

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

FV03 – FERMATA BORGHETTO

Relazione di calcolo

Scale e Rampe

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L F V 0 3 0 0 0 0 4 A

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



File: IV0100D26CLFV0300004A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
2.1	GEOMETRIA	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
3.2	ELABORATI PROGETTUALI	6
4	MATERIALI	6
4.1	CALCESTRUZZO PER MAGRONE	6
4.2	CALCESTRUZZO PER FONDAZIONE ED ELEVAZIONE	6
4.3	ACCIAIO B450C	7
4.4	VALORI LIMITI TENSIONALI ALLO SLE	7
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	7
5.1	INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA	8
6	ANALISI DEI CARICHI	10
6.1	PESI PROPRI	10
6.2	AZIONI PERMANENTI	10
6.2.1	<i>Banchine</i>	10
6.2.2	<i>Rampe scale interne</i>	11
6.2.3	<i>Ricoprimento</i>	12
6.3	SPINTA DEL TERRENO	12
6.4	CARICHI FERROVIARI	12
6.4.1	<i>Distribuzione dei carichi ferroviari</i>	12
6.4.2	<i>Treno di carico LM71</i>	13
6.4.3	<i>Spinta del terreno indotta dai treni di carico</i>	14
6.4.4	<i>Avviamento e frenatura</i>	14
6.4.5	<i>Serpeggio e centrifuga</i>	14
6.5	CARICHI FOLLA	14
6.6	AZIONE SISMICA	14
6.6.1	<i>Sovraspinta sismica</i>	15
6.6.2	<i>Azione sismica inerziale</i>	16
7	COMBINAZIONI DI CARICO	16
7.1	ELENCO COMBINAZIONI	19
8	MODELLO DI CALCOLO	21
8.1	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	22
8.2	AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO	23
9	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	23
9.1	SEZIONE A	23
9.2	SEZIONE B	27
10	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO	32
10.1	SEZIONE A	32
10.1.1	<i>Sezione 1</i>	32
10.1.2	<i>Sezione 2</i>	34
10.1.3	<i>Sezione 3</i>	35
10.2	SEZIONE B	37
10.2.1	<i>Sezione 1</i>	37
10.2.2	<i>Sezione 2</i>	39
10.3	SOLETTA SCALE	40
10.3.1	<i>Analisi dei carichi</i>	40
10.3.2	<i>Calcolo sollecitazioni</i>	41
10.3.3	<i>Verifica della sezione</i>	41

11	VERIFICHE GEOTECNICHE	43
----	-----------------------------	----

1 PREMESSA

Nella presente relazione sono riportate le verifiche strutturali relative alle nuove rampe scale che assicurano il collegamento tra le banchine ed il nuovo sottopasso scatolare "FV03" da realizzarsi in corrispondenza della fermata Borghetto S. Spirito nell'ambito del progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora in corrispondenza della progressiva chilometrica pk 77+250.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le opere previste consistono in quattro rampe (due per banchina) che conducono dal sottopassaggio scatolare alle banchine. Le rampe sono contenute in muri che verranno realizzati in c.a. integralmente in opera e quindi rinterrate per mezzo del nuovo rilevato ferroviario. I due muri sono collegati inferiormente dalla soletta di fondo della struttura mentre superiormente la soletta di copertura ad un tratto si interrompe per consentire l'uscita delle rampe a cielo aperto.

La struttura delle rampe scale dal lato del fabbricato viaggiatori e tecnologico non presenta terreno ed il muro laterale costituisce elemento di confine con il piazzale di stazione.

2.1 Geometria

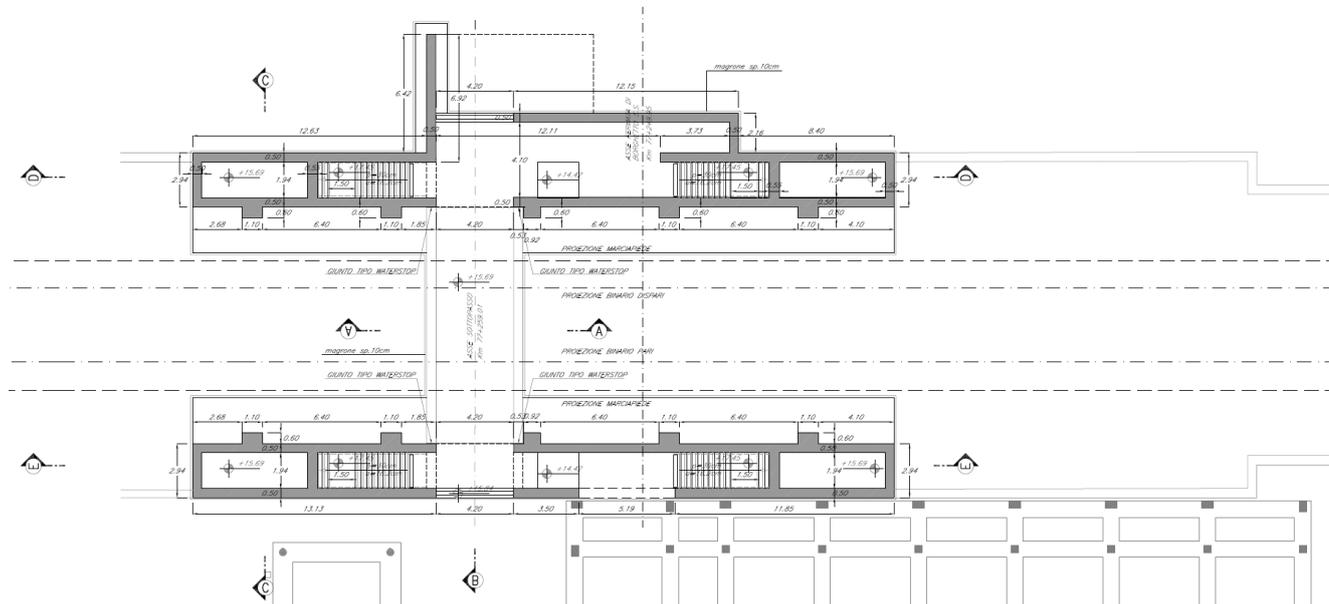


Figura 1 – Planimetria

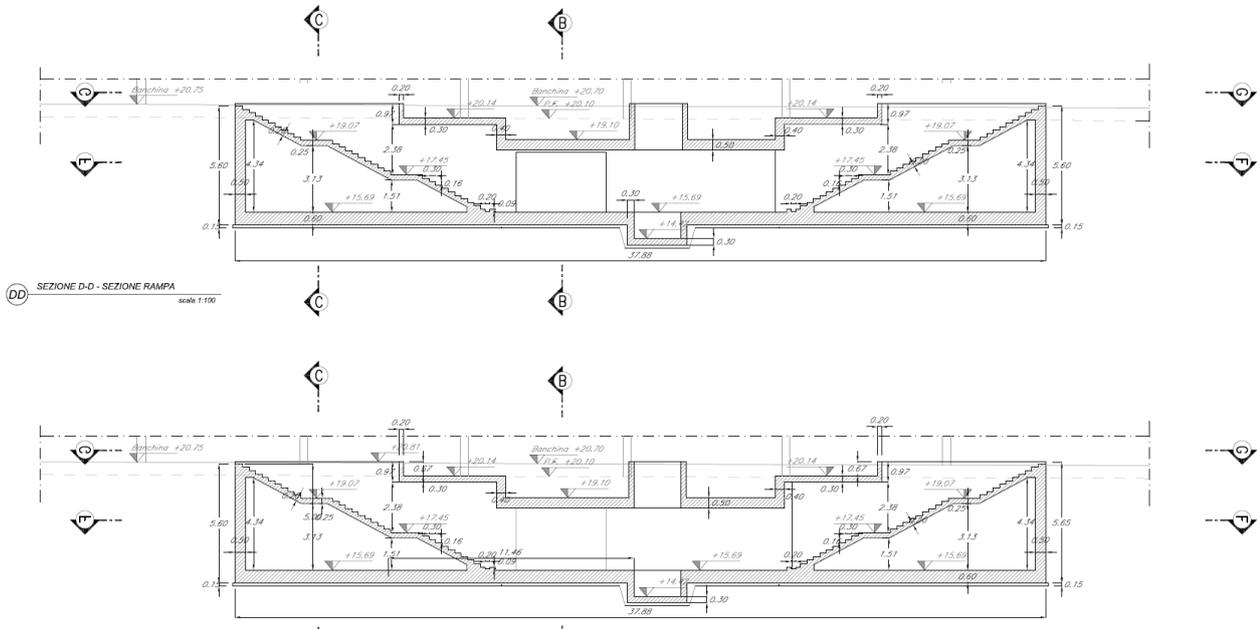


Figura 2 – Sezione longitudinale

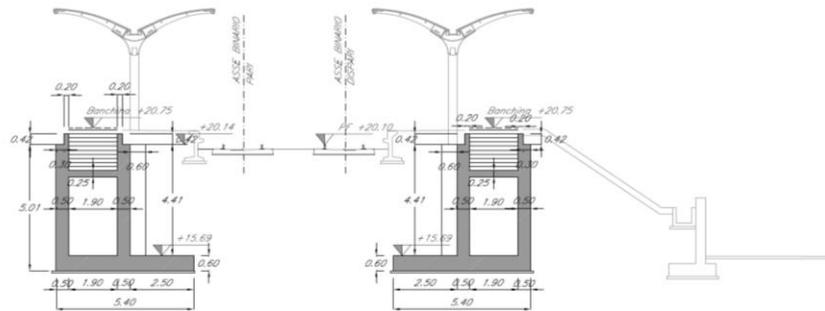


Figura 3 – sezione trasversale

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

IV0100D26BZFFV0300004A
 IV0100D26BZFFV0300005A
 IV0100D26WAFV0300001A

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

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 Pietra Ligure (documento L371 00 D26 F5 GE0005 003A) e alla relazione geotecnica della tratta Finale Ligure – Andora, relativa alle tratte all'aperto (documento L371 00 D26 RB GE0005 001A).

L'area di Borghetto S. Spirito è caratterizzata dalla presenza delle valli del torrente Varatello e del rio del Castellaro, ove i sondaggi geognostici non raggiungono il substrato litoide. Esso è stato individuato nella porzione occidentale della galleria artificiale Pineland: si tratta della porzione alterata ed allentata delle Quarziti di Ponte Nava che si presentano in foro di sondaggio spesso completamente destrutturate come sabbia ghiaioso-limosa.

Per la stratigrafia si fa riferimento al sondaggio BH18 Imprefond 2001 (p.c. 14.80 m)

UNITÀ 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. Lo spessore di questa unità è pari a circa 0.50 m dal p.c.

UNITÀ 2

Ghiaia eterometrica sabbiosa localmente limosa, sabbia e ghiaia in matrice limosa (presenza anche ciottoli $\phi_{max}=7\div 8\text{cm}$), di colore marrone da mediamente addensata ad addensata, costituita da clasti poligenici angolari. Presenza di trovanti litoidi poligenici generalmente silicatici di $\phi \approx 5\div 10\text{cm}$.

Sabbia da media a grossolana, sabbia limosa debolmente ghiaiosa e saltuariamente limi sabbioso-ghiaiosi, di colore marrone giallastro talvolta grigio, da debolmente a molto addensata.

Lo spessore di questo strato si estende per circa 9.50m.

UNITÀ 3

Limi da debolmente sabbiosi a con sabbia, localmente ghiaioso-sabbiosi, di colore giallastro, da mediamente consistente a consistente.

UNITÀ 4

Limo argilloso, argilla e limo, limo argilloso da sabbioso a con sabbia, di colore ocra giallastro o grigio, da consistente ad estremamente consistente.

SUBSTRATO LITOIDE

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

QUARZITI DI PONTE DI NAVA (PDN alt.): alterate ed allentate (in carota di sondaggio si presentano spesso completamente destrutturate).

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).

- Parametri geotecnici medi operativi unita' terre

	γ [kN/m ³]	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E' [MPa]	ν	OCR
Unità 1	19.5	-	0	23÷28	10÷30	0.3	-
Unità 2	20.5	-	0÷10	28÷35	30÷50	0.3	-
Unità 3	20.0	50÷200	2÷20	25÷28	8÷20	0.3 (*)	3÷5
Unità 4	19.5	50÷150	5÷10	23÷26	10÷15	0.3 (*)	2÷4

La falda è considerata a -7.00m dal p.c.

La quota di imposta della fondazione dello scatolare risulta essere più alta della quota terreno naturale per circa 0.30 m, pertanto si provvederà ad uno scotico di almeno 50cm del terreno esistente e si provvederà ad un riempimento, fino a quota magrone, con un misto granulare stabilizzato a cemento ben compattato in modo da avere un modulo di deformabilità non inferiore a 40mpa.

tale valore dovrà essere verificato in opera con prove su piastra.

Le caratteristiche del terreno di fondazione, in ottemperanza alle istruzioni italferr 44g si possono assumere:

$$\phi = 38^\circ \quad \gamma = 20\text{KPa} \quad c' = 0 \quad E_d = 40\text{ MPa}$$

5.1 Interazione terreno-struttura

Il terreno di rinfilo dell'opera è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici dei rilevati ferroviari assunti costanti lungo l'altezza dello scatolare:

$$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$c' = 0 \text{ [kPa]}$$

$$\phi' = 38 \text{ [}^\circ\text{]}$$

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.

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

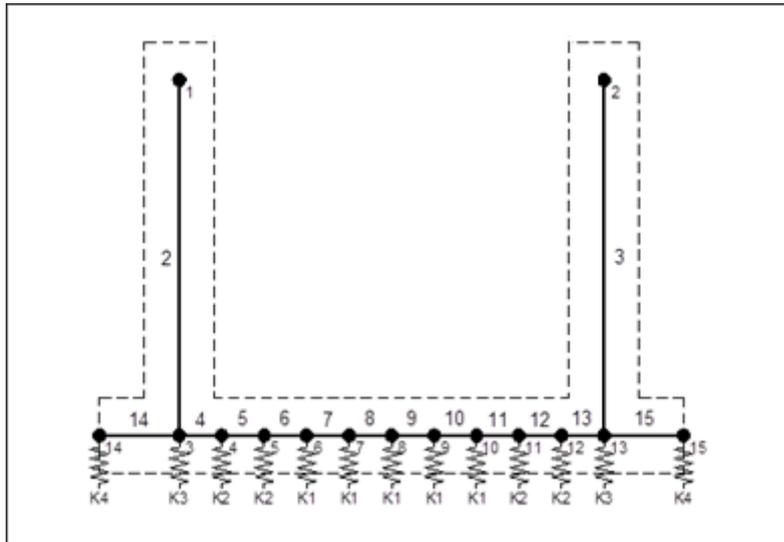


Figura 4 Modellazione letto di molle per la sezione ad "U"

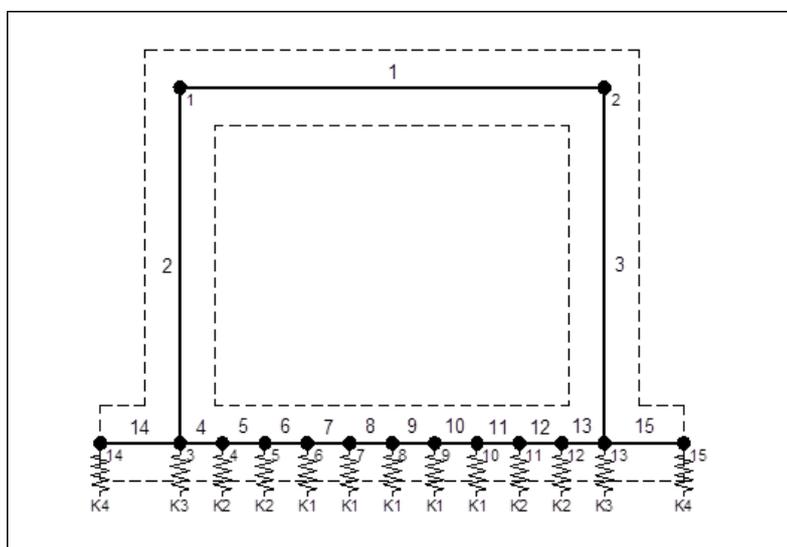


Figura 5 Modellazione letto di molle sezione scatolare

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 Banchine

Poiché il modello di carico si estende fino alla quota di $+5.01 \text{ m}$ dal piano di imposta della fondazione, l'ulteriore spessore di terreno che costituisce in gran parte il corpo della banchina viene considerato come un carico permanente aggiuntivo di intensità

$$G_2 = 20 \times 0.57 = 11.4 \text{ kN/mq/m}$$

Per una estensione di 2.67 m di larghezza dal filo esterno della sezione scatolare ovvero fino al filo della banchina.

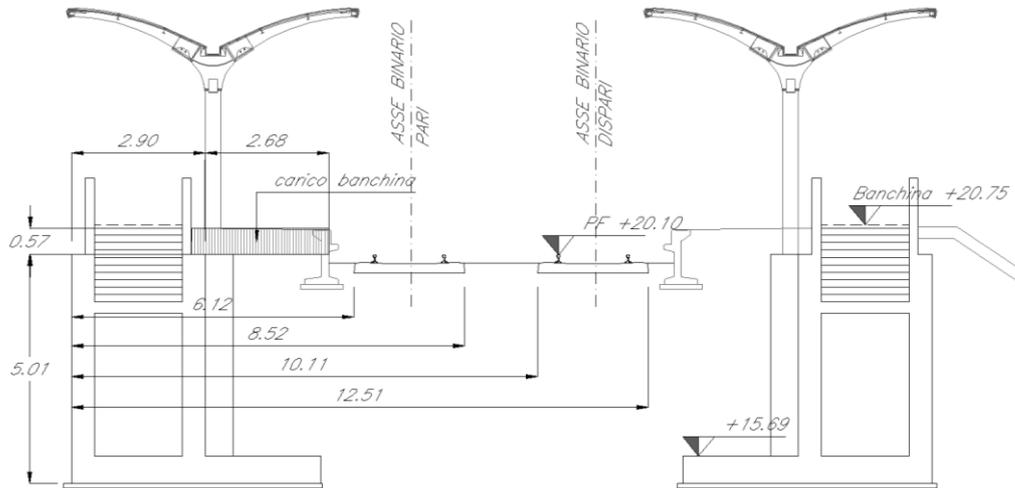


Figura 6: distanze progressive per applicazione dei carichi

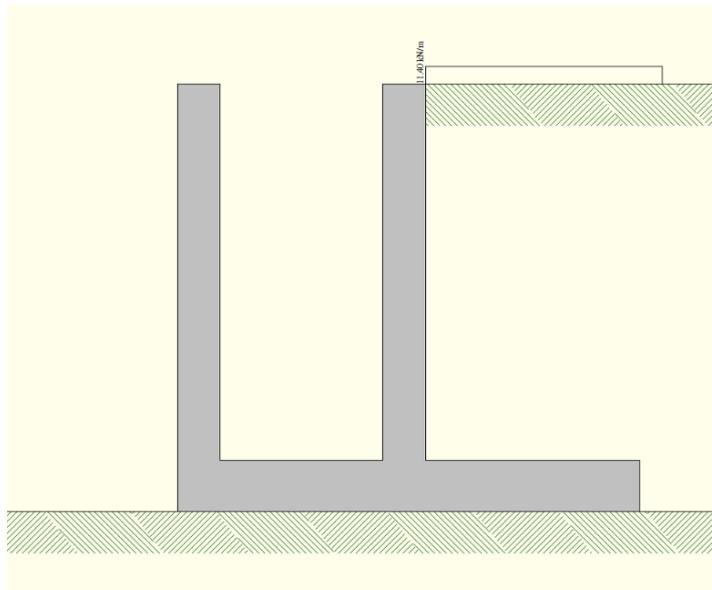


Figura 7: carico banchina

6.2.2 Rampe scale interne

Le rampe scale interne alle sezioni scatolari saranno in gradini incastrati alle pareti laterali strutturali. Questa fattispecie costituisce una sorta di puntello interno a quota variabile per le due pareti controterra. In favore di sicurezza nelle modellazioni si trascura tale vincolo e si considera l'armatura massima che si ottiene dal calcolo estesa a tutta l'altezza delle pareti.

6.2.3 Ricoprimento

Nella zona in cui la rampa scale risulta coperta dalla soletta superiore di spessore 30 cm è prevista l'applicazione di un carico di rinterro avente intensità:

$$G_2 = 20 \times 0.60 = 12.0 \text{ kN/mq/m}$$

6.3 Spinta del terreno

Si assume che sui piedritti agisca la spinta calcolata in condizioni di riposo.

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

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

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;
- $H = 4.01 \text{ m}$ è 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 ferroviari

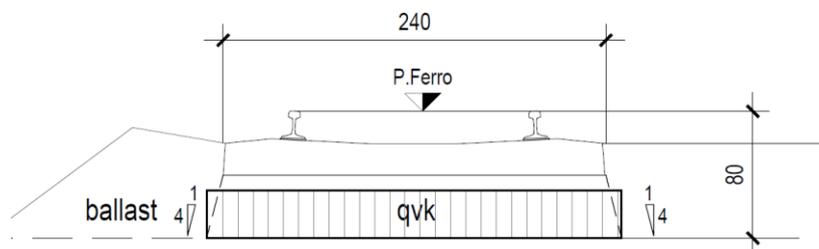
A lato delle strutture oggetto della presente relazione di calcolo insiste, oltre al terreno, il carico dei convogli ferroviari.

I carichi ferroviari indicati al par. 5.2 del D.M. 17/01/2018 devono essere amplificati del fattore " α " definito in Tab. 2.5.1.4.1-1 del MdP RFI 2019.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "
LM71	1,10
SW/0	1,10
SW/2	1,00

6.4.1 Distribuzione dei carichi ferroviari

Si assume che i sovraccarichi ferroviari verticali ed orizzontali si distribuiscano sul terreno a lato della struttura scatolare ed in corrispondenza delle linee ferroviarie alla base delle traversine quindi su una larghezza di 2.40 m:



Poiché il carico ferroviario è applicato al suolo non si ha necessità di considerare effetti dinamici di incremento.

Poiché il carico spingente massimo dovuto alle azioni ferroviarie si attinge indiscutibilmente per effetto delle azioni del treno di carico LM71 ed in particolare per effetto dei carichi concentrati Q_{vk} nel seguito verrà considerato solo questo carico con la relativa ripartizione.

6.4.2 Treno di carico LM71

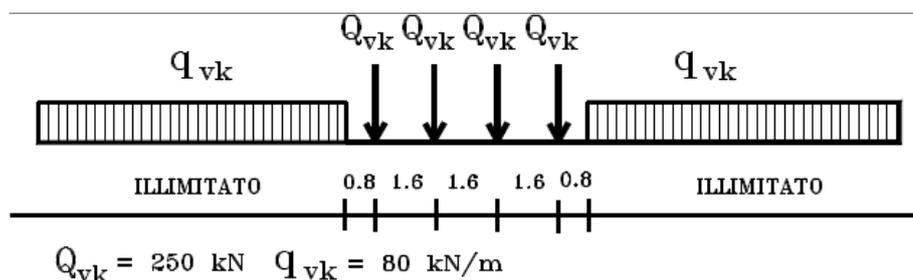


Figura 8: treno di carico LM71

Carichi ferroviari mobili LM71								
Treno	Tipo	Q_{vk}	q_{vk}	L_{long}	L_{trasv}	q'_{vk}	α	q'_{vd}
		[kN]	[kN/m]	[m]	[m]	[kN/m ²]	[-]	[kN/m]
LM71	Carico concentrato	1000	-	6.40	2.40	65.1	1.1	71.6
	Carico distribuito	-	80.0	-	2.40	33.3	1.1	36.7

Essendo:

L_{long} lunghezza di distribuzione longitudinale del carico

L_{trasv} larghezza di distribuzione trasversale del carico

q'_{vk} carico per unità di superficie $Q_{vk}/(L_{long} \cdot L_{trasv})$ ovvero q_{vk}/L_{trasv}

α coefficiente di amplificazione del carico

q'_{vd} carico di progetto per unità di lunghezza applicato al modello

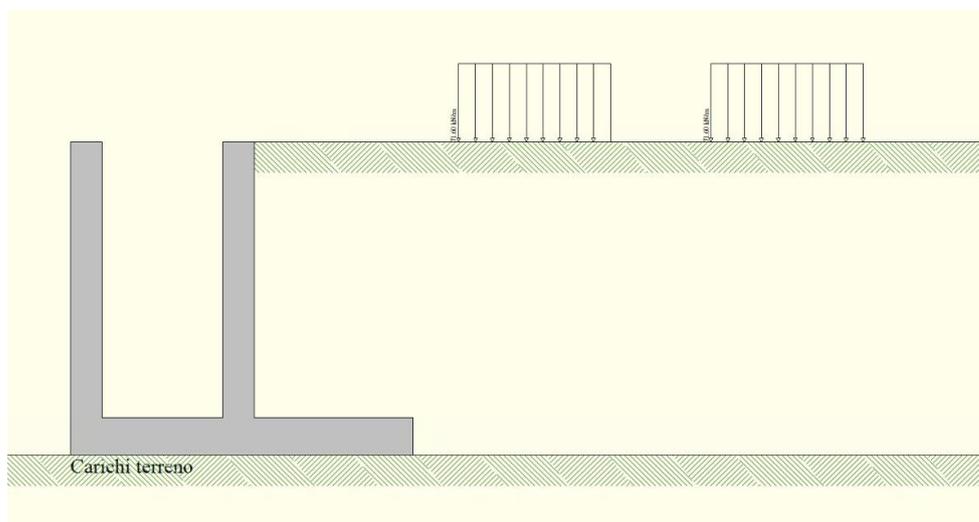


Figura 9: carico ferroviario

6.4.3 Spinta del terreno indotta dai treni di carico

La pressione del terreno sui piedritti ed indotta dai treni di carico viaggianti verrà calcolata secondo la formula $p = q * K_0$ con $K_0 = 0.384$, ove q è il carico equivalente sul rilevato.

6.4.4 Avviamento e frenatura

Le sollecitazioni di frenatura ed avviamento risultano perpendicolari al modello di calcolo e quindi non vengono considerate.

6.4.5 Serpeggio e centrifuga

Tali carichi vengono trascurati perché non determinanti per il dimensionamento trasversale dell'opera.

6.5 Carichi folla

A livello delle banchine adiacenti alla sezione ad "U" scatolare delle nuove rampe si considera un carico distribuito sulla larghezza della banchina di intensità $q=5,00$ kN/mq

6.6 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 $44^{\circ}.1194496$ N – $8^{\circ}.2315438$ E

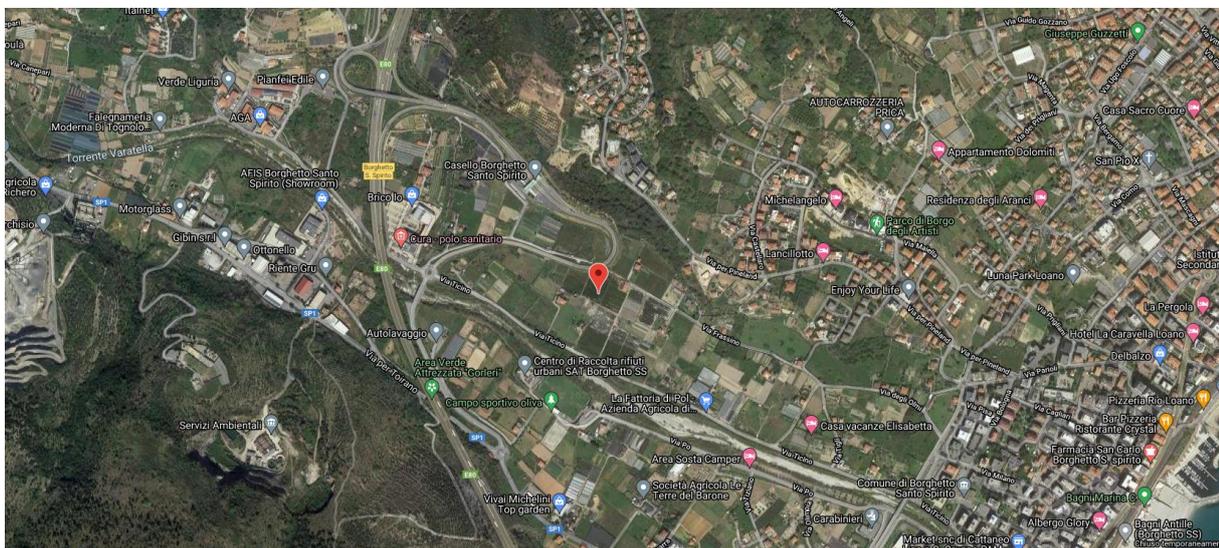


Figura 10

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]	Ss	St
SLV	1424	0.176	2.474	0.306	1.433	1.00

6.6.1 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 la struttura come 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} .

6.6.2 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 $F_h = k_h \cdot W$
- Forza sismica verticale $F_v = k_v \cdot W$

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:

- a) Azioni Permanenti (G);
- b) Azioni Variabili (Q);
- c) Azioni di Precompressione (P);
- d) Azioni Eccezionali (A);
- e) 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	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	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.

Modello A

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 (rinterro banchina)

Distr	Terreno	$X_i = 2.90$	$X_i = 5.67$	$V_{ni} = 11.40$	$V_{ni} = 11.40$	
Distr	Traverso	$X_i = 0.00$	$X_i = 2.90$	$V_{ni} = 12.00$	$V_{ni} = 12.00$	$V_{ti} = 0.00$ $V_{it} = 0.00$

Condizione di carico n°8 (folla)

Distr	Terreno	$X_i = 2.90$	$X_i = 5.67$	$V_{ni} = 5.00$	$V_{ni} = 5.00$	
Distr	Traverso	$X_i = 0.00$	$X_i = 2.90$	$V_{ni} = 5.00$	$V_{ni} = 5.00$	$V_{ti} = 0.00$ $V_{it} = 0.00$

Condizione di carico n°9 (LM71)

Distr	Terreno	$X_i = 6.12$	$X_i = 8.52$	$V_{ni} = 71.60$	$V_{ni} = 71.60$	
Distr	Terreno	$X_i = 10.10$	$X_i = 12.50$	$V_{ni} = 71.60$	$V_{ni} = 71.60$	

Modello B

Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

**PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di calcolo Scale e Rampe**

COMMESSA IV01 LOTTO 00 CODIFICA D 26 CL DOCUMENTO FV0300 004 REV. A FOGLIO 19 di 43

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 (rinterro banchina)

Distr	Terreno	$X_i= 2.90$	$X_i= 5.67$	$V_{ni}= 11.40$	$V_{ni}= 11.40$
-------	---------	-------------	-------------	-----------------	-----------------

Condizione di carico n° 8 (folla)

Distr	Terreno	$X_i= 2.90$	$X_i= 5.67$	$V_{ni}= 5.00$	$V_{ni}= 5.00$
-------	---------	-------------	-------------	----------------	----------------

Condizione di carico n° 9 (LM71)

Distr	Terreno	$X_i= 6.12$	$X_i= 8.52$	$V_{ni}= 71.60$	$V_{ni}= 71.60$
Distr	Terreno	$X_i= 10.10$	$X_i= 12.50$	$V_{ni}= 71.60$	$V_{ni}= 71.60$

7.1 Elenco combinazioni

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

Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
rinterro banchina	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 2 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
rinterro banchina	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folla	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
LM71	Sfavorevole	1.45	0.80	1.16

Combinazione n° 3 SLU (Approccio 2)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
rinterro banchina	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
folla	Sfavorevole	1.50	0.70	1.05
LM71	Sfavorevole	1.45	1.00	1.45

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

**PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di calcolo Scale e Rampe**

COMMESSA IV01 LOTTO 00 CODIFICA D 26 CL DOCUMENTO FV0300 004 REV. A FOGLIO 20 di 43

Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60
Sisma da destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLE (Quasi Permanente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 9 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 10 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71	Sfavorevole	1.00	0.80	0.80
folia	Sfavorevole	1.00	0.60	0.60

Combinazione n° 11 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folia	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71	Sfavorevole	1.00	0.80	0.80

Combinazione n° 12 SLE (Rara)

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

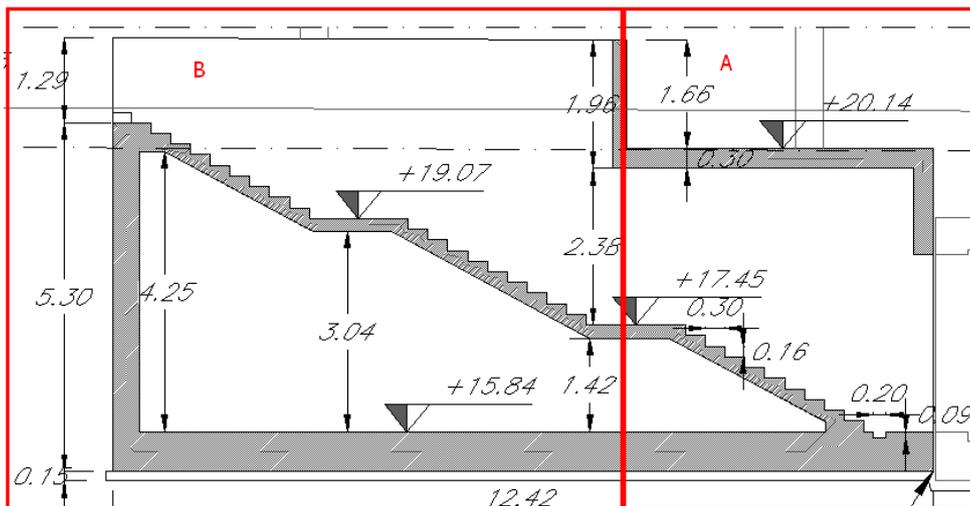
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
rinterro banchina	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
LM71	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
folla	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70

8 MODELLO DI CALCOLO

Si considerando due distinte zone di struttura da verificare.

Nella sezione A le due pareti laterali controterra sono collegate in fondazione dalla platea di fondazione e superiormente da una soletta di copertura della rampa scale.

Nella sezione B la soletta viene meno e la sezione si conforma come una sezione a "U".



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).

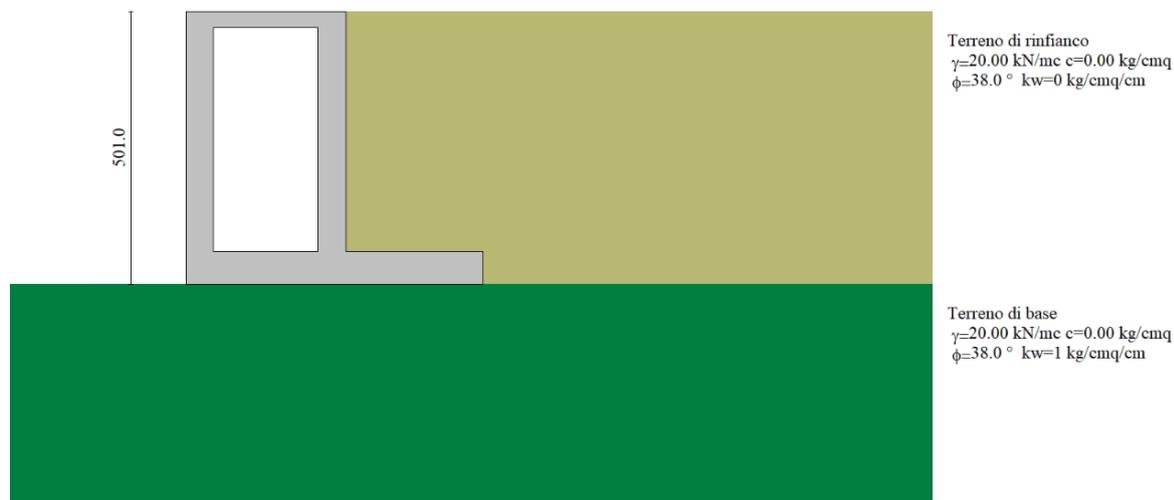


Figura 11 – Modello di calcolo scatolare sezione A

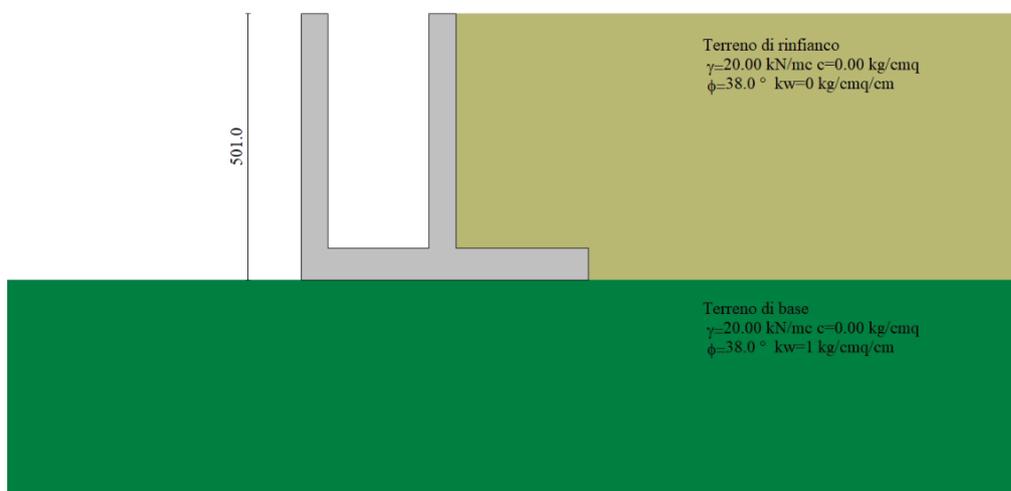


Figura 12 – Modello di calcolo scatolare sezione B

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).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo Scale e Rampe</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 CL</p>	<p>DOCUMENTO FV0300 004</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 23 di 43</p>

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

9.1 Sezione A

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 24.

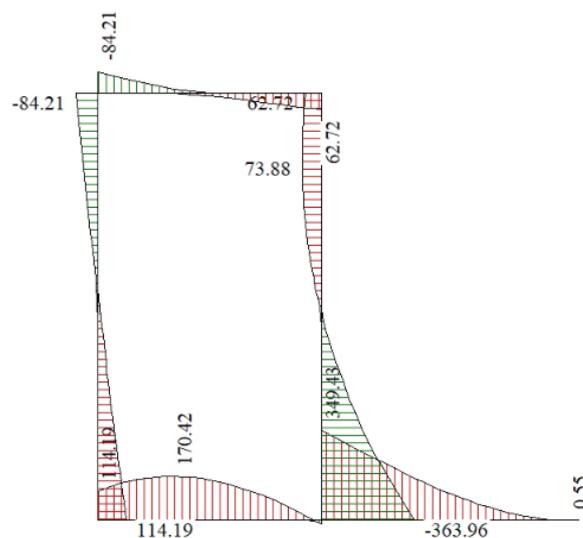


Figura 13 – Involuppo diagramma dei momenti flettenti SLU

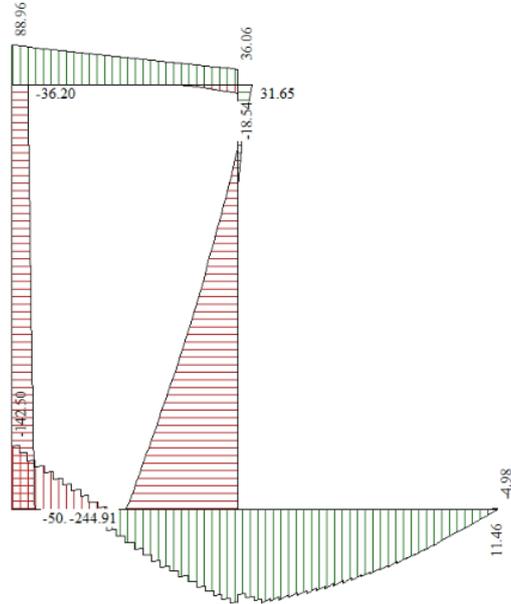


Figura 14 – Involupto diagramma del taglio SLU

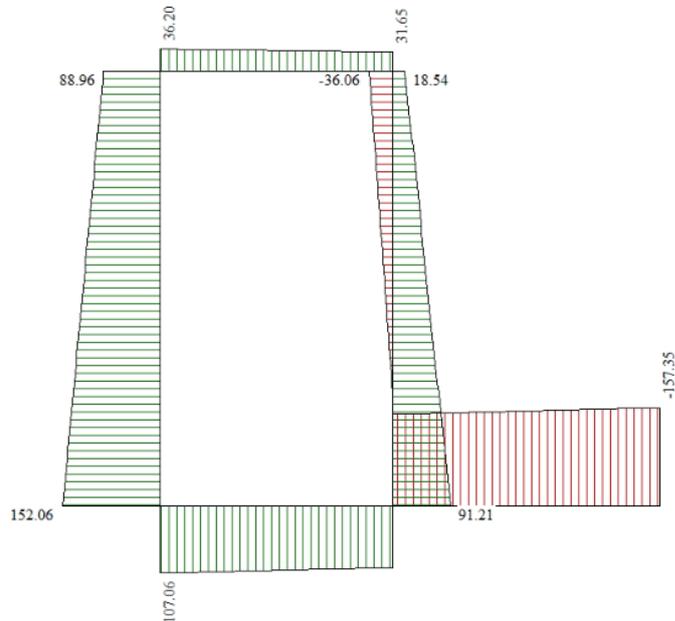


Figura 15 – involupto diagramma sforzo normale SLU

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2)

	Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max			
	M [kNm]	Comb.	T [kN]	Comb.	N [kN]	Comb.
Fondazione	349.43	(6)	206.41	(7)	-157.35	(6)
Piedritto sinistro	114.19	(7)	-50.59	(7)	152.06	(6)
Piedritto centrale	---	---	---	---	---	---
Piedritto destro	-363.96	(6)	-244.91	(6)	91.21	(2)
Traverso	-84.21	(6)	88.96	(6)	36.20	(7)

Combinazioni analizzate 12

<< >> Chiudi Help

Figura 16 – Inviluppo sollecitazioni caratteristiche

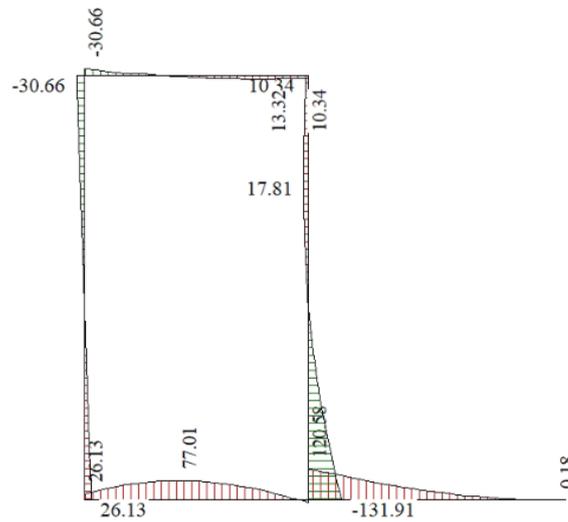


Figura 17- Inviluppo momenti flettenti SLE

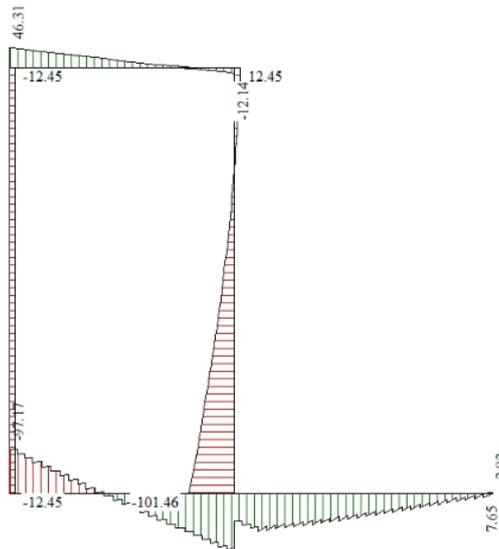


Figura 18 – Involuppo diagramma del taglio SLE

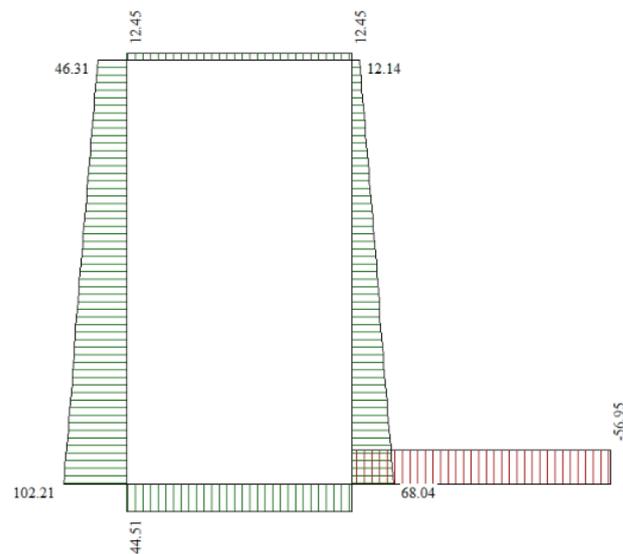


Figura 19 – Involuppo diagramma sforzo normale SLE

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo Scale e Rampe	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO FV0300 004	REV. A	FOGLIO 27 di 43

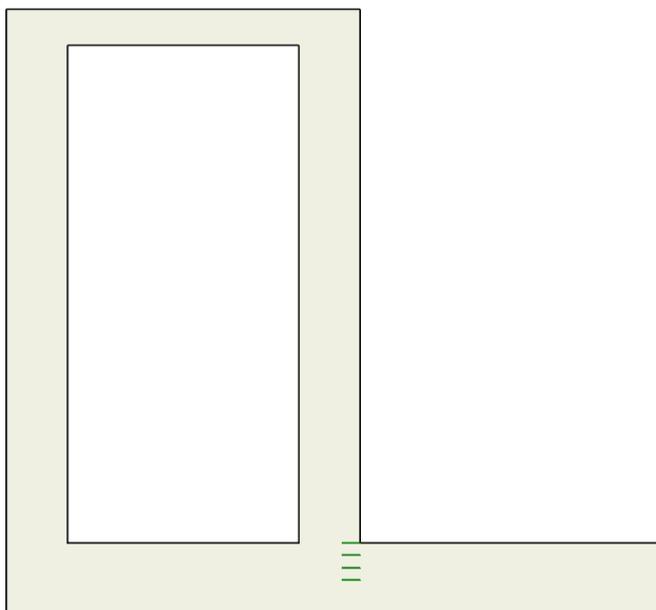


Figura 20 – Sintesi verifiche a fessurazione SLE = Verifiche soddisfatte

In Figura 20 sono rappresentate, in colore verde, le sezioni in cui è stata calcolata l'ampiezza delle fessure, risultando sempre al di sotto dei limiti prescritti.

9.2 Sezione B

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 24.

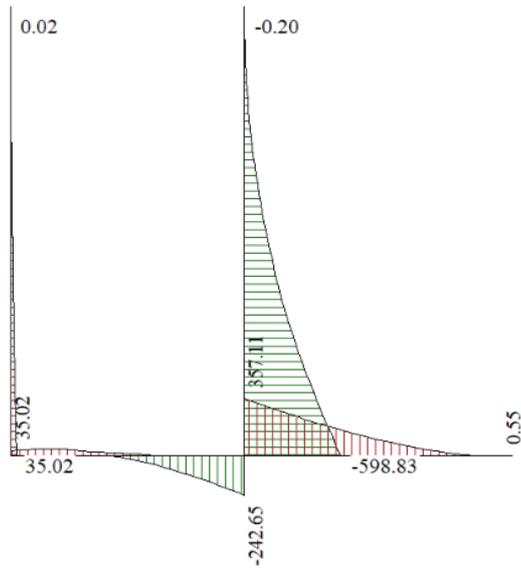


Figura 21 – Involuppo diagramma dei momenti flettenti SLU

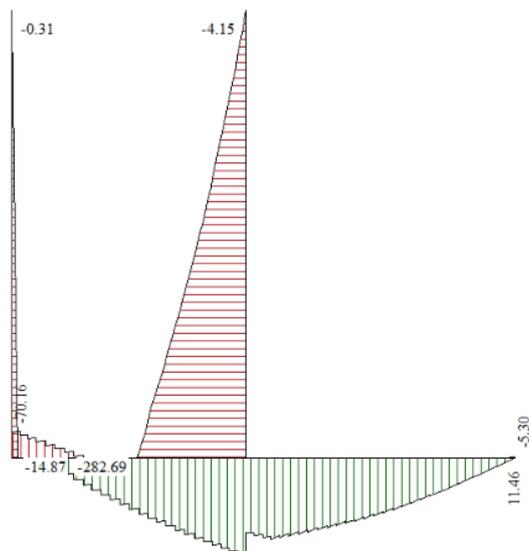


Figura 22 – Involuppo diagramma del taglio SLU

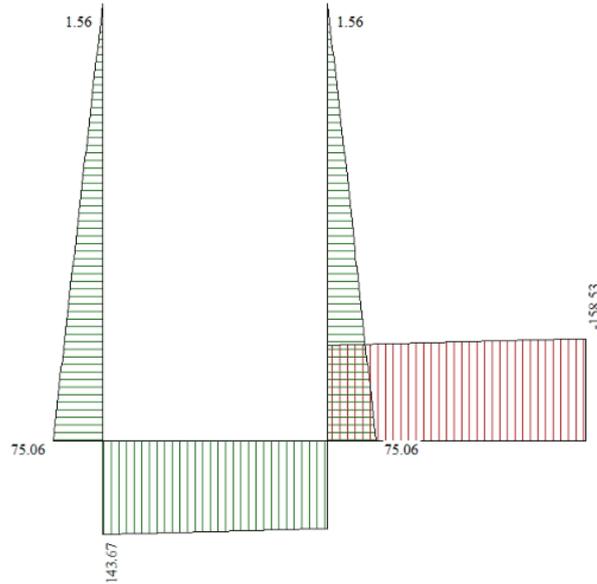


Figura 23 – inviluppo diagramma sforzo normale SLU

Risultati (riferiti ad un metro di scatolare)

SLU (Approccio 2)

	Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max		Sollecitazioni max	
	M [kNm]	Comb.	T [kN]	Comb.	N [kN]	Comb.
Fondazione	357.11	(6)	251.36	(6)	-158.53	(7)
Piedritto sinistro	35.02	(5)	-14.87	(5)	75.06	(3)
Piedritto centrale	---	---	---	---	---	---
Piedritto destro	-598.83	(6)	-282.69	(6)	75.06	(1)
Traverso	---	---	---	---	---	---

Combinazioni analizzate 12

Figura 24 – Inviluppo sollecitazioni caratteristiche

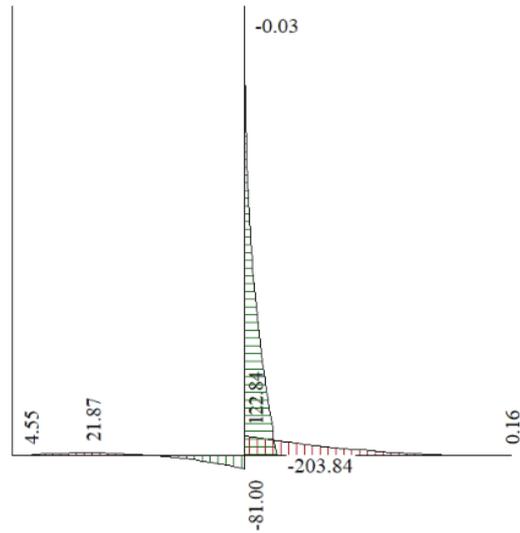


Figura 25- Involuppo momenti flettenti SLE

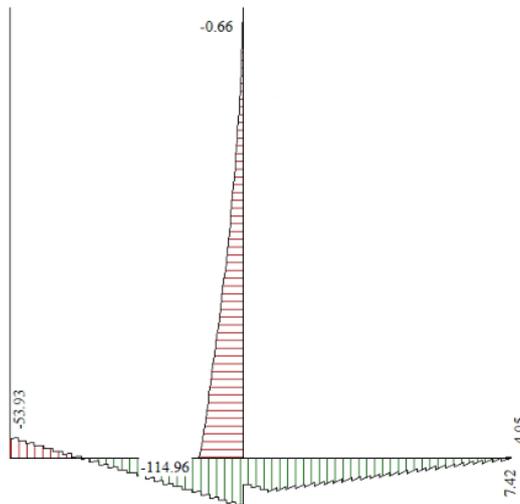


Figura 26 – Involuppo diagramma del taglio SLE

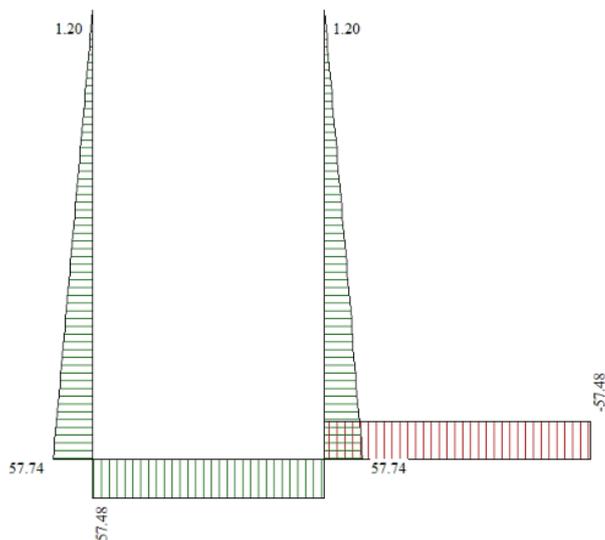


Figura 27 – Inviluppo diagramma sforzo normale SLE

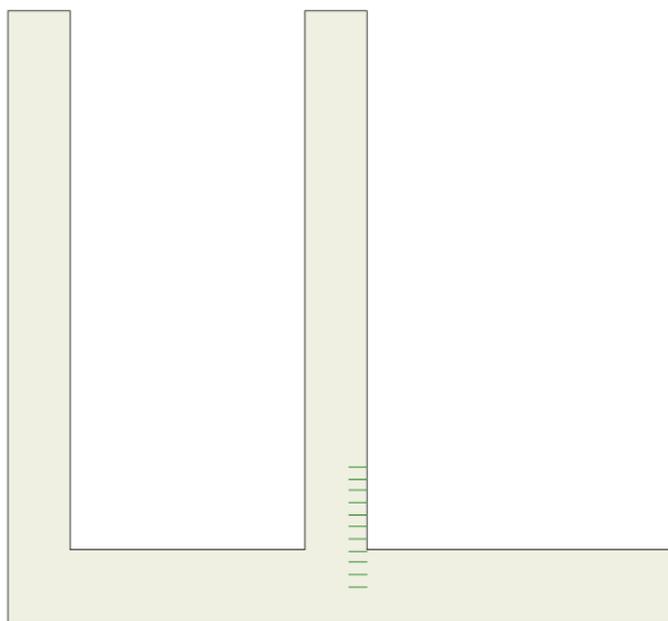


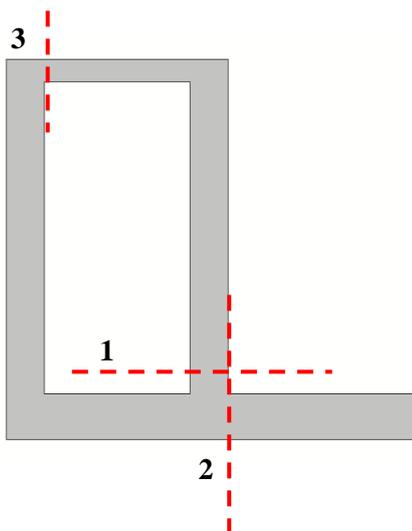
Figura 28 – Sintesi verifiche a fessurazione SLE = Verifiche soddisfatte

In Figura 28 sono rappresentate, in colore verde, le sezioni in cui è stata calcolata l'ampiezza delle fessure, risultando sempre al di sotto dei limiti prescritti.

10 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO

1.1 Sezione A

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



10.1.1 Sezione 1

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

$$M_{Ed,SLV} = -363.96 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLV} = 30.06 \text{ kN}$$

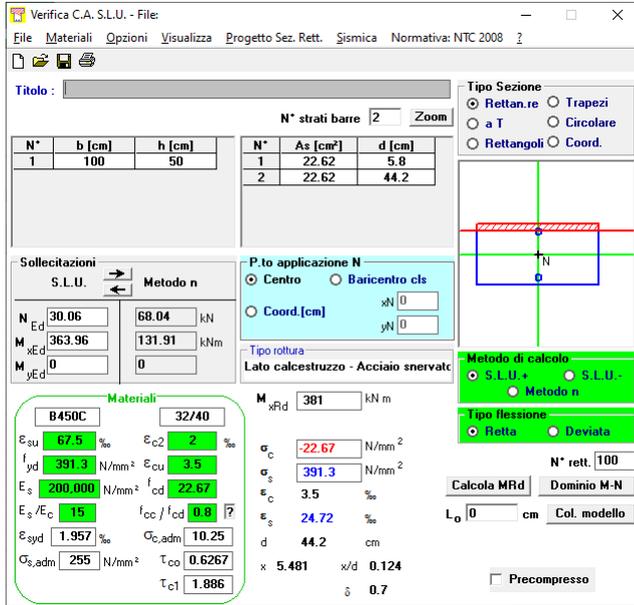
$$V_{Ed,SLV} = 244.91 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,SLE} = -131.91 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLE} = 68.04 \text{ kN}$$

$$A_s = 5\varnothing 24$$

$$A'_s = 5\varnothing 24$$



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	22.62	5.8
			2	22.62	44.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	68.04	kN
M _{xEd}	131.91	kNm
M _{yEd}	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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C 32/40

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

M_{xRd} 381 kNm

σ_c -22.67 N/mm²

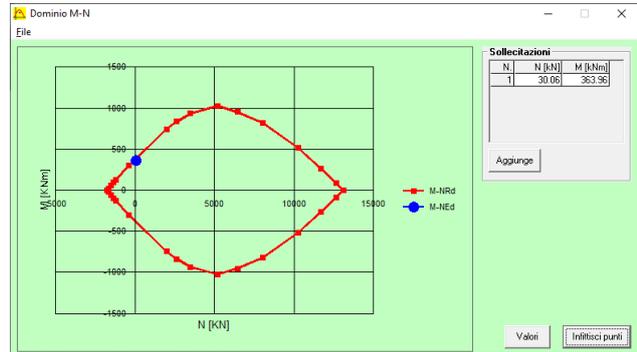
σ_s 391.3 N/mm²

ε_s 24.72 %

d 44.2 cm

x 5.481 x/d 0.124

δ 0.7

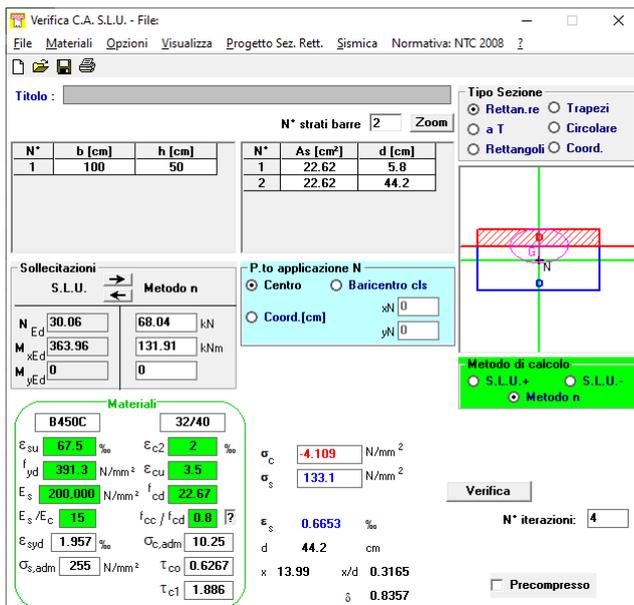


Per la verifica SLE

$$\sigma_c = 4.11 \text{ Mpa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 133.1 \text{ Mpa} < 337.5 \text{ Mpa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = 140.0 \text{ kNm} > M_{Ed,SLE} = 131.91 \text{ kNm}$



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	22.62	5.8
			2	22.62	44.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	68.04	kN
M _{xEd}	131.91	kNm
M _{yEd}	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

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

Materiali: B450C 32/40

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

M_{xRd} 381 kNm

σ_c -4.109 N/mm²

σ_s 133.1 N/mm²

ε_s 0.6653 %

d 44.2 cm

x 13.99 x/d 0.3165

δ 0.8357

10.1.2 Sezione 2

B = 100 cm H = 60 cm

$M_{Ed,SLV} = 349.43 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = -146.94 \text{ kN}$

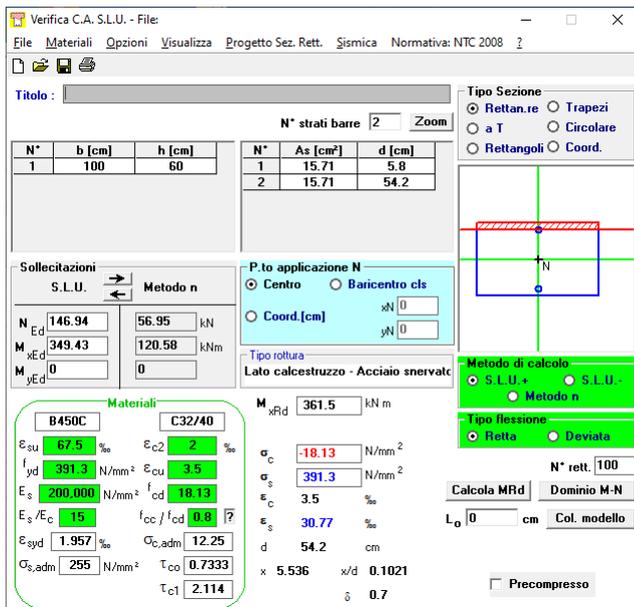
$V_{Ed,SLV} = 182.94 \text{ kN}$

$M_{Ed,SLE} = 120.58 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLE} = -56.95 \text{ kN}$

$A_s = 5\varnothing 20$

$A'_s = 5\varnothing 20$



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	60	1	15.71	5.8
			2	15.71	54.2

Tipologia Sezione

Rettang. re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 146.94 56.95 kN
 M_{xEd} 349.43 120.58 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord. [cm] xN 0 yN 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} 18.13 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 [?]
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.7333 τ_{c1} 2.114

Metodo di calcolo

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

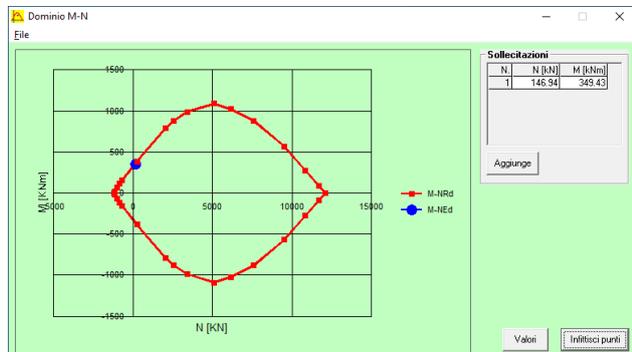
Tipologia flessione

Retta Deviata

Calcola MRd **Dominio M-N**

M_{xRd} 361.5 kNm σ_c -18.13 N/mm² σ_s 391.3 N/mm² ϵ_s 3.5 ‰ ϵ_s 30.77 ‰
 d 54.2 cm x/d 0.1021 δ 0.7

Precompresso



Per la verifica SLE

$\sigma_c = 3.22 \text{ Mpa} < 12.8 \text{ Mpa}$

$\sigma_s = 137.2 \text{ Mpa} < 337.5 \text{ Mpa}$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = 195.4 \text{ kNm} > M_{Ed,SLE} = 120.58 \text{ kNm}$

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	60	1	15.71	5.8
			2	15.71	54.2

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	146.94	56.95	kN
M _{Ed}	349.43	120.58	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_{su}	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}	18.13	
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0.8	
ϵ_{syd}	1.957	%	$\sigma_{c,adm}$	12.25	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm ²	τ_{co}	0.7333	
			τ_{c1}	2.114	

σ_c -3.224 N/mm²
 σ_s 137.2 N/mm²

Verifica
 N° iterazioni: 4

Precompresso

ϵ_s 0.6859 %
 d 54.2 cm
 x 14.13 x/d 0.2606
 δ 0.7658

10.1.3 Sezione 3

B = 100 cm H = 30 cm

$M_{Ed,SLV} = -84.21$ kNm

$N_{Ed,SLV} = 35.93$ kN

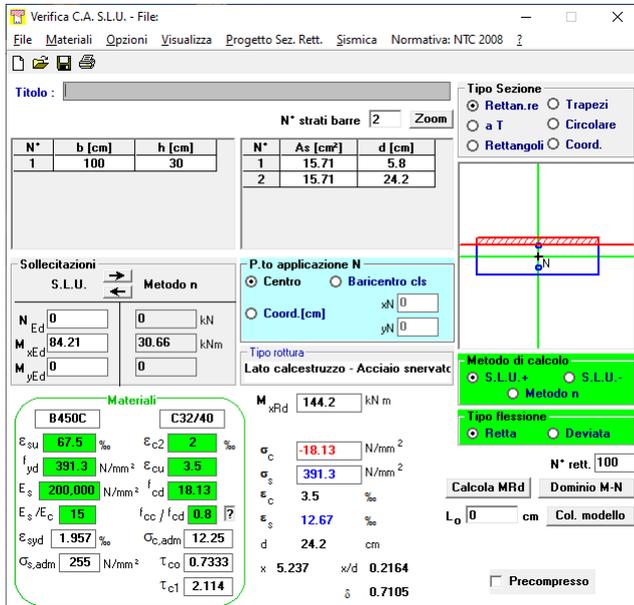
$V_{Ed,SLV} = 88.96$ kN

$M_{Ed,SLE} = -30.66$ kNm

$N_{Ed,SLE} = 12.45$ 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	30	1	15.71	5.8
			2	15.71	24.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 84.21 30.66 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

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

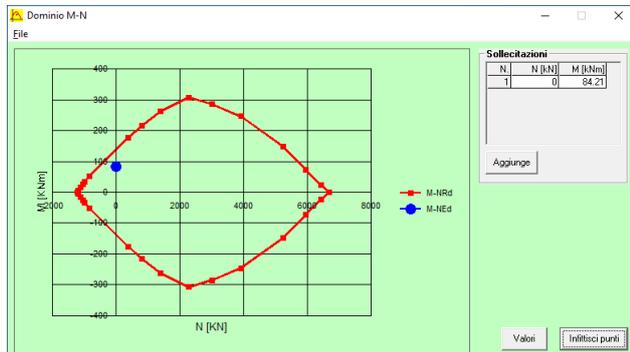
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

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} 18.13
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

m_{Rd} 144.2 kNm
σ_c -18.13 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_s 3.5 ‰
ε_s 12.67 ‰
d 24.2 cm
x 5.237 x/d 0.2164
δ 0.7105

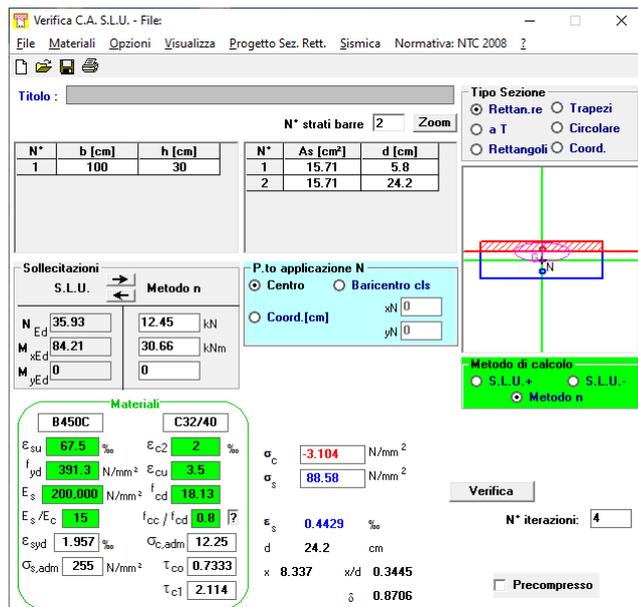


Per la verifica SLE

$$\sigma_c = 3.10 \text{ Mpa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 88.58 \text{ Mpa} < 337.5 \text{ Mpa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = 47.9 \text{ kNm} > M_{Ed,SLE} = 30.66 \text{ kNm}$



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	30	1	15.71	5.8
			2	15.71	24.2

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 35.93 12.45 kN
M_{xEd} 84.21 30.66 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

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

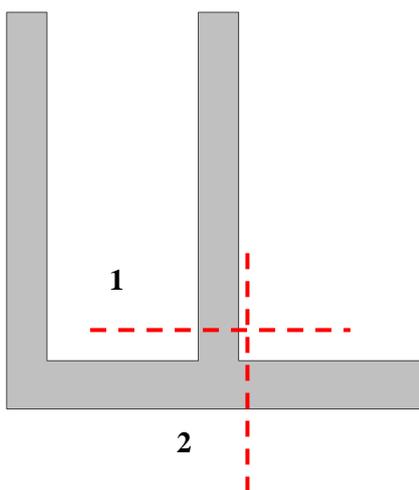
Materiali B450C C32/40

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} 18.13
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

σ_c -3.104 N/mm²
σ_s 88.58 N/mm²
ε_s 0.4429 ‰
d 24.2 cm
x 8.337 x/d 0.3445
δ 0.8706

10.2 Sezione B

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



10.2.1 Sezione 1

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

$$M_{Ed,SLV} = -598.83 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLV} = 65.17 \text{ kN}$$

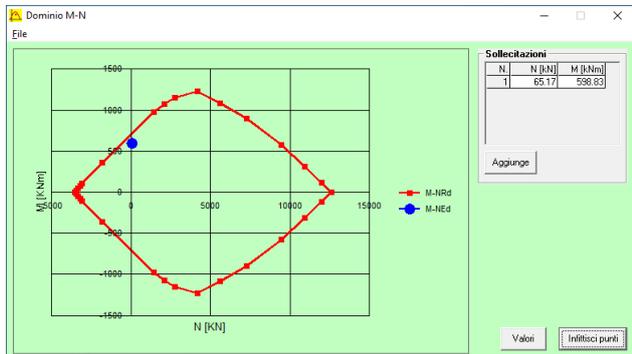
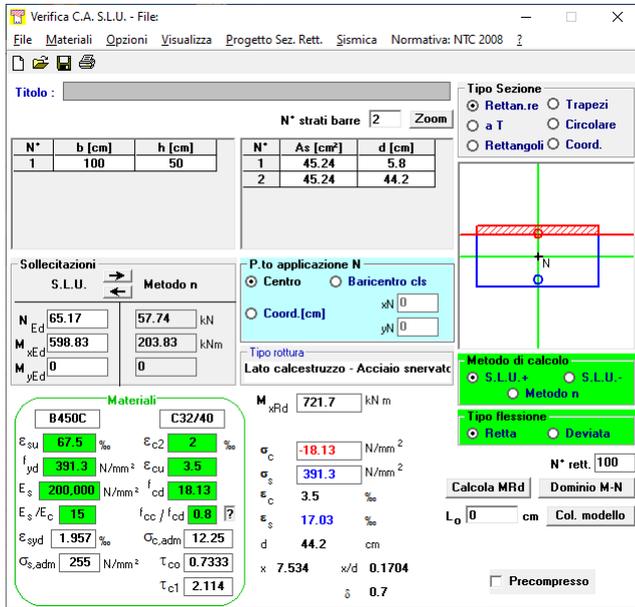
$$V_{Ed,SLV} = 282.69 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,SLE} = -203.84 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,SLE} = 57.74 \text{ kN}$$

$$A_s = 10\varnothing 24$$

$$A'_s = 10\varnothing 24$$

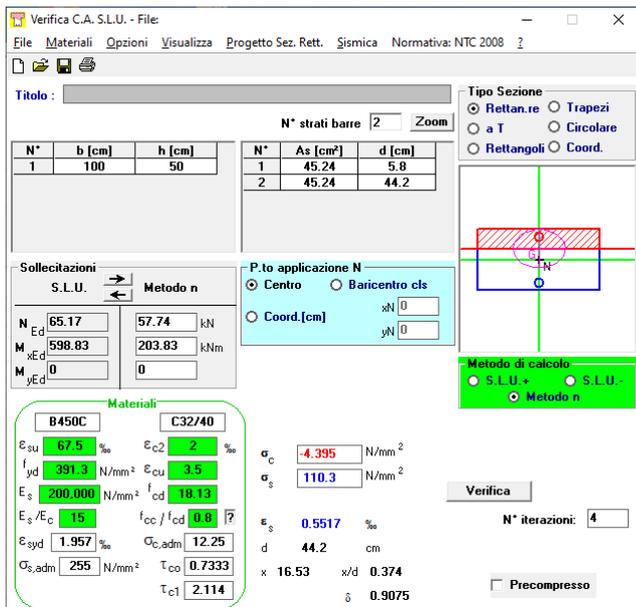


Per la verifica SLE

$$\sigma_c = 4.39 \text{ Mpa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 110.3 \text{ Mpa} < 337.5 \text{ MPa}$$

$$W = 0.110 \text{ mm} < 0.200 \text{ mm}$$



Grandezza	Rara	U.Mis	Descrizione e formula
b	1000	[mm]	
h	500	[mm]	
c	58	[mm]	Ricoprimento
x	165.3	[mm]	
∅	24	[mm]	
n Fe	10		
As	4523.9	[mm²]	
β1	1		barre ad aderenza migliorata.
β2	0.5		azioni di lunga durata o nel caso di azioni ripetute
β	0.7383		
Es	210000	[N/mm²]	
σs	110.3	[N/mm²]	
(1-β1β2β2)	0.7275		>=0.4
εsm	0.0003821		Deformazione media unitaria= σs (1-β1β2β2)/Es
deff	167.35	[mm]	min((h-x)/2 ; c+7,5∅)
beff	370	[mm]	base calcestruzzo efficace
Ac,eff	61919.5	[mm²]	Area calcestruzzo efficace =deff *beff
k3	0.125		
ρ	0.07306		As/Aceff
s	185	[mm]	
k2	0.4		barre ad aderenza migliorata
Δsm	169.4	[mm]	distanza media fra le fessure = 2(c+s/10) + k2k3∅/ρ
wd	0.1101	[mm]	apertura delle fessure = 1,7 Δsm εsm

10.2.2 Sezione 2

B = 100 cm H = 60 cm

$M_{Ed,SLV} = 357.11$ kNm

$N_{Ed,SLV} = -148.11$ kN

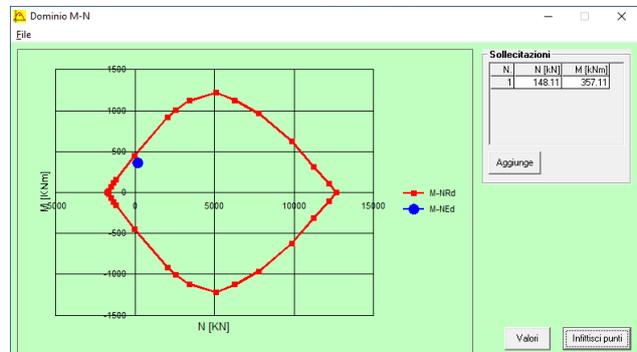
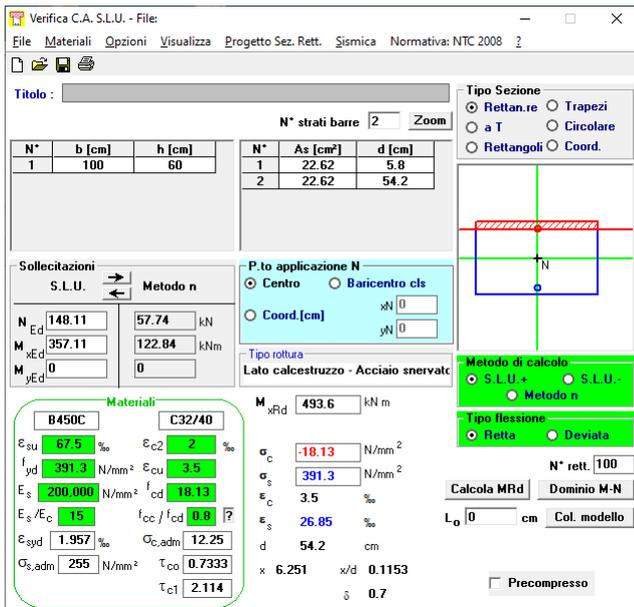
$V_{Ed,SLV} = 192.9$ kN

$M_{Ed,SLE} = 122.84$ kNm

$N_{Ed,SLE} = -57.48$ kN

$A_s = 5\varnothing24$

$A'_s = 5\varnothing24$

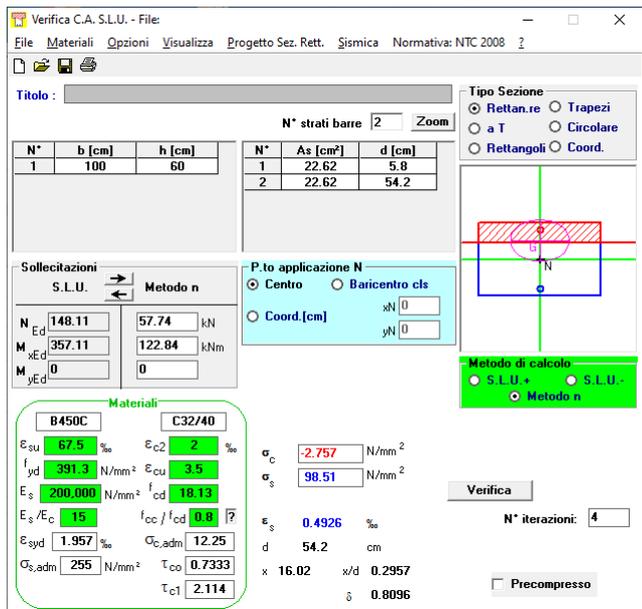


Per la verifica SLE

$\sigma_c = 2.76$ Mpa < 12.8 Mpa

$\sigma_s = 98.51$ Mpa < 337.5 Mpa

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = 200.9$ kNm > $M_{Ed,SLE} = 122.84$ 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	60	1	22.62	5.8
			2	22.62	54.2

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

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

Materiali

B450C	C32/40	ϵ_{su} 67.5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰	σ_c -2.757 N/mm ²
		f_{yd} 391.3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3.5 ‰	σ_s 98.51 N/mm ²
		E_s 200.000 N/mm ²	f_{cd} 18.13	
		ϵ_s / E_c 15 ‰	f_{cc} / f_{cd} 0.8	
		ϵ_{syd} 1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12.25	
		$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm ²	τ_{co} 0.7333	
		τ_{c1} 2.114		

ϵ_s 0.4926 ‰
 d 54.2 cm
 x 16.02 x/d 0.2957
 δ 0.8096

Verifica N° iterazioni: Precompresso

10.3 Soletta scale

La scala in oggetto conduce dal sottopasso posto a quota +15.92, alla banchina posta a quota +20.75. Verrà realizzata in c.a ed è costituita da tre rampe la cui larghezza netta è di 1.90 m.

I gradini hanno una pedata di 30 cm ed un'alzata di 16 cm circa, sono gettati in opera e poggiano sulla soletta che a sua volta poggia sui muri di contenimento.

Il modello di calcolo adottato è in favore di sicurezza quello di trave appoggiata, la luce di calcolo che si adotta per tale scala è di 2.40 m. Le verifiche vengono condotte sulla striscia di un metro.

10.3.1 Analisi dei carichi

PERMANENTI

Soletta 20 cm; inclinazione 28°

Peso specifico del C.A. = 25.00 KN/m³

Peso delle solette = 25.00 x 0.20 / cos28° = 5.66 KN/m²

Peso gradini = 25.00 x 0.020 x 1 x 3.3 = 1.65 KN/m²

Carico totale permanenti strutturali → G_s = 7.31 KN/m²

Peso finitura in granito ≈ 2.00 KN/m²

Carico totale permanenti non strutturali → G = 2.00 KN/m²

VARIABILI

I carichi accidentali sono schematizzati da un carico uniformemente ripartito del valore di 5 KN/m².

Carichi agenti sulla striscia di 1 m

$$g = 7.3 + 2.00 = 9.3 \text{ KN/m}$$

$$q = 5.00 \text{ KN/m}$$

10.3.2 Calcolo sollecitazioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_g \times g + \gamma_q \times q$$

In cui $\gamma_g = 1.3$

$$\gamma_q = 1.5$$

Per cui le sollecitazioni massime di progetto allo SLU sono:

Momento flettente $M_d = 1/8 \times Q \times l^2$

$$M_d = 1/8 \times (1.3 \times 9.3 + 1.5 \times 5.00) \times 2.40^2 = 14.10 \text{ KNm}$$

Taglio $V_d = Q \times l / 2$

$$V_d = (1.3 \times 9.3 + 1.5 \times 5.00) \times 2.40 / 2 = 23.51 \text{ KN}$$

Combinazione caratteristica rara (SLE irreversibili):

$$g + q$$

Per cui le sollecitazioni massime di progetto allo SLE sono:

Momento flettente $M_{es} = 1/8 \times Q \times l^2$

$$M_{es} = 1/8 \times (9.3 + 5.00) \times 2.40^2 = 10.30 \text{ KNm}$$

Taglio $V_{es} = Q \times l / 2$

$$V_{es} = (9.3 + 5.00) \times 2.40 / 2 = 15.30 \text{ KN}$$

10.3.3 Verifica della sezione

DATI DELLA SEZIONE

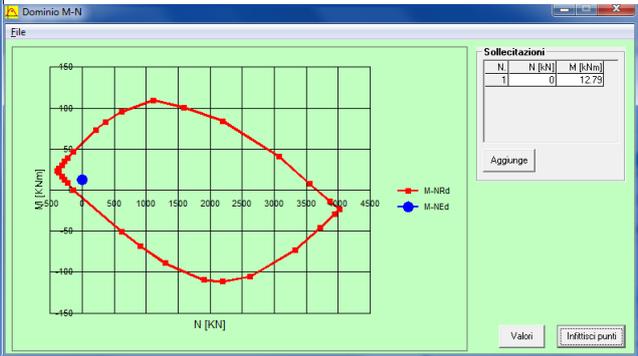
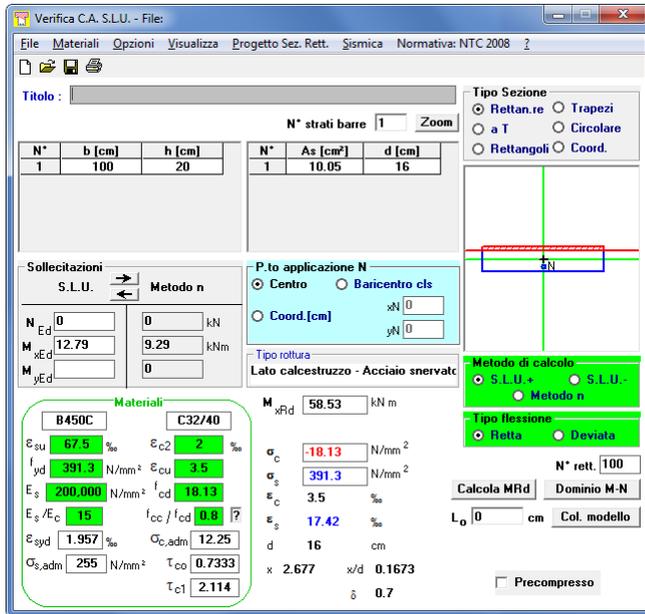
$$H = 15 \text{ cm}$$

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

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$h' = 3.5 \text{ cm}$$

Verranno disposti al lembo teso $\rightarrow 5 \Phi 16$ aventi $A_a = 10.05 \text{ cm}^2$



		Notazione (NTC 2018)	Formule (NTC 2018)	Unità	Valore
1	Taglio Agente	V_{ed}		kN	21
2	Sforzo Normale Agente	N_{ed}		kN	0
3	Larghezza Sezione	B		mm	1000
4	Altezza Sezione	H		mm	200
5	Numero delle barre longitudinali	n		-	5.0
6	Diametro delle barre longitudinali	ϕ		mm	16
7	Copripelle delle barre longitudinali	c		mm	40
8	Numero delle barre trasversali a taglio	n_w		-	0.0
9	Diametro delle barre trasversali a taglio	ϕ_w		mm	10
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}	$N_{ed} / B H < 0,2 f_{cd}$	MPa	0.00
21	Altezza Utile Sezione	d		mm	152
22	Area di acciaio longitudinale	A_{sl}	$n \phi^2 / 4$	mm ²	1.005
23	Densità di armatura longitudinale	ρ_l	$A_{sl} / B d < 0,02$	-	0.00661
24	Coefficiente amplificativo	k	$1 + \sqrt{(200/d)} < 2$	-	2.00000
25	Resistenza minima a taglio del cls non compres.	v_{min}	$0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	MPa	0.560
26	Resistenza minima a taglio del cls compresso	v_{min}	$v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}$	MPa	0.560
27	Coefficiente di riduzione	v	$(\cot \theta + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$	-	0.345
28	Coefficiente maggiorativo	α_c	$f(\sigma_{cp} / f_{cd})$	-	1.000
29	Resistenza di calcolo a taglio del cls non armato	v_{Rd}	$0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3}$	MPa	0.664
30	Taglio Resistente del cls non armato	V_{Rd}	$v_{Rd,c} B d$	kN	101
31	Verifica in assenza di armature a taglio		$V_{Ed} < V_{Rd,c}$?	OK

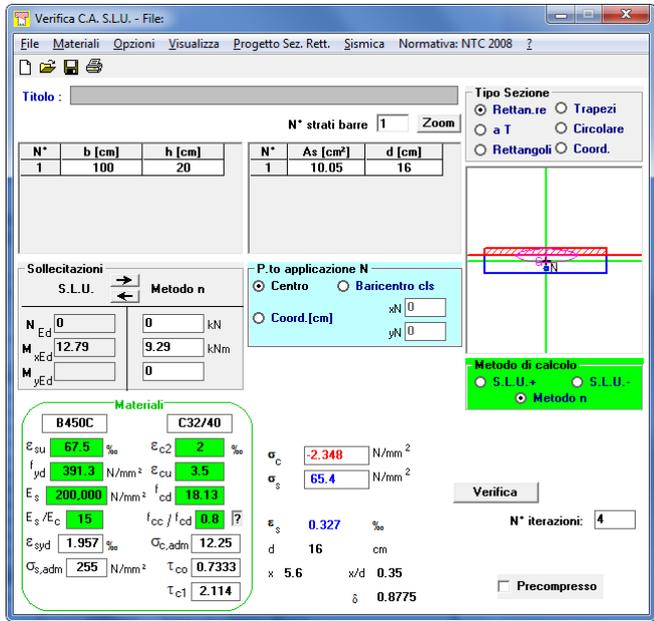
La sezione risulta verificata agli SLV anche in assenza di armatura a taglio

Per la verifica SLE

$$\sigma_c = 2.35 \text{ Mpa} < 12.8 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 65.4 \text{ Mpa} < 337.5 \text{ MPa}$$

La sezione non risulta fessurata essendo $M_{fess} = 19.6 \text{ kNm} > M_{Ed,SLE} = 9.29 \text{ kNm}$



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

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

TITOLO: _____

N° strati barre: 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	20	1	10.05	16

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

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	0	0	kN
M _{xEd}	12.79	9.29	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_{su}	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}	10.13	
E_s / E_c	15		f_{cc} / f_{cd}	0.8	
ϵ_{syd}	1.957	%	$\sigma_{c,adm}$	12.25	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm ²	τ_{co}	0.7333	
			τ_{c1}	2.114	

σ_c -2.348 N/mm²
 σ_s 65.4 N/mm²
 ϵ_s 0.327 ‰
d 16 cm
x 5.6 x/d 0.35
 δ 0.8775

Verifica N° iterazioni: 4 Precompresso

11 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche geotecniche al collasso non risultano necessarie. A questo riguardo si rileva che essendo la struttura lateralmente circondata dal rilevato ferroviario; uno SLU per raggiungimento del carico limite del complesso fondazione-terreni di imposta è impossibile, per la presenza proprio del rilevato ferroviario ai lati della struttura scatolare.