

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.

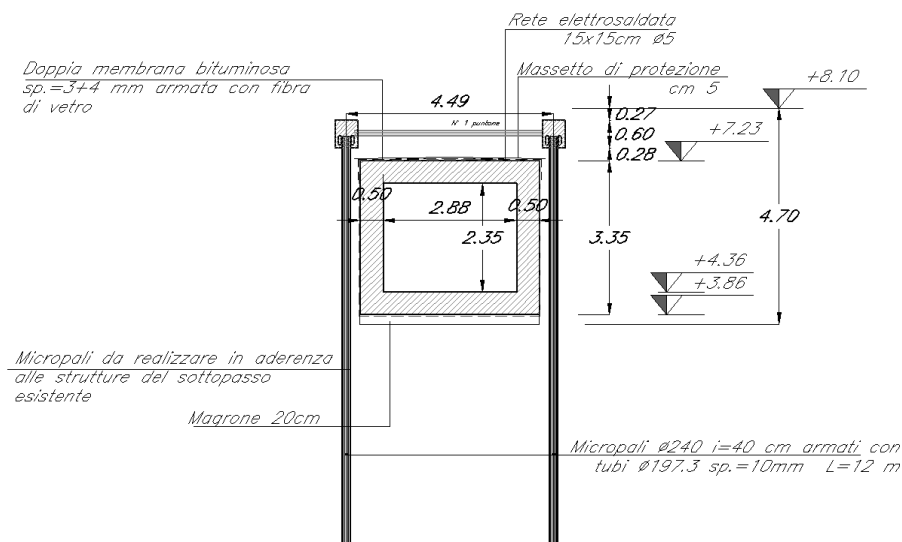


Figura 1 – sezione trasversale

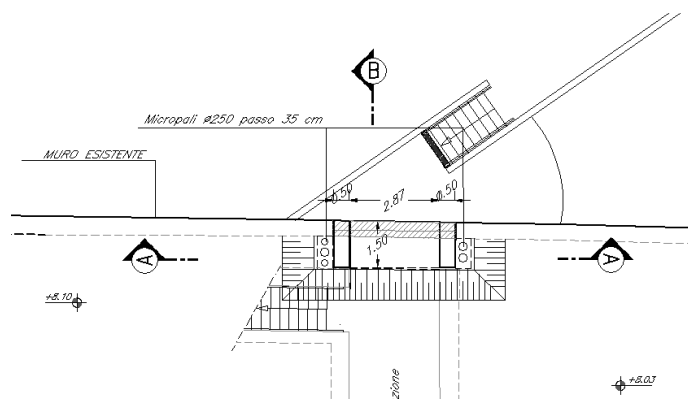


Figura 2 – Planimetria ante-operam

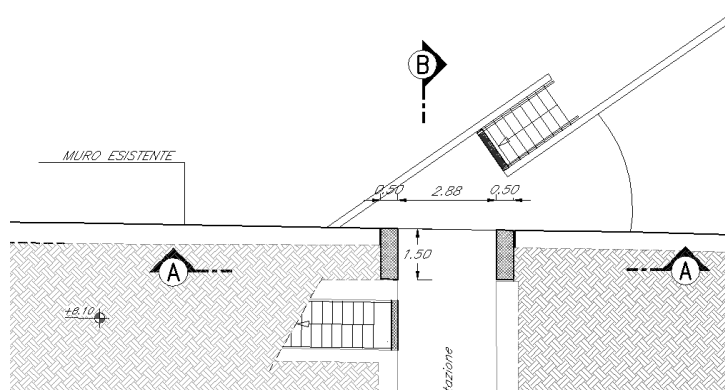


Figura 3 – Planimetria post-operam

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] |

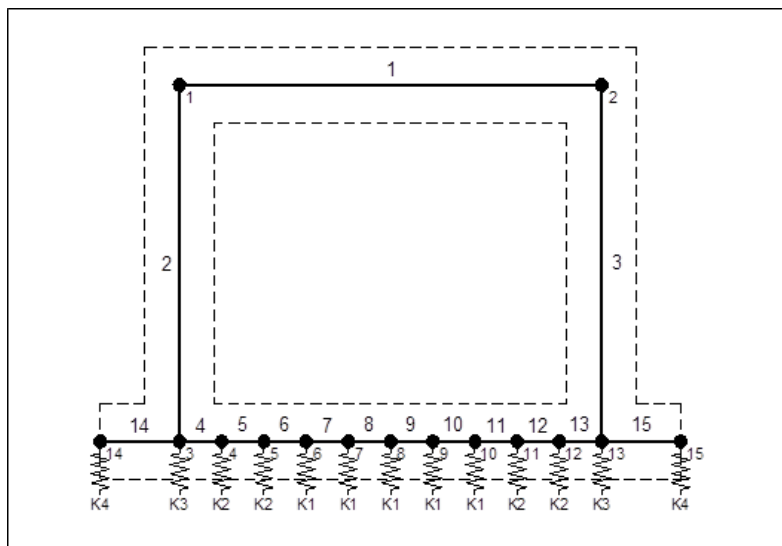


Figura 4 Modellazione letto di molle

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:

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

6.2.2 Pavimentazione sottopasso

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

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

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 rinfiango 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 rinfiango;
- 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> |
| $t_0 = t_0 \left(\frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 =$ | 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)

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

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

$$\varepsilon_{ca,00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000058$$

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 EY e EZ 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 uniforme | 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 uniforme | 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 uniforme | 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 uniforme | 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).

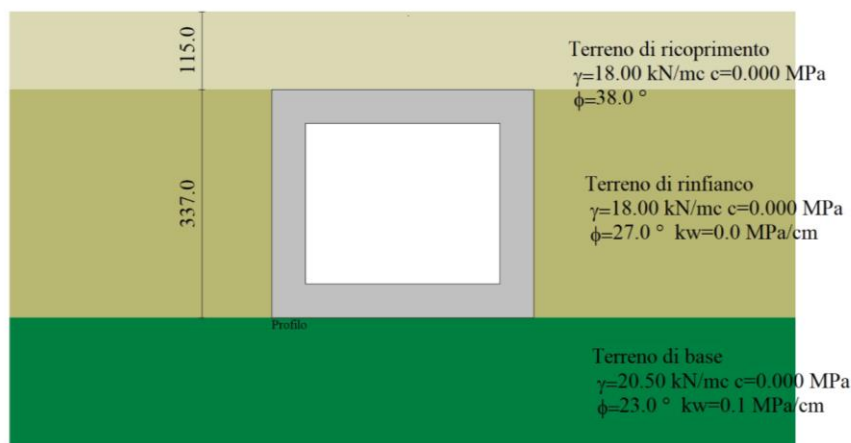


Figura 6 – Modello di calcolo scatolare

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.

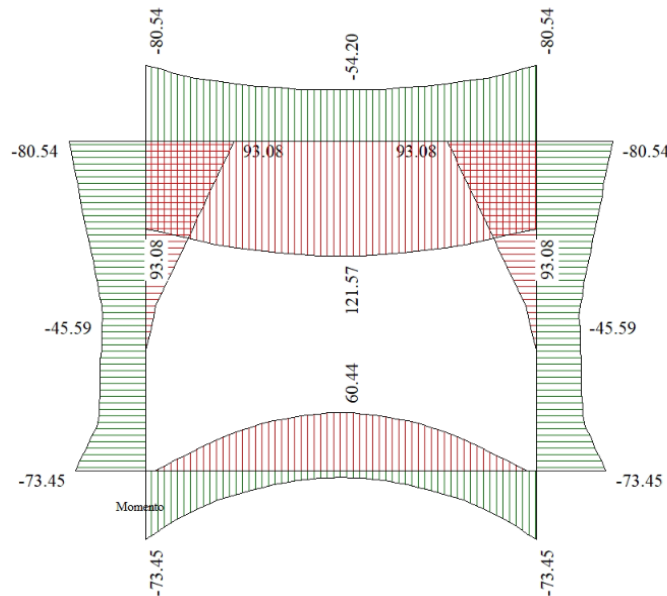


Figura 7 – Involuppo diagramma dei momenti flettenti SLU

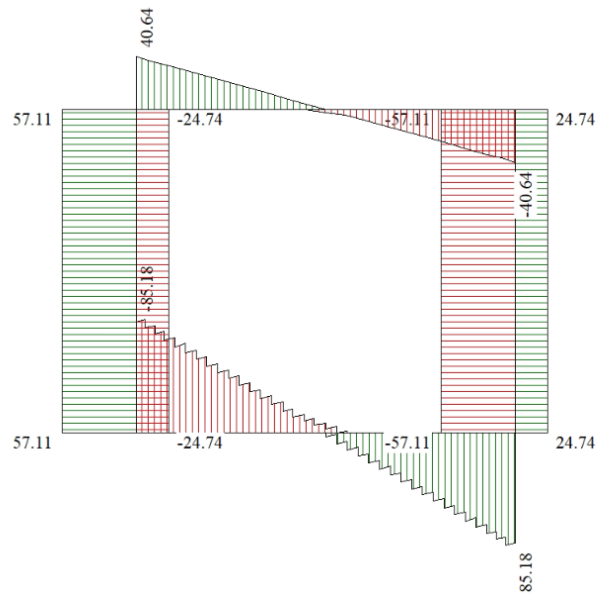


Figura 8 – Involuppo diagramma del taglio SLU

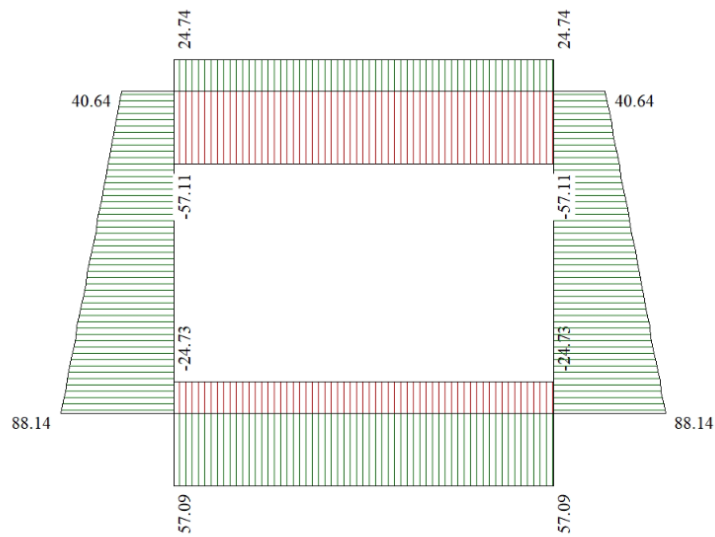


Figura 9 – involucro diagramma sforzo normale SLU

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2)

| Sfinte 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

<< >> Chudi Help

Figura 10 – Inviluppo sollecitazioni caratteristiche

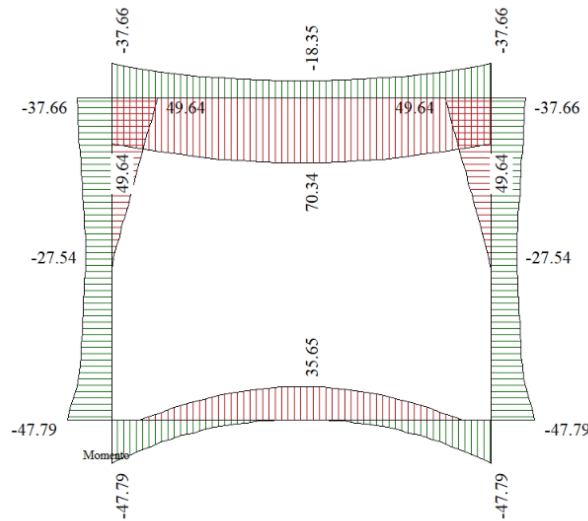


Figura 11- Inviluppo momenti flettenti SLE

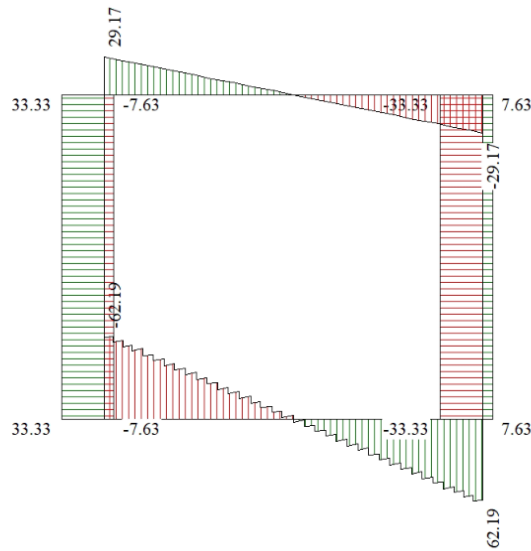


Figura 12 – Involuppo diagramma del taglio SLE

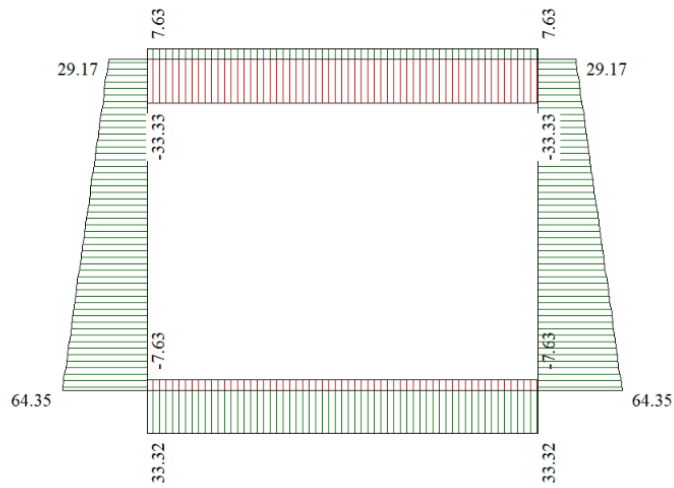
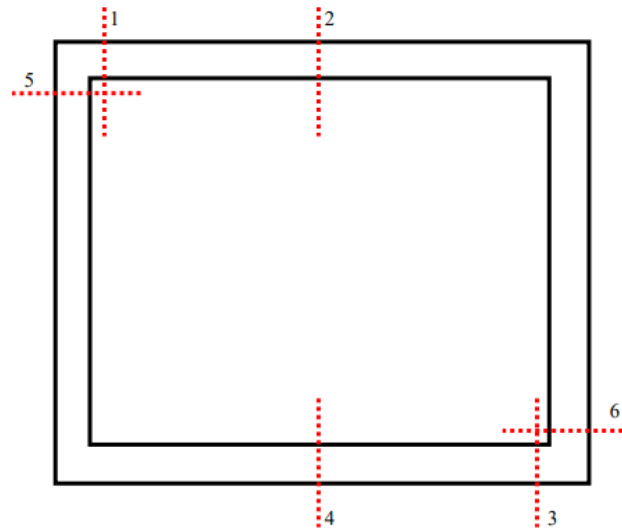


Figura 13 – Involuppo diagramma sforzo normale SLE

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

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

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

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

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

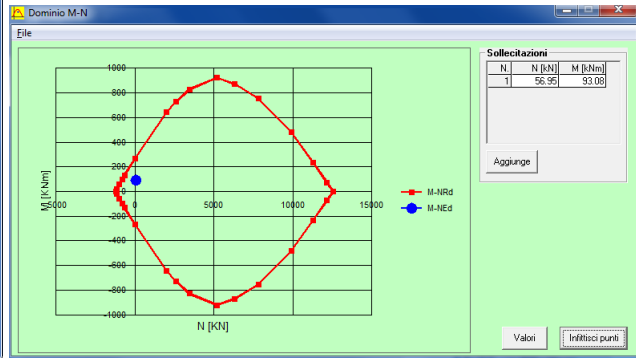
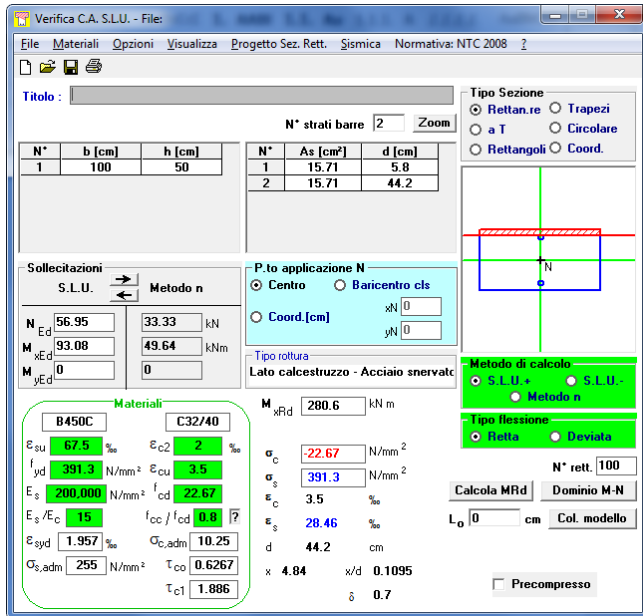
$M_{Ed,SLE} = -49.64 \text{ kNm}$

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

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

Spille $\varnothing 8/20 \times 20$



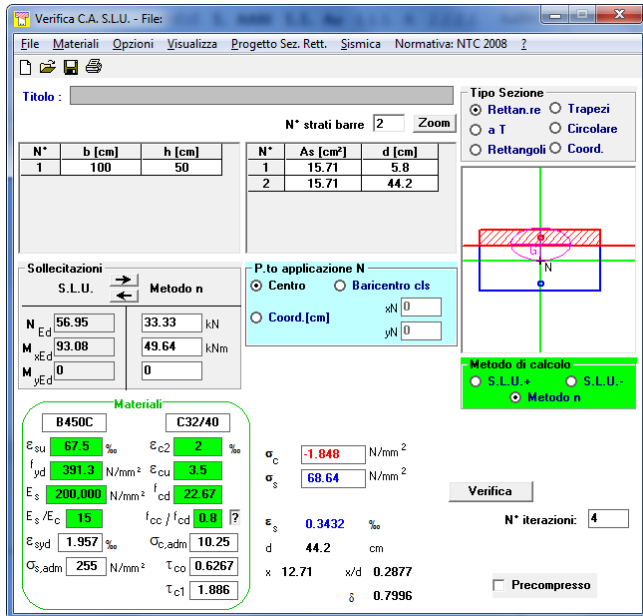
| | | Notazione (NTC 2018) | Formule (NTC 2018) | Unità | Valore |
|----|--|----------------------|--|-----------------|---------|
| 1 | Taglio Agente | V _{ed} | | kN | 27 |
| 2 | Storzo Normale Agente | N _{ed} | | kN | 57 |
| 3 | Larghezza Sezione | B | | mm | 1000 |
| 4 | Altezza Sezione | H | | mm | 500 |
| 5 | Numero delle barre longitudinali | n | | - | 5.0 |
| 6 | Diametro delle barre longitudinali | φ | | mm | 20 |
| 7 | 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 | 0.11 |
| 21 | Altezza Utile Sezione | d | | mm | 432 |
| 22 | Area di acciaio longitudinale | A _{sl} | nφ 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+√(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} +0,15σ _{cp} | MPa | 0.448 |
| 27 | Coefficiente di riduzione | v | (cotga+cotgβ)/(1+cotg ² θ) | - | 0.345 |
| 28 | Coefficiente maggiorativo | α _c | f(σ _{cp} /f _{cd}) | - | 1.006 |
| 29 | Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato | V _{rd} | 0,18k(100ρ _l f _{ck}) ^{1/3} | MPa | 0.474 |
| 30 | Taglio Resistente del cls non armato | V _{rd,c} | V _{rd,c} Bd | 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/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 _{s,adm} | 255 N/mm² | τ _{co} | 0.6267 |
| | | τ _{c1} | 1.886 |

σ_c -1.848 N/mm²
σ_s 68.64 N/mm²

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

Verifica N° iterazioni: 4 Precompresso

10.2 Sezione 2

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

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

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

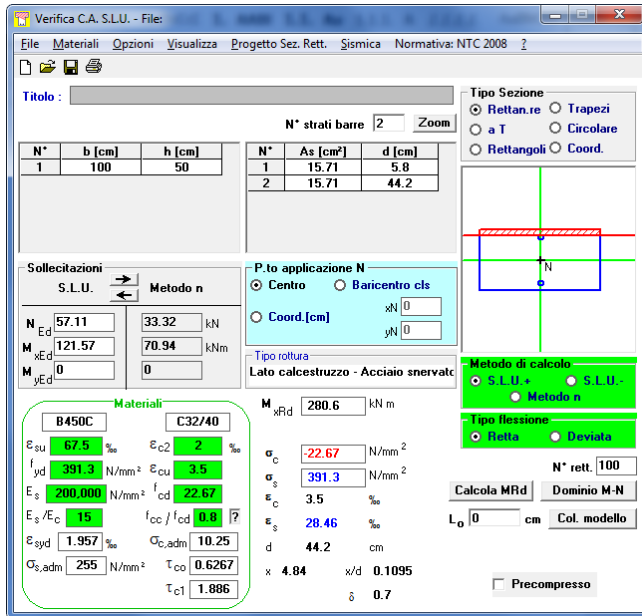
$$V_{Ed,SLV} = 0 \text{ kN}$$

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

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

$$A_s = 5\varnothing 20$$

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



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

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

TITOLO: _____

N° strati barre: 2 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 | 33.32 | kN |
|--------|-----|-------|-----|
| 57.11 | | | |
| M | xEd | 70.94 | kNm |
| 121.57 | | | |
| M | yEd | 0 | |
| 0 | | | |

Materiali
B450C C32/40

| Proprietà | B450C | C32/40 |
|------------------|---------------|--------|
| ϵ_{cu} | 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. Metodo n

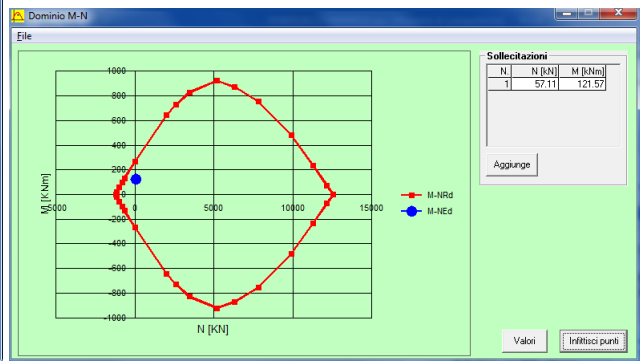
Tipo flessione
Retta Deviata

Calcola MRd **Calcola MRd** **Calcola MRd**

Domínio M-N

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

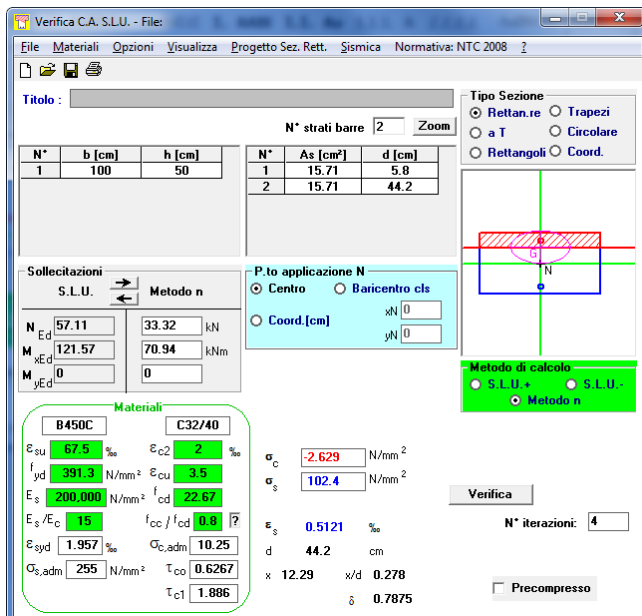


Per le verifiche SLE:

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

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

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 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 | 33.32 | kN |
|--------|-----|-------|-----|
| 57.11 | | | |
| M | xEd | 70.94 | kNm |
| 121.57 | | | |
| M | yEd | 0 | |
| 0 | | | |

Materiali
B450C C32/40

| Proprietà | B450C | C32/40 |
|------------------|---------------|--------|
| ϵ_{cu} | 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. Metodo n

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

Final results: $\sigma_c = 2.629 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s = 102.4 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_s = 0.5121 \text{ ‰}$, $d = 44.2 \text{ cm}$, $x = 12.29$, $x/d = 0.278$, $\delta = 0.7875$.

10.3 Sezione 3

B = 100 cm H = 50 cm

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

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

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

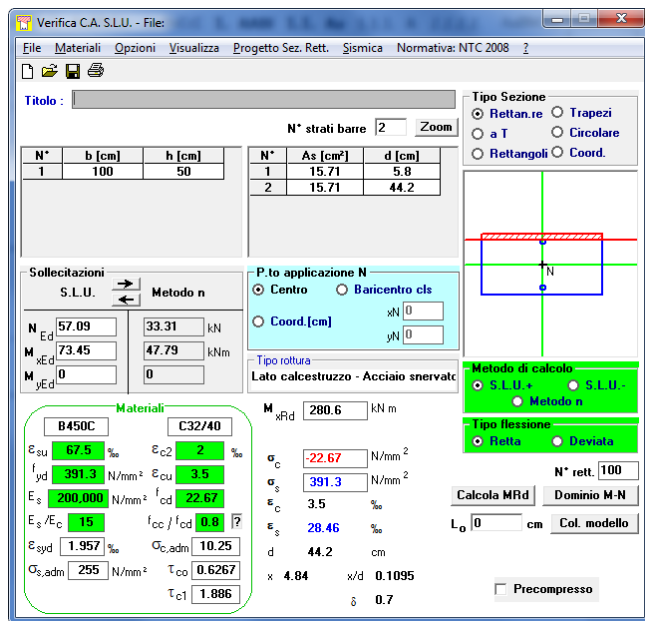
$M_{Ed,SLE} = 47.79 \text{ kNm}$

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

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

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 _{Ed} | 57.09 | 33.31 | kN |
| M _{Ed} | 73.45 | 47.79 | kNm |
| M _{xEd} | 0 | | |
| M _{yEd} | 0 | | |

Materiali

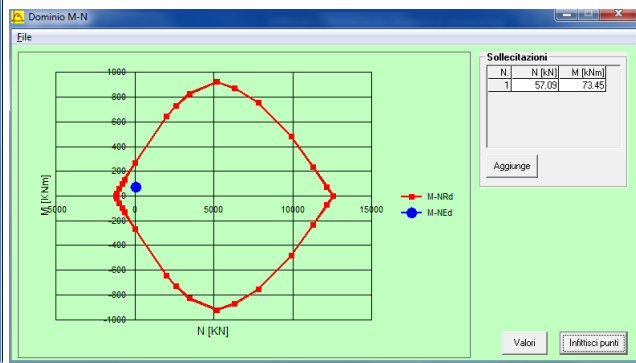
| | |
|----------------------------|------------------------|
| B450C | C32/40 |
| ϵ_{su} 67.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ |
| f_{yd} 391.3 N/mm² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ |
| E_s 200,000 N/mm² | f_{cd} 22.67 |
| E_s/E_c 15 | f_{cc}/f_{cd} 0.8 |
| ϵ_{syd} 1.957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 10.25 |
| $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | τ_{co} 0.6267 |
| | τ_{c1} 1.886 |

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

Tipo flessione
Retta | Deviato

Calcola MRd | **Dominio M-N**

Parametri:
M_{xEd} 280.6 kNm
 σ_c -22.67 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 28.46 ‰
d 44.2 cm
x 4.84 x/d 0.1095
 δ 0.7



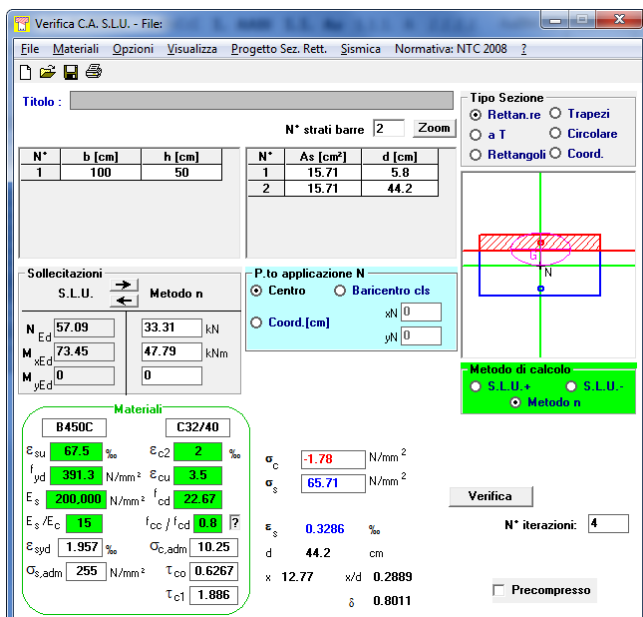
| | | Notazione (NTC 2018) | Formule (NTC 2018) | Unità | Valore |
|----|--|----------------------|---|-----------------|---------|
| 1 | Taglio Agente | V_{ed} | | kN | 82 |
| 2 | Sforzo Normale Agente | N_{ed} | | kN | 57 |
| 3 | Larghezza Sezione | B | | mm | 1000 |
| 4 | Altezza Sezione | H | | mm | 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_a | | - | 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_a | 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 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 $M_{fess} = -138.1 \text{ kNm} < M_{Ed,SLE} = -47.79 \text{ kNm}$



The screenshot shows the 'Verifica CA. S.L.U.' software interface. It includes a menu bar (File, Materiali, Opzioni, Visualizza, Progetto Sez. Rett., Sismica, Normativa: NTC 2008), a toolbar, and several data input fields. The 'Materiali' section shows properties for B450C and C32/40 concrete, including E_{su} , f_{yd} , E_s , E_s/E_c , $\epsilon_{s,adm}$, τ_{c1} , ϵ_{c2} , E_{cu} , f_{cd} , σ_c , σ_s , ϵ_s , d , x , and δ . The 'Tipo Sezione' section shows 'Rettan.re' selected. The 'Sollecitazioni' section shows N_{Ed} , $M_{x,Ed}$, and $M_{y,Ed}$. The 'Metodo di calcolo' section shows 'S.L.U.' selected. The 'Verifica' section shows $\sigma_c = -1.78 \text{ N/mm}^2$ and $\sigma_s = 65.71 \text{ N/mm}^2$. The 'N* iterazioni' field is set to 4.

10.4 Sezione 4

B = 100 cm H = 50 cm

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

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

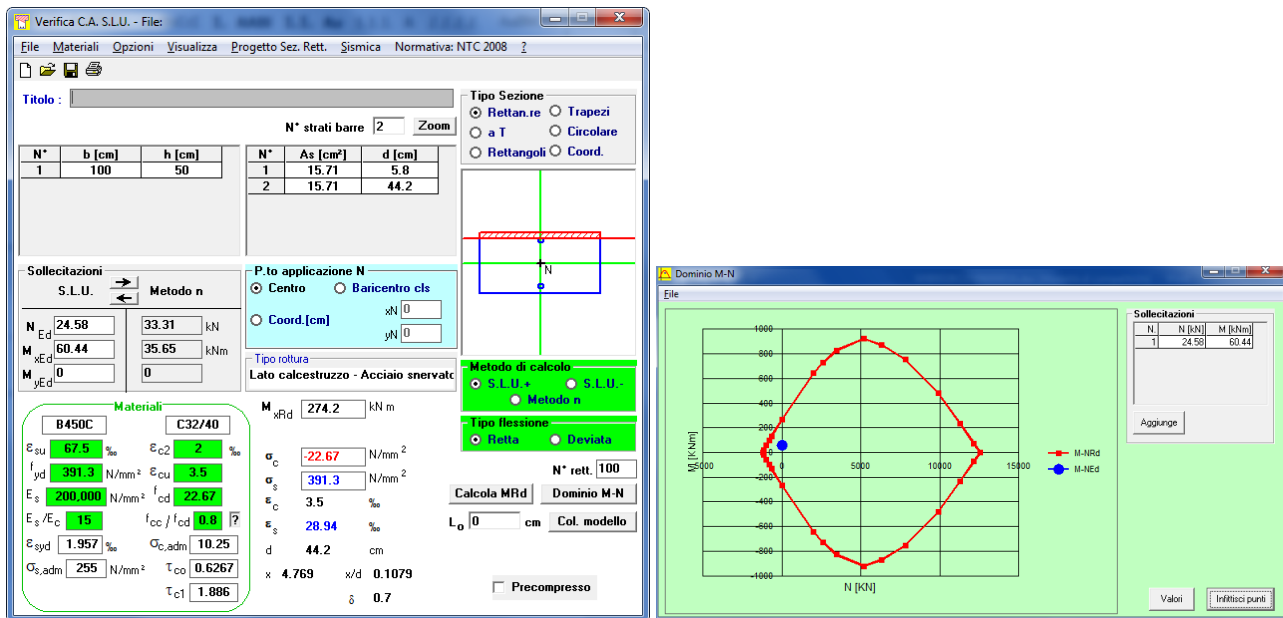
$V_{Ed,SLV} = 0 \text{ kN}$

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

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

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$

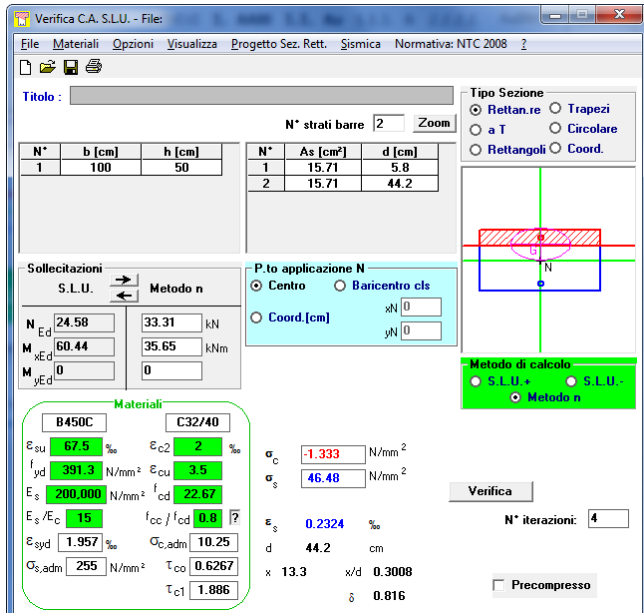


Per le verifiche SLE:

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

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

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/mm² | ε _{cu} 3.5 ‰ |
| ε _s 200.000 N/mm² | f _{cd} 22.67 |
| ε _s /ε _c 15 | f _{cc} /f _{cd} 0.8 |
| ε _{syd} 1.957 ‰ | σ _{c,adm} 10.25 |
| σ _{s,adm} 255 N/mm² | 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

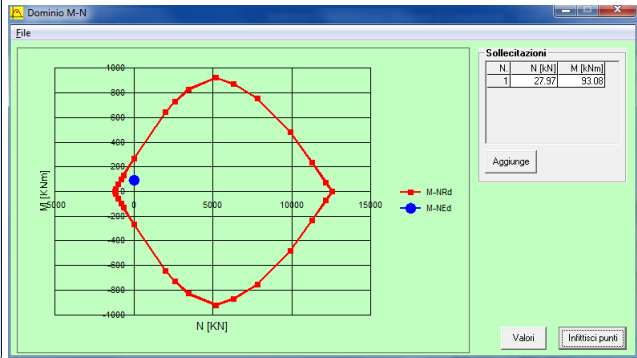
P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

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



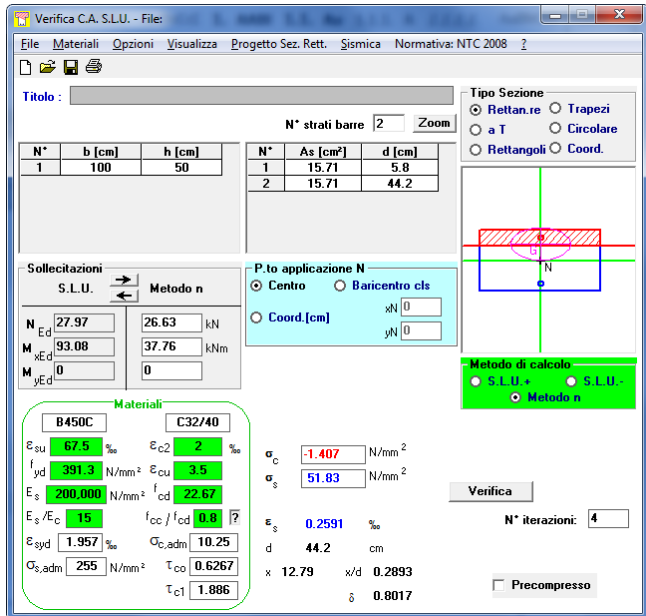
| | | Notazione (NTC 2018) | Formule (NTC 2018) | Unità | Valore |
|----|--|----------------------|--|-------|---------|
| 1 | Taglio Agente | V _{Ed} | | kN | 57 |
| 2 | Sforzo Normale Agente | N _{Ed} | | kN | 28 |
| 3 | Larghezza Sezione | B | | mm | 1000 |
| 4 | Altezza Sezione | H | | mm | 500 |
| 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

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 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 | ‰ |
| ε _s | 200.000 | N/mm² | f _{cd} | 22.67 | MPa |
| ε _{sp} /E _c | 15 | ‰ | f _{cc} /f _{cd} | 0.8 | |
| ε _{syd} | 1.957 | ‰ | σ _{c,adm} | 10.25 | MPa |
| σ _{c,adm} | 255 | N/mm² | τ _{co} | 0.6267 | |
| | | | τ _{c1} | 1.886 | |

M_{xRd} 286.1 kNm

α_c -22.67 N/mm²

α_s 391.3 N/mm²

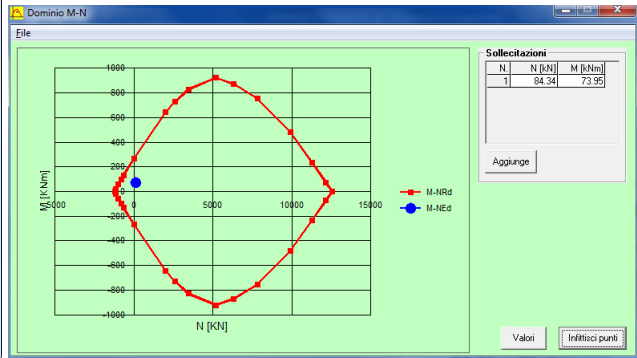
ε_s 3.5 ‰

ε_s 28.07 ‰

d 44.2 cm

x 4.9 x/d 0.1109

δ 0.7



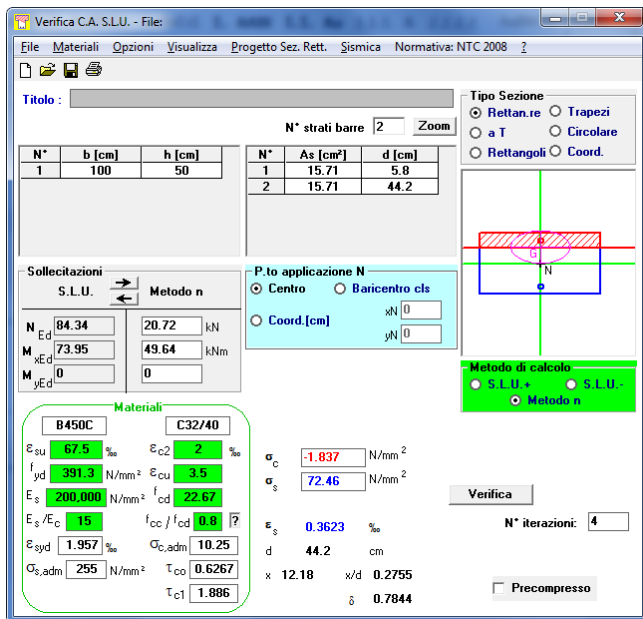
| | | Notazione (NTC 2018) | Formule (NTC 2018) | Unità | Valore |
|----|--|----------------------|--|-------|---------|
| 1 | Taglio Agente | V _{Ed} | | kN | 57 |
| 2 | Sforzo Normale Agente | N _{Ed} | | kN | 84 |
| 3 | Larghezza Sezione | B | | mm | 1000 |
| 4 | Altezza Sezione | H | | mm | 500 |
| 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 | 0 | |
| M _{yEd} | 0 | 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 | 0.8 |
| 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, a 'Verifica' button, and a 'Precompresso' checkbox.

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.