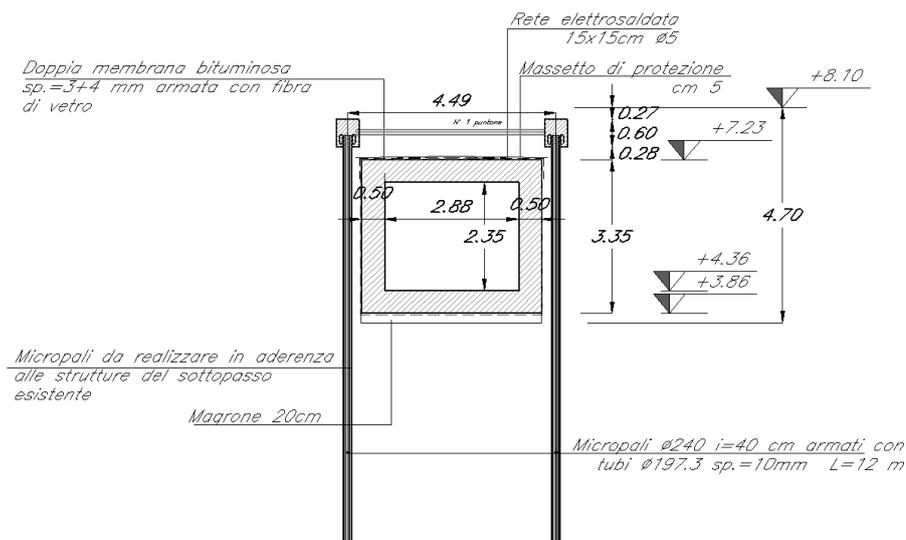


Figura 1 – sezione trasversale

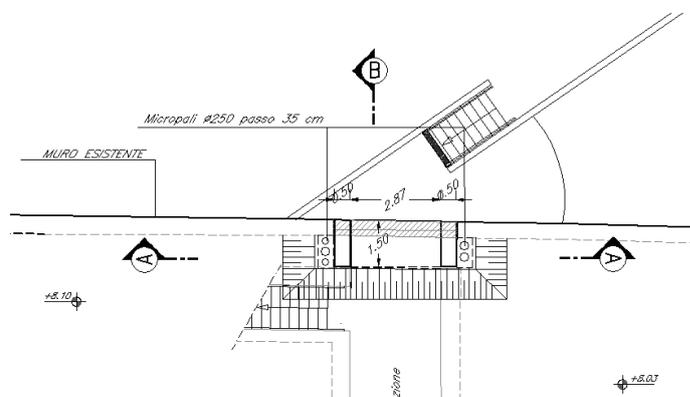


Figura 2 – Planimetria ante-operam

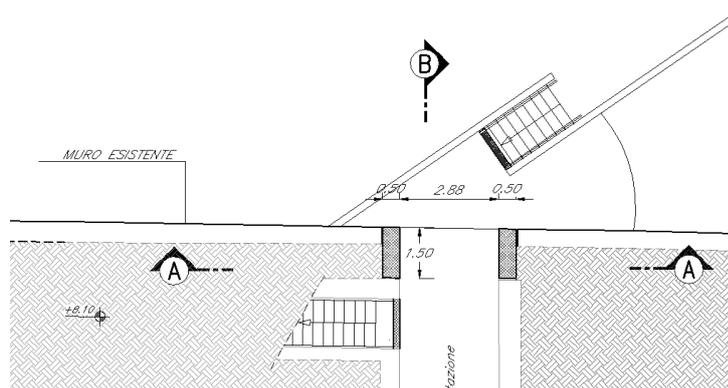


Figura 3 – Planimetria post-operam

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Normative di riferimento

- [1]. L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- [2]. L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [4]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

- [6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [7]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- [8]. RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili. Parte II – Sezione 6 - Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- [9]. UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [10]. UNI EN 1991-1-2 (2005) - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali
- [11]. UNI EN 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [12]. UNI EN 1998-1 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [13]. UNI EN 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [14]. D.M. 31.07.2012: Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici.

3.2 Elaborati progettuali

Prolungam. Sottop. - Carpenterie - Piante sezioni e particolari costruttivi	IV0I00D26BZ FV0100001B
Prolungam. Sottop. - Carpenterie sezioni	IV0I00D26BA FV0100003B

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo per magrone

Conglomerato classe di resistenza C12/15 (R_{ck} 15 MPa)

Classe di esposizione:	X0
Classe di consistenza	S3

4.2 Calcestruzzo per fondazione ed elevazione

Conglomerato classe di resistenza 32/40 (R_{ck} 40 MPa)

Classe di esposizione	XC4
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo (FS N°I/SC/PS-OM/2298)	50 mm

4.3 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450$ MPa;
Tensione di progetto:	$f_{yd} = 391.3$ MPa;
Modulo Elastico	$E_s = 210'000$ MPa.

4.4 Valori limiti tensionali allo SLE

Limiti tensionali allo SLE, secondo “RFI DTC SI MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili”.

Tensioni di compressione del calcestruzzo:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara) $0.55 f_{ck}$;
- Per combinazioni di carico Quasi Permanente $0.40 f_{ck}$;

Nel seguito verrà presa in esame la sola combinazione di carico Caratteristica (Rara) con limite tensionale $0.40 f_{ck}$.

Tensioni di trazione nell'acciaio:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara) $0.75 f_{yk}$.

Fessurazione:

- Combinazione Caratteristica (Rara) $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La stratigrafia dei terreni con i quali la struttura interagisce è stata determinata in base al profilo geotecnico di Finale Ligure. Si riporta di seguito la successione stratigrafica dei terreni in corrispondenza delle opere in esame:

Strato 1 - dal p.c. alla profondità di 8.10m (cioè da quota +8.10 m s.l.m. a +0.00 m s.l.m.)

UNITÁ 1 - Terreno vegetale e materiale di riporto eterogeneo composto generalmente da sabbia e ghiaia da debolmente limosa a limosa, di colore variabile da marrone rossastro a grigio verdastro. Si rinvencono saltuariamente frammenti di laterizi, materiale organico e plastico, clasti litoidi maggiori di 10cm.

Strato 2 - dalla profondità di 8.10 m alla profondità di 21.10 m (cioè da quota +0.00 m s.l.m. a -13.00 m s.l.m.)

UNITÁ 2 - Ghiaia da con sabbia a sabbiosa localmente limosa, saltuariamente ghiaia con argilla, sabbia da media a grossolana, con ghiaia e/o con limo o debolmente limoso ghiaiosa, da moderatamente addensata a molto addensata. I clasti sono poligenici, da subangolari a subarrotondati, con diametro variabile da 3 a 10 cm. Il colore è nocciola ocreo, marrone, marrone giallastro, marrone rossastro o verdastro, talvolta grigio. Sono presenti, a varie quote, blocchi poligenici generalmente silicatici a volte di natura calcarea e/o arenacea.

Strato 3 - dalla profondità di 21.00 m alla profondità di 35.50 m (cioè da quota -13.00 m s.l.m. a -27.50 m s.l.m.)

SUBSTRATO LITOIDE - QUARZITI DI PONTE DI NAVA (PDN): quarziti biancastre e verdoline, in strati e banchi, a volte scistose e cloritiche, con intercalazioni di peliti verso la sommità (Scitico).

DOLOMIE DI SAN PIETRO DEI MONTI (SPM): dolomie calcaree e calcari dolomitici (Ladinico - Anisico).

Nella tabella seguente si riportano i parametri geotecnici medi dei terreni descritti:

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	18.0	-	0	27÷31	10÷20	0.3	-
Unità 2	19.0	-	0	30÷32	25÷30	0.3	-

Il livello della falda risulta alla profondità di circa 7.00 m dal p.c..

In base alla relazione geotecnica della tratta Finale Ligure – Andora, relativa alle tratte all'aperto (documento L371 00 26 RB GE0005 001A), ai fini del calcolo dell'azione sismica il terreno relativo alla tratta all'aperto di Finale Ligure risulta definito come segue:

Categoria di suolo di fondazione di tipo **“B”** ovvero *“depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa”)*.

Per le porzioni in rilevato ferroviario esistente si assumono le seguenti caratteristiche geotecniche dei terreni:

$$\phi = 27^\circ \quad \gamma = 18 \text{ kPa} \quad c' = 0 \quad E_d = 15 \text{ MPa}$$

5.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera è stato assunto un peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

5.2 Interazione terreno-struttura

Il terreno di rinfiacco dell'opera è caratterizzato dai parametri geotecnici del rilevato ferroviario esistente assunti costanti lungo l'altezza dello scatolare:

$$\begin{aligned} \gamma &= 18 \text{ [kN/m}^3\text{]} \\ c' &= 0 \text{ [kPa]} \\ \phi' &= 27 \text{ [}^\circ\text{]} \end{aligned}$$

Si tiene conto dell'interazione terreno – struttura in fondazione mediante l'introduzione di molle in grado di schematizzare il comportamento del terreno. Si assume, in modo conservativo rispetto a quanto indicato nella Relazione Geotecnica Generale, una costante di sottofondo (Winkler) pari a:

$$k_w = 10000 \text{ kN/m}^3$$

I valori delle molle vengono differenziati dal programma di calcolo in funzione della zona di appoggio (laterale, intermedia e centrale) secondo lo schema in figura.

Interasse molle	$i = \left(\frac{S_p}{2} + L_{int} + \frac{S_p}{2} \right) / 10$	[m]
Molle centrali	$k_1 = k_w * i$	[kN/m]
Molle intermedie	$k_2 = 1,5 * k_w * i$	[kN/m]
Molle laterali	$k_3 = 2 * k_w * \left(\frac{i}{2} + \frac{S_p}{2} \right)$	[kN/m]

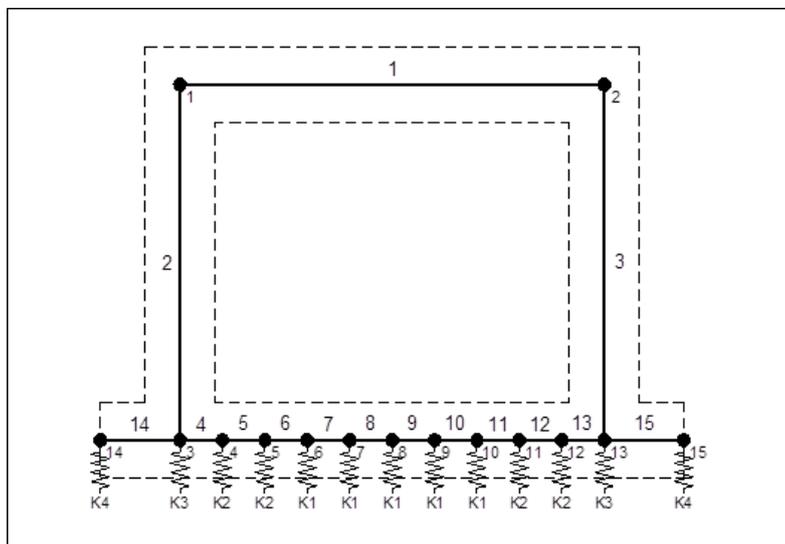


Figura 4 Modellazione letto di molle

In relazione alla geometria dello scatolare si introducono solo molle di caratteristica k_1 e k_2 .

6 ANALISI DEI CARICHI

6.1 Pesi propri

Il peso proprio delle strutture è imputato direttamente dal programma di calcolo utilizzando per il calcestruzzo un peso specifico di 25 kN/m^3 .

6.2 Azioni permanenti

6.2.1 Ricoprimento, ballast e armamento

La determinazione del carico permanente portato dovuto al peso del riempimento di banchina per una altezza di circa 1.15 m è data da:

$$G_{2\text{ric}} = 18.0 \times 1.15 \times 1.00 = 20.7 \text{ kN/m}$$

6.2.2 Pavimentazione sottopasso

Si considera un carico delle strutture di finitura interne al sottopasso di:

$$G_{2\text{PAV}} = 1.50 \text{ kN/m}$$

6.3 Spinta del terreno

Benchè ai lati del nuovo scatolare sia presente la paratia di micropali provvisoria per l'esecuzione dello scavo, si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo da parte di un rinfianco avente le caratteristiche del rilevato ferroviario esistente.

Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione (Jaky):

$$K_0 = 1 - \sin\phi = 1 - \sin 38^\circ = 0.384$$

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità z e la spinta totale sulla parete di altezza H valgono:

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

Dove:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ è il peso per unità di volume del terreno di rinfianco;
- H = l'altezza dell'opera in esame;
- p_v è la pressione verticale agente in corrispondenza del solettone superiore pari a $G_{2,ric}$

6.4 Carichi folla

All'interno ed all'esterno dello scatolare viene considerato un carico di esercizio uniformemente distribuito di intensità $5,0 \text{ kN/m}$

6.5 Ritiro differenziale della soletta di copertura

Gli effetti del ritiro vengono valutati a "lungo termine" attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale $\epsilon_{cs}(t, t_0)$ e di viscosità $\phi(t, t_0)$, come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D.M.17-01-2018. I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro.

Cls a t=0

$$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cubica caratteristica

$$f_{ck} = 33.2 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cilindrica caratteristica

$$f_{cm} = 41.2 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a compressione cilindrica media

$$\alpha = 1.0E-05$$

$$E_{cm} = 33643 \text{ N/mm}^2$$

Modulo elastico secante medio

Tempo e ambiente

t_s	=	3	gg	<i>età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento</i>
t_0	=	7	gg	<i>età del calcestruzzo in giorni al momento del carico</i>
t	=	25550	gg	<i>età del calcestruzzo in giorni</i>
$h_0=2A_c/u$	=	1000	mm	<i>dimensione fittizia dell'elemento di cls</i>
A_c	=	500000	mm ²	<i>sezione dell'elemento</i>
u	=	1000	mm	<i>perimetro a contatto con l'atmosfera</i>
RH	=	80	%	<i>umidità relativa percentuale</i>

Coefficiente di viscosità $\phi(t, t_0)$ e modulo elastico EC_t a tempo "t"

$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) =$	1.982
$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) =$	119.87 <i>coeff nominale di viscosità</i>
$\phi_{RH} = 1 + \left[\frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 =$	1.173 <i>coeff che tiene conto dell'umidità</i>
$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.892 <i>coeff per la resistenza del cls</i>
$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.968 <i>coeff per la resistenza del cls</i>
$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} =$	2.617 <i>coeff che tiene conto della resistenza del cls</i>
$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} =$	0.572 <i>coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo</i>
$t_o = t_0 \left(\frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$	12.11 <i>coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo</i>
$\alpha =$	1 <i>coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)</i>
$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{u.3} =$	0.984 <i>coeff per la variabilità della viscosità nel tempo</i>
$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 =$	1382.5 <i>coeff che tiene conto dell'umidità relativa</i>
$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35MPa \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35MPa \end{cases} =$	0.922 <i>coeff per la resistenza del calcestruzzo</i>

Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11281951 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000292 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000234 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[\frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.952823$$

$K_h =$

0.7

parametro che dipende da h_0 secondo il prospetto seguente

Valori di k_h

h_0	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

Valori di K_h intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[(200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000351$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 0.756400$$

$f_{cm0} = 10$ Mpa

$RH0 = 100$ %

$\alpha_{ds1} = 6$ coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)

$\alpha_{ds2} = 0.11$ coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000058 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000058$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{ritiro} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -9.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura

6.6 Azione Termica

In accordo con quanto previsto dal MdP RFI 2019, al trasverso superiore e piedritti si applica una variazione termica uniforme pari a $\Delta t = \pm 15^\circ\text{C}$. In aggiunta, sul solo traverso superiore, verrà considerata una variazione nello spessore tra estradosso ed intradosso pari a $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$.

6.7 Azione Sismica

Nel seguente paragrafo sono riportati i parametri sismici in accordo a quanto specificato dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

Il sito dove sorgerà la costruzione si trova alle coordinate $44^\circ.1692645\text{ N} - 8^\circ.3406126$



Figura 5

In relazione alla tipologia strutturale e alla sua destinazione d'uso si è preso in esame il solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

- Vita nominale: $V_N = 75$ anni
- Classe d'Uso IV
- Coefficiente d'uso: $C_U = 2.0$
- Periodo di riferimento: $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni
- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV
- Probabilità di superamento associata allo stato limite SLV: $PVR = 10\%$
- Periodo di ritorno: $T_R = - V_R / \ln(1 - PVR) = 1424$ anni
- Categoria topografica: T1 coefficiente topografico $S_T = 1$

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]	S_s	S_t
SLV	1424	0.131	2.521	0.311	1.200	1.00

6.7.1 Sovraspinta sismica

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico (N.T.C. par. 7.11.6). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NTC par. 7.11.6.2.1 e EC8-5 par.7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo, condizione che comporta il calcolo delle spinte in condizione sismica con l'incremento dinamico di spinta del terreno calcolato secondo la formula di Wood:

$$\Delta P_d = S * \frac{a_g}{g} * \gamma * h_{tot}^2$$

La spinta si considera come un carico uniformemente distribuito su h_{tot} .

6.7.2 Azione sismica inerziale

Anche per queste azioni 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 $F_h = k_h * W$
- Forza sismica verticale $F_v = k_v * W$

Essendo W il peso del cuneo e k_h e k_v i coefficienti definiti al par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018, corretti in base alle indicazioni del cap. 3.10.3.1 del Manuale di Progettazione sez.III

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

Dove:

$\beta_m = 1,0$ coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verrà eseguita mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni rispettano le prescrizioni fornite dalle NTC 2018,

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (2.5.3 – NTC2018).

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (frequente), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (quasi permanente), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (SLE):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

- Azioni Permanenti (G);
- Azioni Variabili (Q);
- Azioni di Precompressione (P);
- Azioni Eccezionali (A);
- Azioni Sismiche (E) = $\pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$

avendo indicato con E_Y e E_Z rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla Tab. 5.2.VI:

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (da DM 17/01/2018)

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr ₁	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr ₂	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr ₃	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr ₄	1,00	1,00 ⁽¹⁾	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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qj} sono dati in Tab. 5.2.V:

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

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

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

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

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

Nel calcolo della struttura scatolare, si è fatto riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (Approccio 2) per le verifiche strutturali e geotecniche, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale, il coefficiente R3 non deve essere portato in conto.

Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte. Le prime sei condizioni sono definite in automatico dal programma.

Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

Condizione di carico n°7 (ritiro)

Term	Traverso	Dte= -9.81	Dti= -9.81
Term	Pied_S	Dte= -9.81	Dti= -9.81
Term	Pied_D	Dte= -9.81	Dti= -9.81

Condizione di carico n°8 (termica uniforme)

Term	Traverso	Dte= -15.00	Dti= -15.00
------	----------	-------------	-------------

Condizione di carico n°9 (termica uniforme (-))

Term	Traverso	Dte= 15.00	Dti= 15.00
------	----------	------------	------------

Condizione di carico n°10 (termica farfalla)

Term	Traverso	Dte= -5.00	Dti= 5.00
------	----------	------------	-----------

Condizione di carico n° 11 (permanente)

Distr	Fondaz.	$X_i = 0.50$	$X_f = 3.38$	$V_{ni} = 1.50$	$V_{nf} = 1.50$	$V_{ti} = 0.00$	$V_{tf} = 0.00$
-------	---------	--------------	--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Condizione di carico n° 12 (folla interna)

Distr	Fondaz.	$X_i = 0.50$	$X_f = 3.38$	$V_{ni} = 5.00$	$V_{nf} = 5.00$	$V_{ti} = 0.00$	$V_{tf} = 0.00$
-------	---------	--------------	--------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Condizione di carico n° 13 (folla superiore)

Distr	Terreno	$X_i = -3.37$	$X_f = 7.25$	$V_{ni} = 5.00$	$V_{nf} = 5.00$		
-------	---------	---------------	--------------	-----------------	-----------------	--	--

Condizione di carico n° 14 (termica farfalla (-))

Term	Traverso	$D_{te} = 5.00$	$D_{ti} = -5.00$				
------	----------	-----------------	------------------	--	--	--	--

Condizione di carico n° 15 ()

Condizione di carico n° 16 ()

7.1 Elenco combinazioni

Si riportano di seguito le combinazioni di carico ritenute più significative adottate nel calcolo.

Essendo la struttura simmetrica, si adottano tipologie di combinazione asimmetriche in modo da massimizzare le sollecitazioni. Il dimensionamento delle armature e le verifiche strutturali verranno poi eseguite tenendo conto della simmetria e verificando le condizioni peggiori per ogni lato della struttura.

Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 2 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folla superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 3 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folla interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folla interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folla superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 5 SLU (Approccio 2)

Effetto	γ	Ψ	C
----------------	----------	--------	----------

**PROGETTO DEFINITIVO
 Relazione di Calcolo
 Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FV0100 002	REV. A	FOGLIO 17 di 40
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniform	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 6 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniform	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 7 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniform	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 8 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 9 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 10 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 11 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniform	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

**PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di Calcolo
Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FV0100 002	REV. A	FOGLIO 18 di 40
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
----------------------	-------------	------	------	------

Combinazione n° 12 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniforme	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 13 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica uniforme	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 14 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 15 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 16 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	0.75	0.90

Combinazione n° 17 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniforme	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 18 SLU (Approccio 2)

**PROGETTO DEFINITIVO
 Relazione di Calcolo
 Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FV0100 002	REV. A	FOGLIO 19 di 40
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniform	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 19 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniform	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 20 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 21 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 22 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 23 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniform	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 24 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

**PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di Calcolo
Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01 LOTTO 00 CODIFICA D 26 CL DOCUMENTO FV0100 002 REV. A FOGLIO 20 di 40

folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniform	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 25 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 26 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 27 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
permanente	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folia interna	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
folia superiore	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 28 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 29 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 30 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 31 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 32 SLE (Rara)

**PROGETTO DEFINITIVO
 Relazione di Calcolo
 Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FV0100 002	REV. A	FOGLIO 21 di 40
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 33 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 34 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia superiore	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
termica uniforme	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 35 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
termica uniforme	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 36 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
folia superiore	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
termica uniforme	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 37 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 38 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

**PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di Calcolo
Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01 LOTTO 00 CODIFICA D 26 CL DOCUMENTO FV0100 002 REV. A FOGLIO 22 di 40

Combinazione n° 39 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 40 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
termica uniforme	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 41 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniform	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 42 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica uniform	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 43 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 44 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 45 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

**PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di Calcolo
Prolungamento sottopasso**

COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FV0100 002	REV. A	FOGLIO 23 di 40
------------------	-------------	---------------------	-------------------------	-----------	--------------------

permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica uniforme (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 46 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniform	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 47 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniform	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 48 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia interna	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniform	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 49 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
permanente	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia superiore	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
termica uniform	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
termica farfalla (-)	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di Calcolo Prolungamento sottopasso</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 CL</p>	<p>DOCUMENTO FV0100 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 24 di 40</p>

8 MODELLO DI CALCOLO

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler).

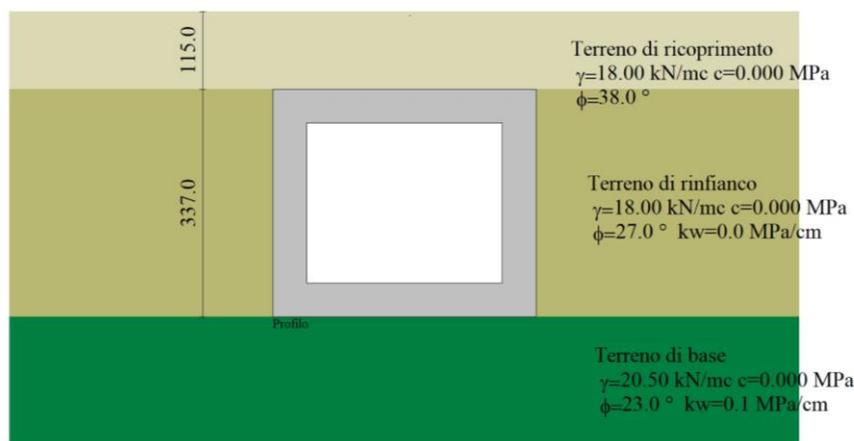


Figura 6 – Modello di calcolo scatolare

8.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Per l'analisi delle strutture è stato utilizzato il software **SCAT** © versione **2014** della **Aztec Informatica**, numero di licenza **AIR0136G4**, distribuito da **Aztec Informatica** Corso Umberto 43 -87050 Casali del manco – Loc. Casole Bruzio (CS).

La documentazione fornita dal produttore e dal distributore del software circa l'affidabilità, la validazione ed i casi di prova interamente risolti e commentati con files di input che consentano la riproduzione dell'elaborazione sono disponibili al sito del produttore.

Come previsto al punto 10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

8.2 Affidabilità del codice di calcolo

Per quanto riguarda il software utilizzato per l'analisi strutturale, un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software SCAT 14.0 ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi

d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

9 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Nel seguito sono rappresentati i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni allo SLU/SLV, in termini di momento flettente, taglio e sforzo normale su una striscia unitaria di sezione trasversale.

Le sollecitazioni massime sulle diverse membrature sono riassunte nella tabella di Figura 10.

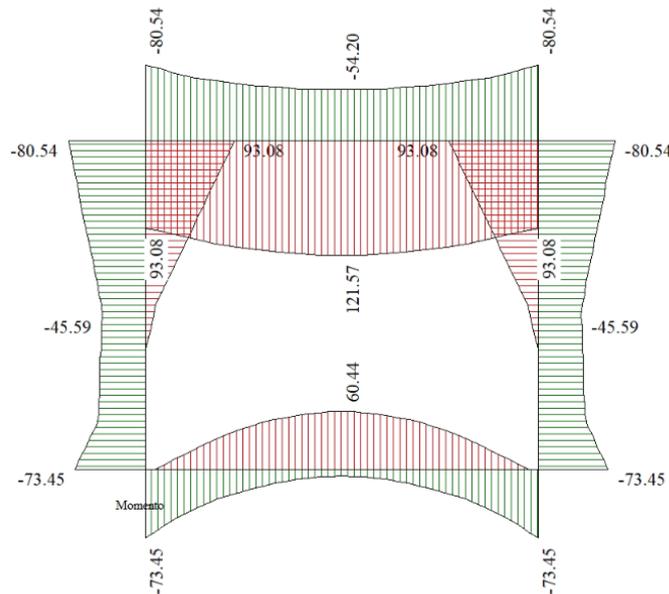


Figura 7 – Involuppo diagramma dei momenti flettenti SLU

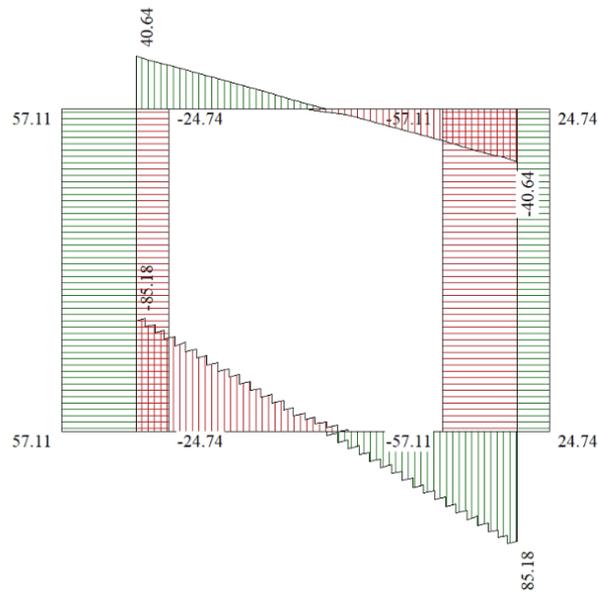


Figura 8 – Involuppo diagramma del taglio SLU

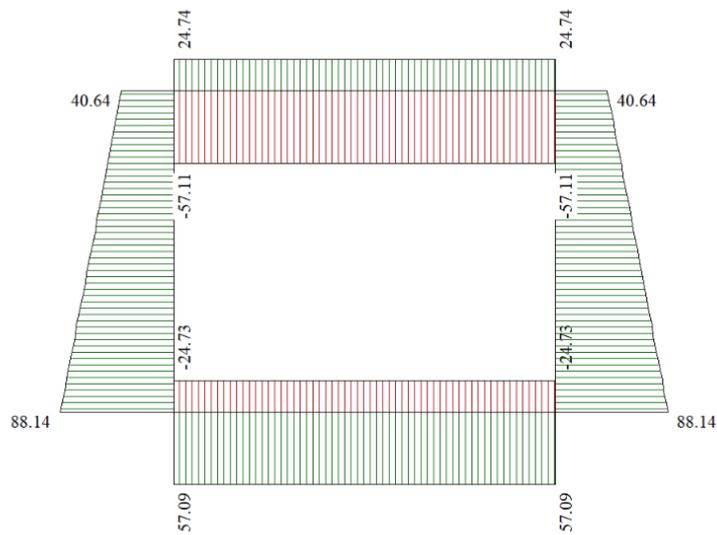


Figura 9 – involuppo diagramma sforzo normale SLU

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2)

Sipite e Pressioni	Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max			
	M [kNm]	Comb.	T [kN]	Comb.	N [kN]	Comb.
Fondazione	-73.45	(23)	86.56	(5)	57.09	(23)
Piedritto sinistro	93.08	(24)	57.11	(23)	88.14	(16)
Piedritto centrale	---	---	---	---	---	---
Piedritto destro	93.08	(24)	-57.11	(23)	88.14	(5)
Traverso	121.57	(23)	-40.64	(2)	-57.11	(23)

Combinazioni analizzate 49

Figura 10 – Inviluppo sollecitazioni caratteristiche

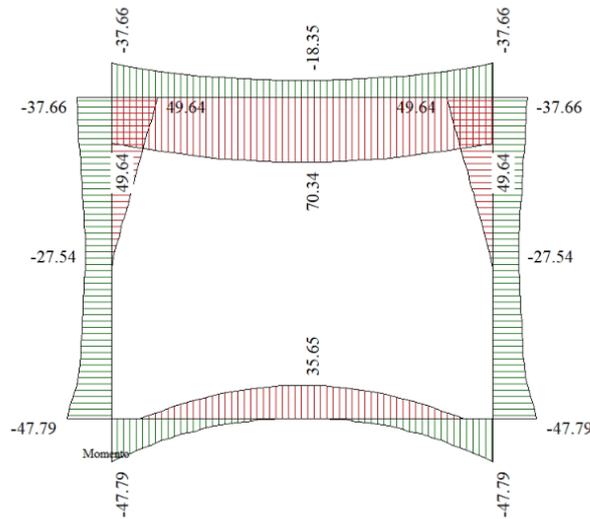


Figura 11- Inviluppo momenti flettenti SLE

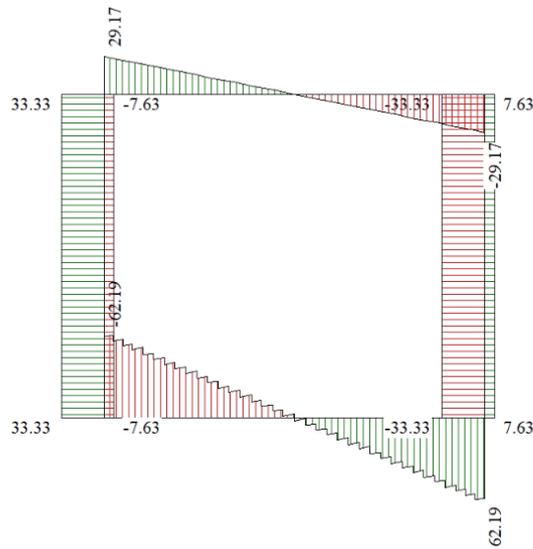


Figura 12 – Involuppo diagramma del taglio SLE

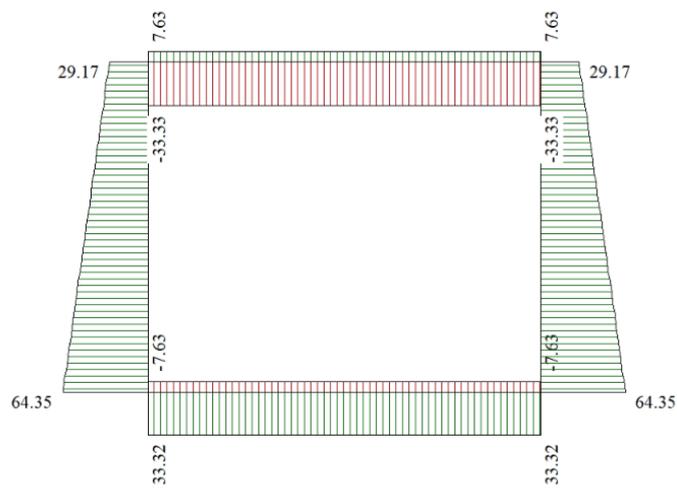
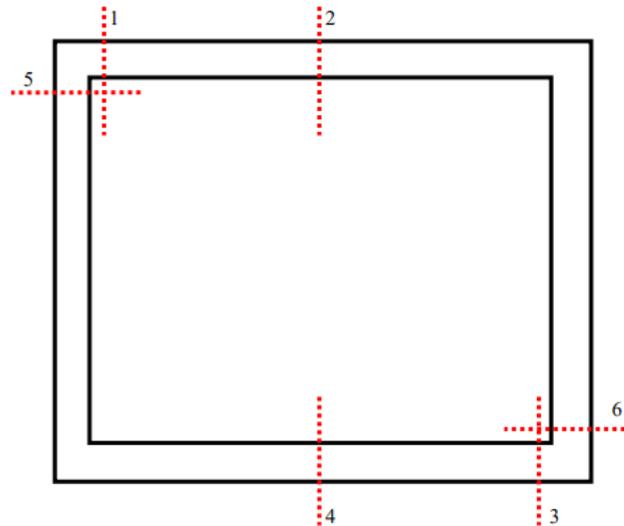


Figura 13 – Involuppo diagramma sforzo normale SLE

10 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO

Le sezioni in cui vengono eseguite le verifiche sono quelle di figura seguente:



10.1 Sezione 1

$B = 100 \text{ cm}$ $H = 50 \text{ cm}$

$M_{Ed,SLV} = -93.08 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 56.95 \text{ kN}$

$V_{Ed,SLV} = 27.97 \text{ kN}$

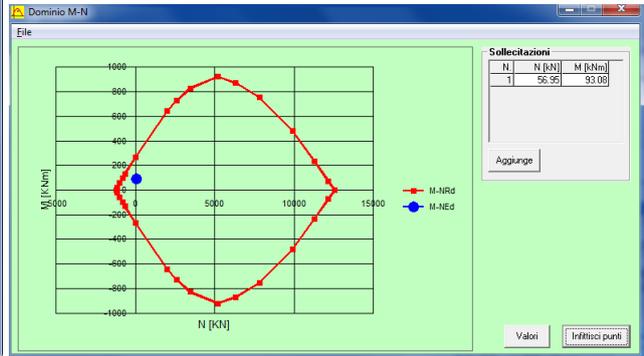
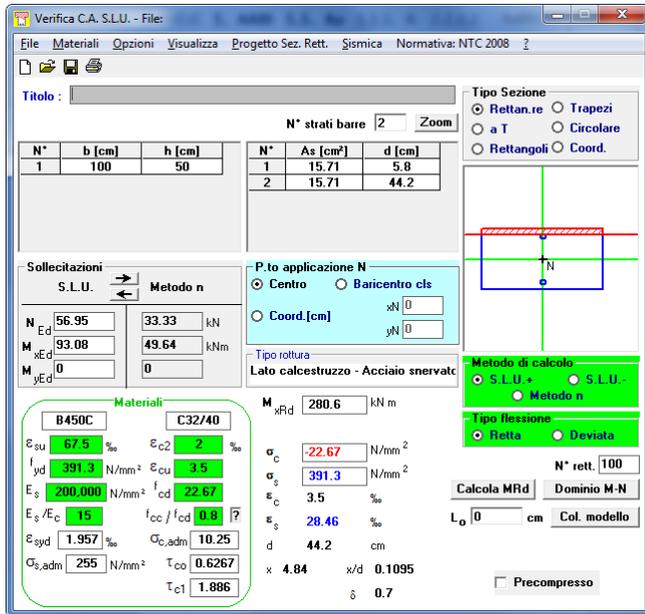
$M_{Ed,SLE} = -49.64 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLE} = 33.33 \text{ kN}$

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

Spille $\varnothing 8/20 \times 20$



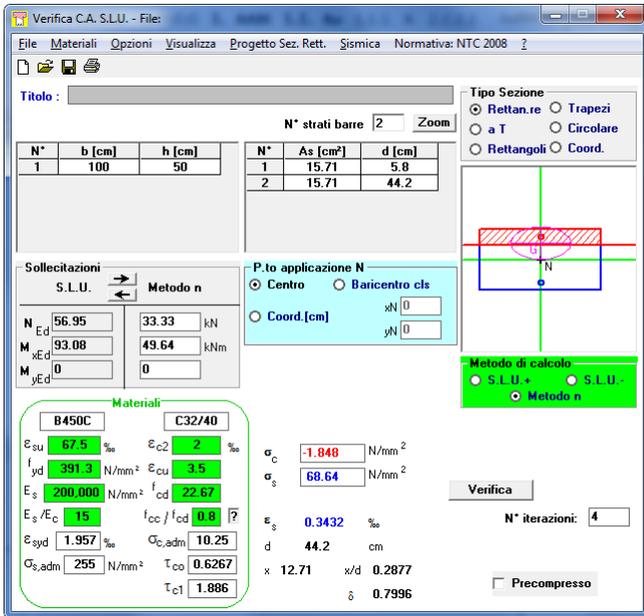
		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V_{ed}		kN	27
2	Sforzo Normale Agente	N_{ed}		kN	57
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	500
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	ϕ		mm	20
7	Copifero delle barre longitudinali	c		mm	58
8	Numero delle barre trasversali a taglio	n_w		-	0.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	ϕ_w		mm	8
10	Interasse delle barre trasversali a taglio	s_w		mm	200
11	Angolo barre trasversali - asse trave	α		°	90
12	Angolo bielle compresse - asse trave	θ		°	21.801
13	Resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}		Mpa	32
14	Coefficiente di sicurezza sul calcestruzzo	γ_c		-	1.5
15	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}		-	0.85
16	Resistenza caratteristica dell'acciaio	f_{yk}		MPa	450
17	Coefficiente di sicurezza sull'acciaio	γ_s		-	1.15
18	Resistenza di calcolo del calcestruzzo	f_{cd}	$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	MPa	18.13
19	Resistenza di calcolo dell'acciaio	f_{yd}	f_{yk} / γ_s	MPa	391
20	Tensione Compressione Media	σ_{cp}	$N_{ed} / BH < 0.2 f_{cd}$	MPa	0.11
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	432
22	Area di acciaio longitudinale	A_{sl}	$n n \phi^2 / 4$	mm ²	1,571
23	Densità di armatura longitudinale	ρ_l	$A_{sl} / Bd < 0.02$	-	0.00364
24	Coefficiente amplificativo	k	$1 + \sqrt{(200/d)} < 2$	-	1.68041
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	v_{min}	$0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	MPa	0.431
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	v_{min}	$v_{min} + 0.15 \sigma_{cp}$	MPa	0.448
27	Coefficiente di riduzione	v	$(\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot \alpha^2 \theta)$	-	0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α_c	$f(\sigma_{cp} / f_{cd})$	-	1.006
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	v_{Rd}	$0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}$	MPa	0.474
30	Taglio Resistente del cls non armato	$V_{Rd,c}$	$v_{Rd,c} B d$	kN	205
31	Verifica in assenza di armature a taglio		$V_{Ed} < V_{Rd,c}$?	OK

Per le verifiche SLE:

$$\sigma_c = 1.85 \text{ MPa} < 12.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 68.64 \text{ MPa} < 337.5 \text{ MPa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = -137.7 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -49.64 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File

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

TITOLO : _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	56.95	33.33	kN
M _{Ed}	93.08	49.64	kNm
M _{yEd}	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		C32/40	
ϵ_{cu}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200,000 N/mm ²	f_{cd}	22.67
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	10.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6267
		τ_{c1}	1.886

σ_c -1.848 N/mm²
 σ_s 68.64 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 4

ϵ_s 0.3432 ‰
d 44.2 cm
x 12.71 x/d 0.2877
 δ 0.7996

Precompresso

10.2 Sezione 2

B = 100 cm H = 50 cm

$$M_{Ed,SLV} = 121.57 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLV} = 57.11 \text{ kN}$$

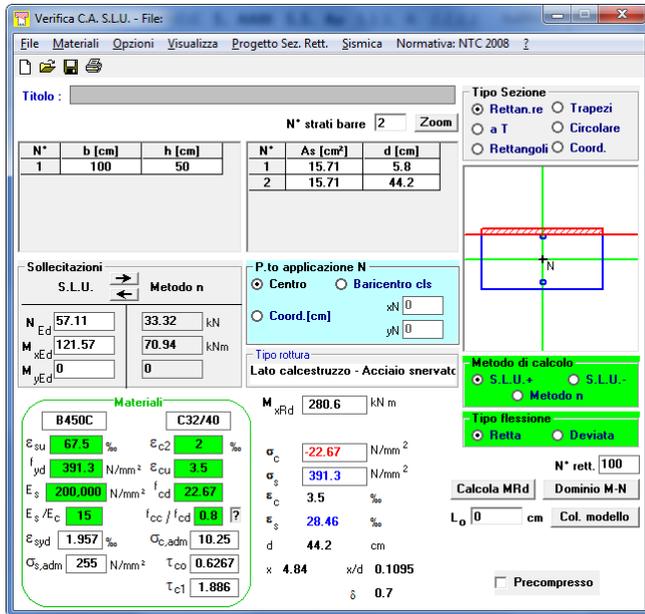
$$V_{Ed,SLV} = 0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,SLE} = 70.94 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLE} = 33.32 \text{ kN}$$

$$A_s = 5\varnothing 20$$

$$A'_s = 5\varnothing 20$$



Verifica C.A. S.L.U. - File

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

TITOLO: _____

N° strati barre: 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N	Ed	33.32	kN
M	xEd	70.94	kNm
M	yEd	0	

Materiali
B450C C32/40

Proprietà	Valore	Unità
ϵ_{cu}	67.5	%
ϵ_{c2}	2	%
f_{yd}	391.3	N/mm²
ϵ_{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	
ϵ_{syd}	1.957	%
$\sigma_{c,adm}$	10.25	N/mm²
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²
τ_{co}	0.6267	
τ_{c1}	1.886	

Metodo di calcolo
S.L.U. Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviato

Calcola MRd **Dominio M-N**

M_{xRd} 280.6 kNm

σ_c -22.67 N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

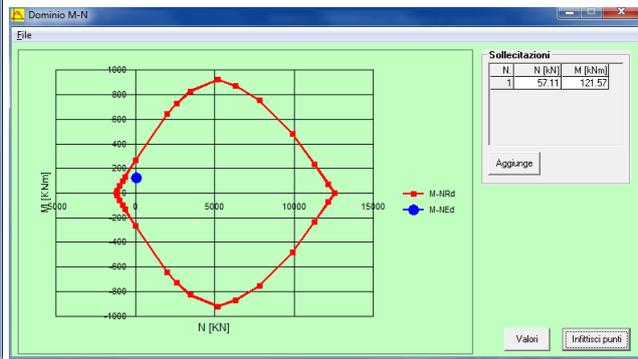
ϵ_s 3.5 ‰

ϵ_c 28.46 ‰

d 44.2 cm

x 4.84 x/d 0.1095

δ 0.7

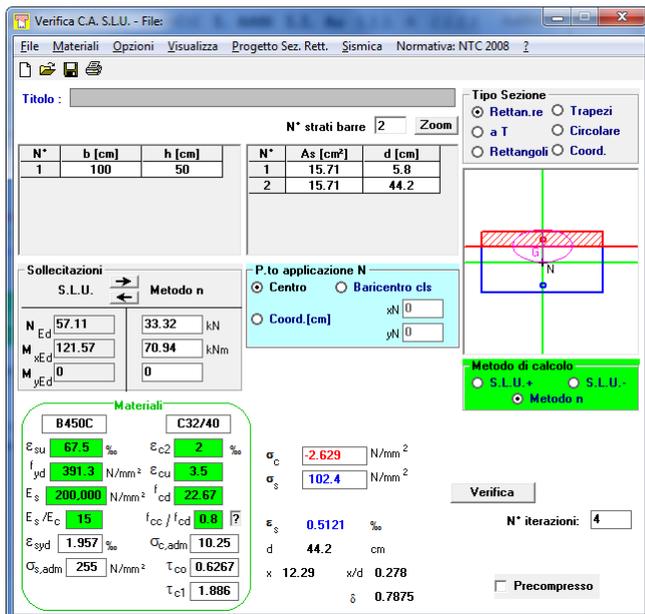


Per le verifiche SLE:

$$\sigma_c = 2.63 \text{ MPa} < 12.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 102.4 \text{ MPa} < 337.5 \text{ MPa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = -135.3 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -70.94 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File

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

TITOLO: _____

N° strati barre: 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N	Ed	33.32	kN
M	xEd	70.94	kNm
M	yEd	0	

Materiali
B450C C32/40

Proprietà	Valore	Unità
ϵ_{cu}	67.5	%
ϵ_{c2}	2	%
f_{yd}	391.3	N/mm²
ϵ_{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	
ϵ_{syd}	1.957	%
$\sigma_{c,adm}$	10.25	N/mm²
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²
τ_{co}	0.6267	
τ_{c1}	1.886	

Metodo di calcolo
S.L.U. Metodo n

Verifica

σ_c 2.629 N/mm²

σ_s 102.4 N/mm²

ϵ_s 0.5121 ‰

d 44.2 cm

x 12.29 x/d 0.278

δ 0.7875

N° iterazioni: 4

Precompresso

10.3 Sezione 3

B = 100 cm H = 50 cm

$M_{Ed,SLV} = 73.45 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 57.09 \text{ kN}$

$V_{Ed,SLV} = 81.51 \text{ KN}$

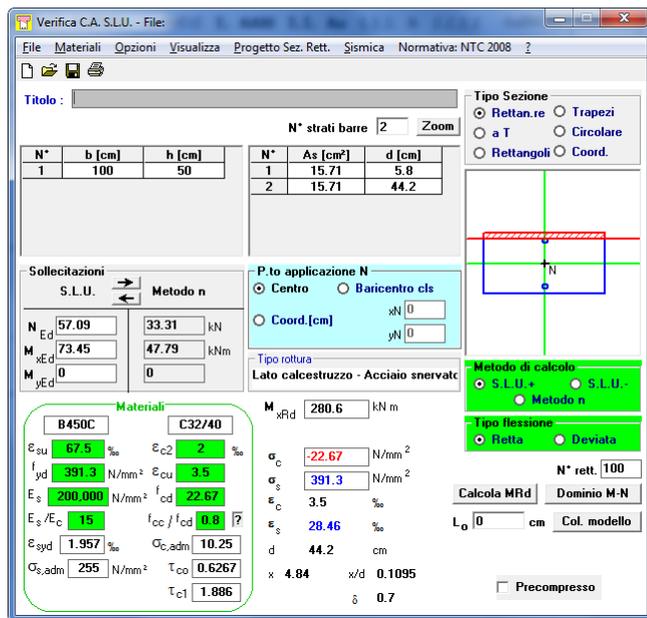
$M_{Ed,SLE} = 47.79 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLE} = 33.31 \text{ kN}$

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

Spille $\varnothing 8/20 \times 20$



Verifica C.A. S.L.U. - File

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

Titolo: _____

N° strati barre: 2 | Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Sollecitazioni
S.L.U. | Metodo n

N	M	V
57.09	73.45	0
33.31	47.79	0

Materiali

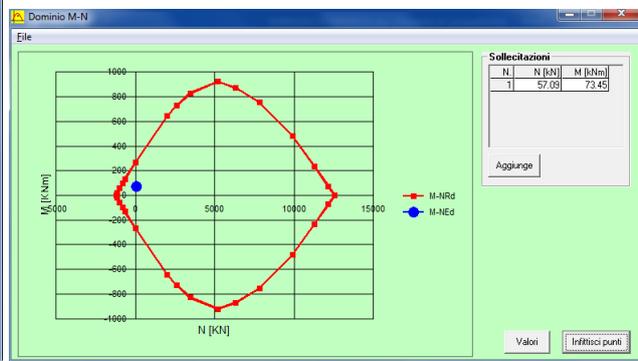
Proprietà	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67.5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	3.5
E_s	200,000 N/mm²	22.67
E_s/E_c	15	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	10.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0.6267
τ_{c1}	1.886	

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

Tipo flessione
Retta | Deviato

Calcola MRd | **Dominio M-N**

Precompresso



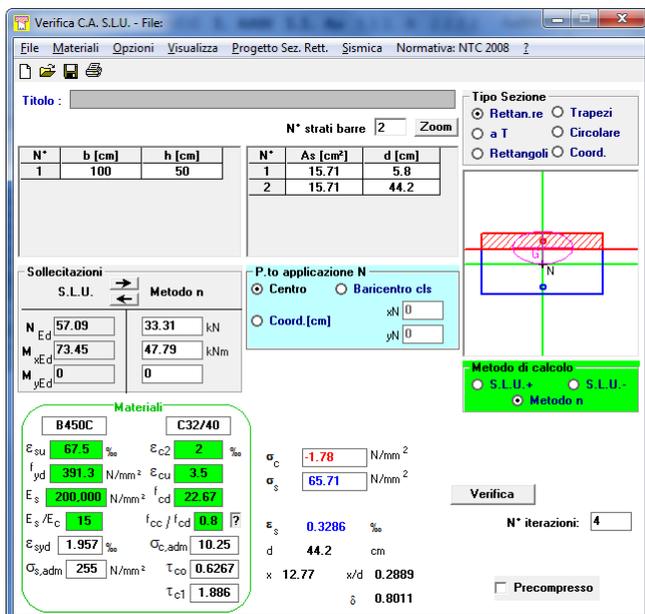
		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V_{ed}		kN	82
2	Sforzo Normale Agente	N_{ed}		kN	57
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	500
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	ϕ		mm	20
7	Copriero delle barre longitudinali	c		mm	58
8	Numero delle barre trasversali a taglio	n_w		-	0.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	ϕ_w		mm	8
10	Interasse delle barre trasversali a taglio	S_w		mm	200
11	Angolo barre trasversali - asse trave	α		°	90
12	Angolo bielle compresse - asse trave	θ		°	21.801
13	Resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}		Mpa	32
14	Coefficiente di sicurezza sul calcestruzzo	γ_c		-	1.5
15	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α_{cc}		-	0.85
16	Resistenza caratteristica dell'acciaio	f_{yk}		MPa	450
17	Coefficiente di sicurezza sull'acciaio	γ_s		-	1.15
18	Resistenza di calcolo del calcestruzzo	f_{cd}	$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	MPa	18.13
19	Resistenza di calcolo dell'acciaio	f_{yd}	f_{yk} / γ_s	MPa	391
20	Tensione Compressione Media	σ_{cp}	$N_{Ed} / BH < 0.2 f_{cd}$	MPa	0.11
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	432
22	Area di acciaio longitudinale	A_{sl}	$n m \phi^2 / 4$	mm ²	1.571
23	Densità di armatura longitudinale	ρ_l	$A_{sl} / Bd < 0.02$	-	0.00364
24	Coefficiente amplificativo	k	$1 + \sqrt{200/d} < 2$	-	1.68041
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	v_{min}	$0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	MPa	0.431
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	v_{min}	$v_{min} + 0.15 \sigma_{cp}$	MPa	0.448
27	Coefficiente di riduzione	v	$(\cot \theta + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$	-	0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α_c	$f(\sigma_{cp} / f_{cd})$	-	1.006
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	v_{Rd}	$0.18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}$	MPa	0.474
30	Taglio Resistente del cls non armato	V_{Rd}	$v_{Rd,c} B d$	kN	205
31	Verifica in assenza di armature a taglio		$V_{Ed} < V_{Rd,c}$?	OK

Per le verifiche SLE:

$$\sigma_c = 1.78 \text{ MPa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_c = 65.71 \text{ MPa} < 337.5 \text{ Mpa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = -138.1 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -47.79 \text{ kNm}$



Verifica CA. S.L.U. - File:

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

TITOLO:

N° strati barre: 2

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 57.09 33.31 kN
 M_{xEd} 73.45 47.79 kNm
 M_{yEd} 0

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

Materiali:
 B450C C32/40
 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 % $\sigma_{c,adm}$ 10.25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6267
 τ_{c1} 1.886

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

σ_c -1.78 N/mm²
 σ_s 65.71 N/mm²

Verifica: N° iterazioni: 4

ϵ_s 0.3286 %
 d 44.2 cm
 x 12.77 x/d 0.2889
 δ 0.8011

Precompresso

10.4 Sezione 4

$B = 100 \text{ cm}$ $H = 50 \text{ cm}$

$M_{Ed,SLV} = -60.44 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 24.58 \text{ kN}$

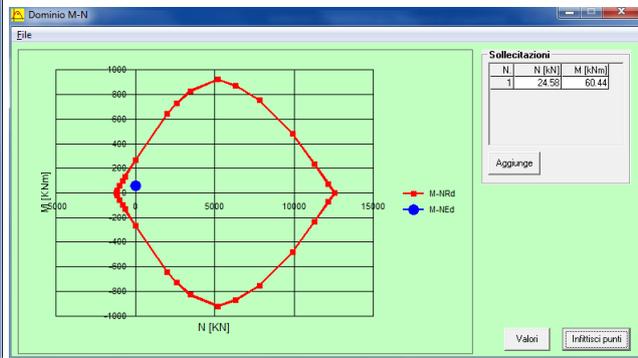
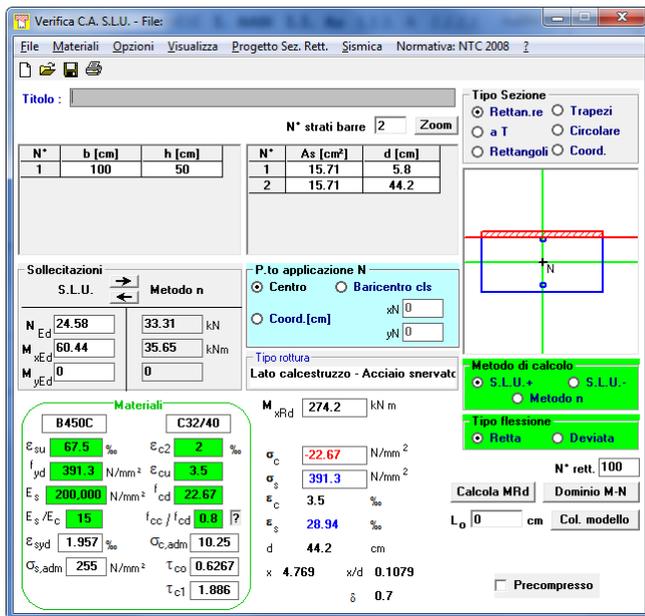
$V_{Ed,SLV} = 0 \text{ kN}$

$M_{Ed,SLE} = -35.65 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLE} = 33.31 \text{ kN}$

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

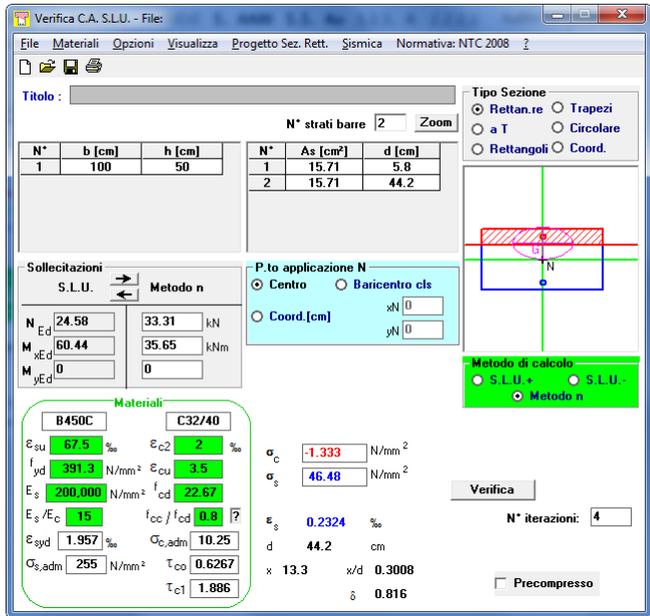


Per le verifiche SLE:

$\sigma_c = 1.33 \text{ MPa} < 12.8 \text{ Mpa}$

$\sigma_c = 46.48 \text{ MPa} < 337.5 \text{ Mpa}$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = -141.1 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -35.65 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File:

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

TITOLO: _____

N° strati barre: Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Sollecitazioni
S.L.U. | Metodo n

N _{Ed}	24.58	33.31	kN
M _{Ed}	60.44	35.65	kNm
x _{Ed}	0		
y _{Ed}	0		

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

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

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

Materiali

B450C	C32/40
ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3.5 ‰
ϵ_s 200.000 N/mm ²	f_{cd} 22.67
ϵ_s / ϵ_c 15	f_{cc} / f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 10.25
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ²	τ_{co} 0.6267
	τ_{c1} 1.886

σ_c -1.333 N/mm²
 σ_s 46.48 N/mm²

ϵ_s 0.2324 ‰
d 44.2 cm
x 13.3 x/d 0.3008
 δ 0.816

Verifica N° iterazioni:
 Precompresso

10.5 Sezione 5

B = 100 cm H = 50 cm

$M_{Ed,SLV} = -93.08$ kNm

$N_{Ed,SLV} = 27.97$ kN

$V_{Ed,SLV} = 56.95$ kN

$M_{Ed,SLE} = -37.76$ kNm

$N_{Ed,SLE} = 26.63$ kN

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

Verifica C.A. S.L.U. - File

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

Titolo: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 27.97 26.63 kN
M_{xEd} 93.08 37.76 kNm
M_{yEd} 0 0

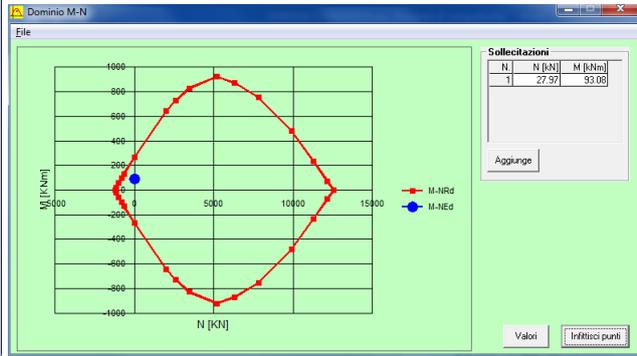
P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo S.L.U. Metodo n
Tipo flessione Retta Deviata
N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 Col. modello

Materiali B450C C32/40

ε_{cu} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 22.67
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{sd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 10.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6267
τ_{c1} 1.886

M_{xRd} 274.8 kNm
σ_c -22.67 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_s 3.5 ‰
ε_s 28.89 ‰
d 44.2 cm
x 4.777 x/d 0.1081
δ 0.7



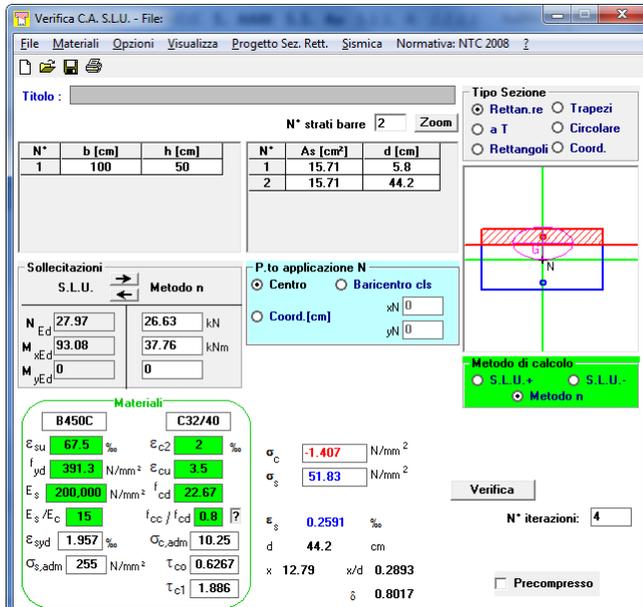
		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V _{Ed}		kN	57
2	Sforzo Normale Agente	N _{Ed}		kN	28
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	500
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	φ		mm	20
7	Copriferro delle barre longitudinali	c		mm	58
8	Numero delle barre trasversali a taglio	n _v		-	0.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	φ _w		mm	8
10	Interasse delle barre trasversali a taglio	s _w		mm	200
11	Angolo barre trasversali - asse trave	α		°	90
12	Angolo bielle compresse - asse trave	θ		°	21.801
13	Resistenza caratteristica del calcestruzzo	f _{ck}		Mpa	32
14	Coefficiente di sicurezza sul calcestruzzo	γ _c		-	1.5
15	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α _{cc}		-	0.85
16	Resistenza caratteristica dell'acciaio	f _{yk}		MPa	450
17	Coefficiente di sicurezza sull'acciaio	γ _s		-	1.15
18	Resistenza di calcolo del calcestruzzo	f _{cd}	α _{cc} f _{ck} /γ _c	MPa	18.13
19	Resistenza di calcolo dell'acciaio	f _{yd}	f _{yk} /γ _s	MPa	391
20	Tensione Compressione Media	σ _{cp}	N _{Ed} /Bh < 0.2f _{cd}	MPa	0.06
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	432
22	Area di acciaio longitudinale	A _{sl}	nφ²/4	mm²	1,571
23	Densità di armatura longitudinale	ρ _l	A _{sl} /Bd < 0,02	-	0.00364
24	Coefficiente amplificativo	k	1+√(200/d) < 2	-	1.68041
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	v _{min}	0,035k ^{3/2} f _{ck} ^{1/2}	MPa	0.431
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	v _{min}	v _{min} +0,15α _{cp}	MPa	0.440
27	Coefficiente di riduzione	v	(cotga+cotgθ)/(1+cotg²θ)	-	0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α _c	f(α _{cp} /f _{cd})	-	1.003
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	V _{Rd}	0,18k(100ρ _l f _{ck}) ^{1/3}	MPa	0.465
30	Taglio Resistente del cls non armato	V _{Rd,c}	V _{Rd,c} Bd	kN	201
31	Verifica in assenza di armature a taglio		V _{Ed} < V _{Rd,c}	?	OK

Per le verifiche SLE:

$$\sigma_c = 1.41 \text{ MPa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_c = 51.83 \text{ MPa} < 337.5 \text{ Mpa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = -138.1 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -37.76 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File

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

TITOLO : _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	27.97	26.63	kN
M _{Ed}	93.08	37.76	kNm
M _{yEd}	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 C32/40

ϵ_{cu}	67.5	%	ϵ_{c2}	2	%
f_{yd}	391.3	N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5	
E_s	200.000	N/mm ²	f_{cd}	22.67	
ϵ_s / E_c	15		f_{cc} / f_{cd}	0.8	?
ϵ_{syd}	1.957	%	$\sigma_{c,adm}$	10.25	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm ²	τ_{co}	0.6267	
			τ_{c1}	1.886	

σ_c : -1.407 N/mm²
 σ_s : 51.83 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 4 Precompresso

ϵ_s : 0.2591 ‰
d: 44.2 cm
x: 12.79 x/d: 0.2893
 δ : 0.8017

10.6 Sezione 6

B = 100 cm H = 50 cm

$$M_{Ed,slv} = -73.95 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,slv} = 84.34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,slv} = 57.11 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,sle} = -49.64 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,sle} = 20.72 \text{ kN}$$

$$A_s = 5\varnothing 20$$

$$A'_s = 5\varnothing 20$$

Verifica C.A. S.L.U. - File

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

Titolo: _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	84.34	20.72	kN
M _{xEd}	73.95	49.64	kNm
M _{yEd}	0	0	

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

Metodo di calcolo
 S.L.U. Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ [] cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C	C32/40		
ε _{cu}	67.5 ‰	ε _{c2}	2 ‰
f _{yd}	391.3 N/mm²	ε _{cu}	3.5 ‰
E _s	200,000 N/mm²	f _{cd}	22.67
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.957 ‰	σ _{c,adm}	10.25
σ _{c,adm}	255 N/mm²	τ _{co}	0.6267
		τ _{c1}	1.886

M_{xRd} 286.1 kNm

σ_c -22.67 N/mm²

σ_s 391.3 N/mm²

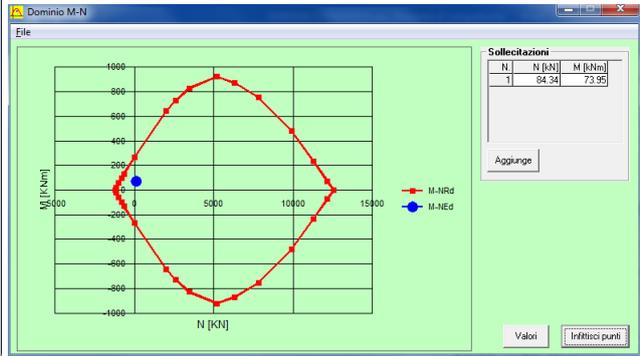
ε_s 3.5 ‰

ε_s 28.07 ‰

d 44.2 cm

x 4.9 x/d 0.1109

δ 0.7



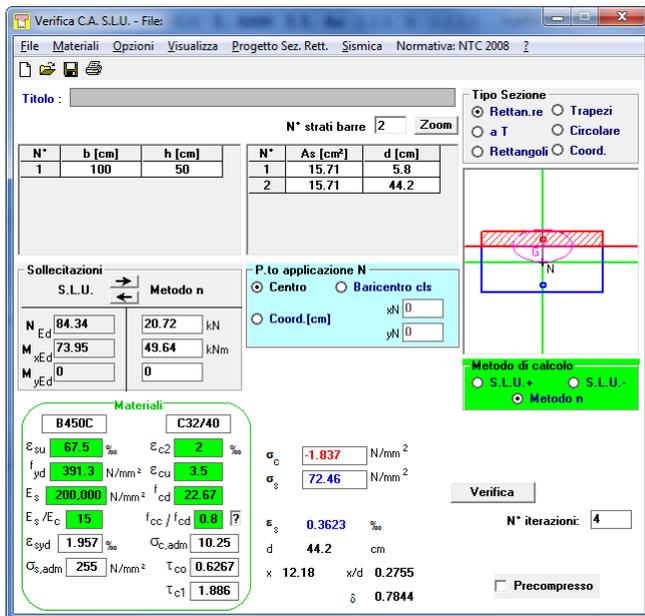
		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V _{Ed}		kN	57
2	Sforzo Normale Agente	N _{Ed}		kN	84
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	500
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	φ		mm	20
7	Coprifero delle barre longitudinali	c		mm	58
8	Numero delle barre trasversali a taglio	n _w		-	0.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	φ _w		mm	8
10	Interasse delle barre trasversali a taglio	s _w		mm	200
11	Angolo barre trasversali - asse trave	α		°	90
12	Angolo bielle compresse - asse trave	θ		°	21.801
13	Resistenza caratteristica del calcestruzzo	f _{ck}		Mpa	32
14	Coefficiente di sicurezza sul calcestruzzo	γ _c		-	1.5
15	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α _{cc}		-	0.85
16	Resistenza caratteristica dell'acciaio	f _{yk}		MPa	450
17	Coefficiente di sicurezza sull'acciaio	γ _s		-	1.15
18	Resistenza di calcolo del calcestruzzo	f _{cd}	α _{cc} f _{ck} /γ _c	MPa	18.13
19	Resistenza di calcolo dell'acciaio	f _{yd}	f _{yk} /γ _s	MPa	391
20	Tensione Compressione Media	σ _{cp}	N _{Ed} /BH < 0.2f _{cd}	MPa	0.17
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	432
22	Area di acciaio longitudinale	A _{sl}	nφ²/4	mm²	1,571
23	Densità di armatura longitudinale	ρ _l	A _{sl} /Bd < 0,02	-	0.00364
24	Coefficiente amplificativo	k	1+√(200/d) < 2	-	1.68041
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	v _{min}	0,035k ^{3/2} f _{ck} ^{1/2}	MPa	0.431
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	v _{min}	v _{min} +0,15α _{cp}	MPa	0.457
27	Coefficiente di riduzione	v	(cotα+cotβ)/(1+cotα²)	-	0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α _c	f(σ _{cp} /f _{cd})	-	1.009
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	V _{Rd}	0,18k(100ρ _l f _{ck}) ^{1/3}	MPa	0.482
30	Taglio Resistente del cls non armato	V _{Rd,c}	V _{Rd,c} Bd	kN	208
31	Verifica in assenza di armature a taglio		V _{Ed} < V _{Rd,c}	?	OK

Per le verifiche SLE:

$$\sigma_c = 1.84 \text{ MPa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_c = 72.46 \text{ MPa} < 337.5 \text{ Mpa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = -134.6 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -49.64 \text{ kNm}$



The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays various input and output parameters for a reinforced concrete section analysis.

Section Properties:

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	15.71	5.8
			2	15.71	44.2

Applied Forces (S.L.U.):

N	84.34	20.72	kN
M _{Ed}	73.95	49.64	kNm
M _{xEd}	0		
M _{yEd}	0		

Material Properties:

Property	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67.5	2
f_{yd}	391.3	3.5
E_s	200,000	22,67
E_s/E_c	15	
ϵ_{syd}	1.957	10.25
$\sigma_{s,adm}$	255	0.6267
τ_{c1}		1.886

Calculation Results:

σ_c	-1.837	N/mm ²
σ_s	72.46	N/mm ²
ϵ_s	0.3623	‰
d	44.2	cm
x	12.18	x/d 0.2755
δ	0.7844	

The interface also includes a diagram of the section with applied forces and a 'Verifica' button. The 'Metodo di calcolo' is set to 'S.L.U.'.

11 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche geotecniche al collasso non risultano necessarie. A questo riguardo si rileva che essendo il sottopasso disposto trasversalmente alla linea ferroviaria; uno SLU per raggiungimento del carico limite del complesso fondazione-terreni di imposta nella direzione parallela alla linea è impossibile, per la presenza del rilevato ferroviario ai lati del monolite.