

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO

SL03 – Nuovo sottovia km 31+085 LS (tratta Bergamo-Montello)

Relazione di calcolo rampe e muri di sostegno

SCALA:



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

N B 1 R 0 8 D 2 6 C L S L 0 3 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Serrau	Marzo 2020	A. Maran	Marzo 2020	M. Berlingeri	Marzo 2020	A. Perego Marzo 2020



File: NB1R08D26CLSL0300002A

n. Elab.: 235

**INDICE**

1.	INTRODUZIONE .....	5
2.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	7
3.	MATERIALI .....	9
3.1.	CALCESTRUZZO .....	9
3.2.	ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA .....	9
4.	MURI AD U .....	10
4.1.	CODICE DI CALCOLO .....	14
4.2.	MODELLO DI CALCOLO .....	15
4.3.	MODELLO DI CALCOLO E GEOMETRIA MURO AD U – TIPO 1 .....	16
4.3.1.	<i>Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1° modello di calcolo</i> .....	18
4.3.2.	<i>ANALISI DEI CARICHI</i> .....	19
4.3.3.	<i>COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI</i> .....	24
4.3.4.	<i>Verifiche</i> .....	37
4.3.5.	<i>Verifiche a deformazione</i> .....	56
4.3.6.	<i>Riepilogo armature – muro tipo 1</i> .....	57
4.4.	MODELLO DI CALCOLO E GEOMETRIA MURO AD U – TIPO 2 .....	58
4.4.1.	<i>Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1° modello di calcolo</i> .....	61
4.4.2.	<i>ANALISI DEI CARICHI</i> .....	61
4.4.3.	<i>COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI</i> .....	68
	<i>Verifiche</i> .....	81
4.4.4.	<i>Verifiche a flessione</i> .....	81
4.4.5.	<i>Verifiche a deformazione</i> .....	100
4.4.6.	<i>Riepilogo armature – muro tipo 2</i> .....	101
4.5.	MODELLO DI CALCOLO E GEOMETRIA MURO AD U – TIPO 3 .....	102
4.5.1.	<i>Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1° modello di calcolo</i> .....	105

4.5.2.	ANALISI DEI CARICHI .....	105
4.5.3.	COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI.....	112
4.5.4.	Verifiche .....	125
4.5.5.	Verifiche a flessione .....	125
4.5.6.	Verifiche a deformazione.....	144
4.5.7.	Riepilogo armature – muro tipo 3 .....	145
5.	MURI DI SOSTEGNO.....	146
5.1.	DESCRIZIONE DELLE OPERE .....	146
5.2.	CODICE DI CALCOLO .....	147
5.3.	ANALISI DEI CARICHI .....	148
5.3.1.	Carichi permanenti strutturali - G1 .....	148
5.3.2.	Carico variabile per traffico – Q.....	148
5.3.3.	Azione Sismica.....	149
5.3.4.	Spinta del terreno in condizioni sismiche.....	150
5.4.	COMBINAZIONI DEI CARICHI E VALUTAZIONE DEI COEFFICIENTI DI SICUREZZA .....	153
5.5.	CRITERI DI ANALISI.....	154
5.5.1.	Verifiche geotecniche .....	154
5.5.2.	Verifiche strutturali .....	156
5.6.	RISULTATI.....	162
5.6.1.	Geometria muro e fondazione .....	162
5.6.2.	Modello geotecnico .....	163
5.6.3.	Elenco delle condizioni di carico .....	163
5.6.4.	Elenco delle combinazioni di calcolo.....	164
5.7.	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	169
5.7.1.	Condizione Drenata.....	169
5.7.2.	Condizione Non drenata.....	170

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	4 di 187

5.7.3.	<i>Stima dei cedimenti</i> .....	172
5.8.	VERIFICHE STRUTTURALI.....	175
5.8.1.	<i>Paramento</i> .....	175
5.8.2.	<i>Fondazione</i> .....	177
5.9.	CONCLUSIONE.....	179
5.10.	ALLEGATI.....	180
5.10.1.	<i>Paramento</i> .....	180
5.10.2.	<i>Fondazione</i> .....	183

## 1. INTRODUZIONE

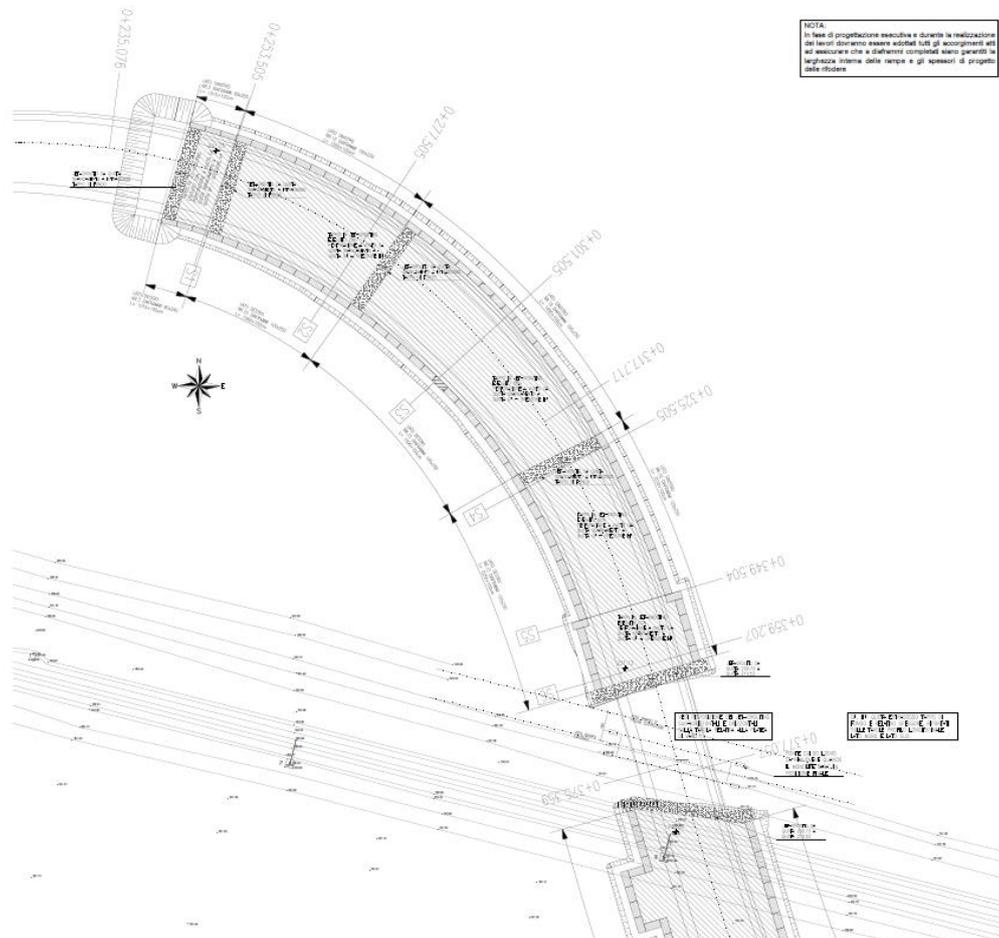
Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del muro ad U in prosecuzione del sottopasso SL03 e dei muri di sostegno terminali della Rampa SUD.

I muri ad U hanno uno sviluppo longitudinale nei due lati del sottopasso pari a 119.20 m nel lato nord e 130 m nel lato sud ed è suddiviso in conci di differente lunghezza.

La coppia di muri terminali sono in cemento armato e hanno una lunghezza totale circa di 20 m, con l'altezza massima del paramento pari a 1.91 m.

Le geometrie saranno descritte nel dettaglio nei paragrafi successivi.

Nelle figure che seguono si riportano le opere oggetto dello studio:



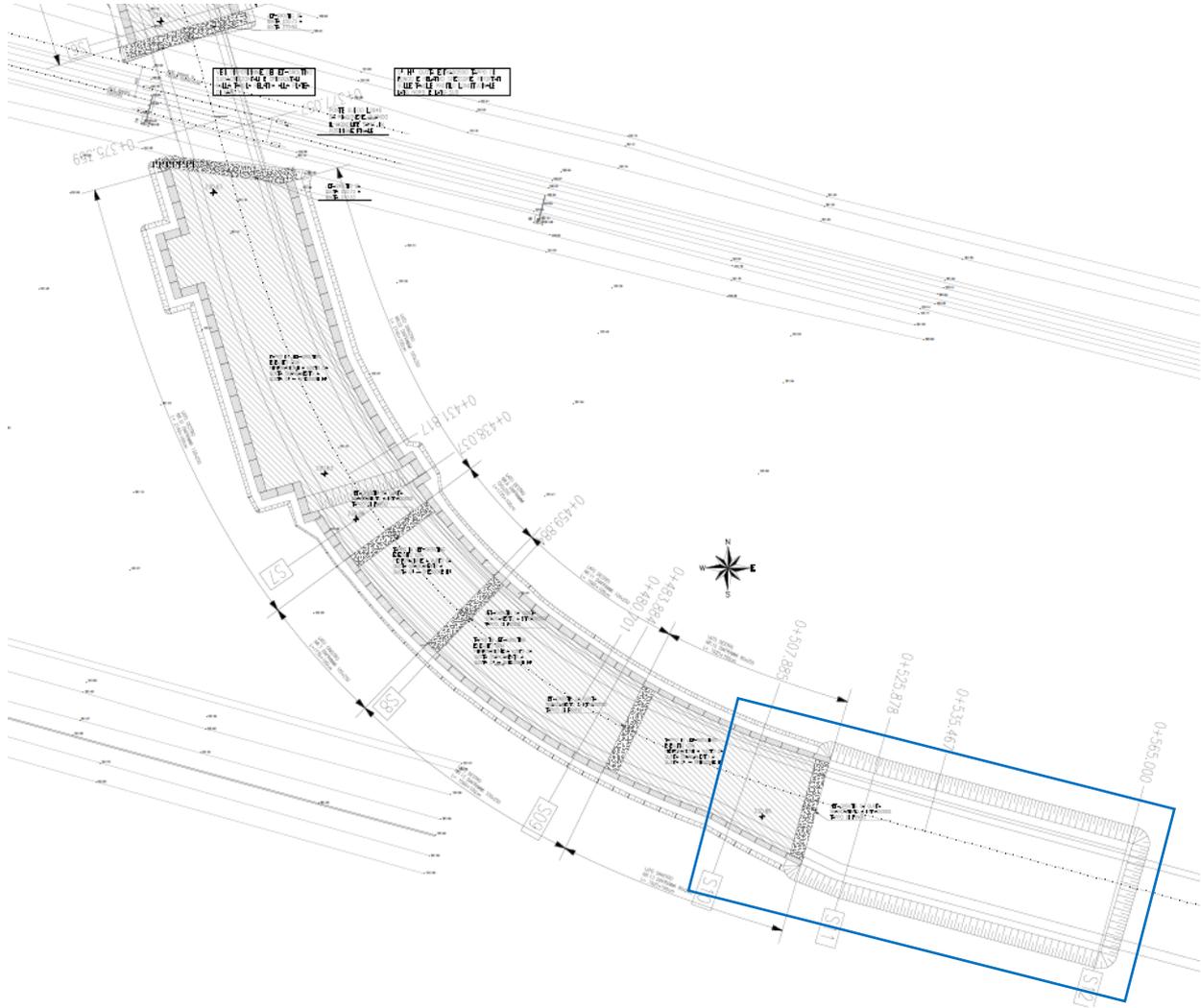


Figura 1-2 Inquadramento dei muri ad U e muri di sostegno della Rampa Sud oggetto di calcolo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

## 2. PARAMETRI GEOTECNICI

### Terreno di fondazione

Nel seguito si riportano le tabelle contenenti la stratigrafia di progetto per l'opera in esame, i relativi parametri geotecnici di calcolo. Le indagini di riferimento sono: L1-S1.

Strato	Profondità media	Profondità media	Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
Ug2	0	5.5	S(L), L(S)	Sabbia limosa e limo sabbioso
Ug1	5.5	35	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v^{(*)}$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
Ug2	19.5	0.56	26	0	30	30	75	4	6.5	0.25	1.00E-06
Ug1	20	0.38	35	0	-	50 - 150	125 - 375	10 - 30	15 - 40	0.25	1.00E-06

Note:

- Gli intervalli, dove presenti, fanno riferimento a valori crescenti con la profondità.
- (\*) per analisi di cedimento adottare cautelativamente i parametri di permeabilità verticale definiti in tabella; per analisi di stabilità adottare anche i parametri di permeabilità orizzontale  $k_h = 10 k_v$ , per tutti i materiali tranne Ug1 per cui adottare  $k_h = k_v$ .
- I moduli  $E_{op1}$  ed  $E_{op2}$  sono da adottarsi rispettivamente  $E_{op1}$  per problemi di "primo carico" (esempio fondazioni dirette, profonde e rilevati) ed  $E_{op2}$  per problemi di scarico e/o di scarico-ricarico (esempio: fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non).

E' stata condotta un'indagine MASW, vicino al luogo dove sarà posizionato il monolite, che ha dato questi risultati:

Prova	Vs(eq)	H(eq)	Suolo
R02	427	30	B



Figura 3: Localizzazione della MASW effettuata

Ma a causa delle norme regionali valide in Lombardia, più restrittive, i valori di soglia per il fattore di amplificazione risultano superati e perciò bisogna prendere la categoria di suolo superiore (Suolo **tipo C**).

Nome di Opera	Progressive	SL	$a_g$ (g)	S (-)	$a_{max}$ (g)
SL03/NV03	Prog. 30+900 km (Linea Bergamo - Montello)	SLV	0.144	1.488	<b><u>0.214</u></b>

- Falda:

Per la spinta sui piedritti si è fatto riferimento ad una quota di falda stabilita a favore di sicurezza a +229.5m.

### 3. MATERIALI

#### 3.1. Calcestruzzo

- **PIEDRITTI**

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.13 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

Classe di esposizione \*= : XC4

Calcestruzzo tipo C2

Copriferro minimo\* = 40mm

\*= visto che il lato interno non è esposto, dal punto di vista delle condizioni ambientali si considera in ambiente ordinario.

- **FONDAZIONE**

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = XC2

Calcestruzzo tipo G2

Copriferro minimo = 50 mm

- **MAGRONE:**

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

#### 3.2. Acciaio da armatura ordinaria

Acciaio tipo B450 C

Resistenza di calcolo  $f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_s = 200 \text{ GPa}$

#### 4. MURI AD U

I muri analizzati sono di tre tipologie diverse:

- **Tipo 1:** Muro ad U con altezza massima 3.70 m, ed è vincolato superiormente dal cordolo di coronamento dei diaframmi.

La soletta inferiore ha uno spessore di 0.80 m, mentre i piedritti hanno uno spessore di 0.60 m.

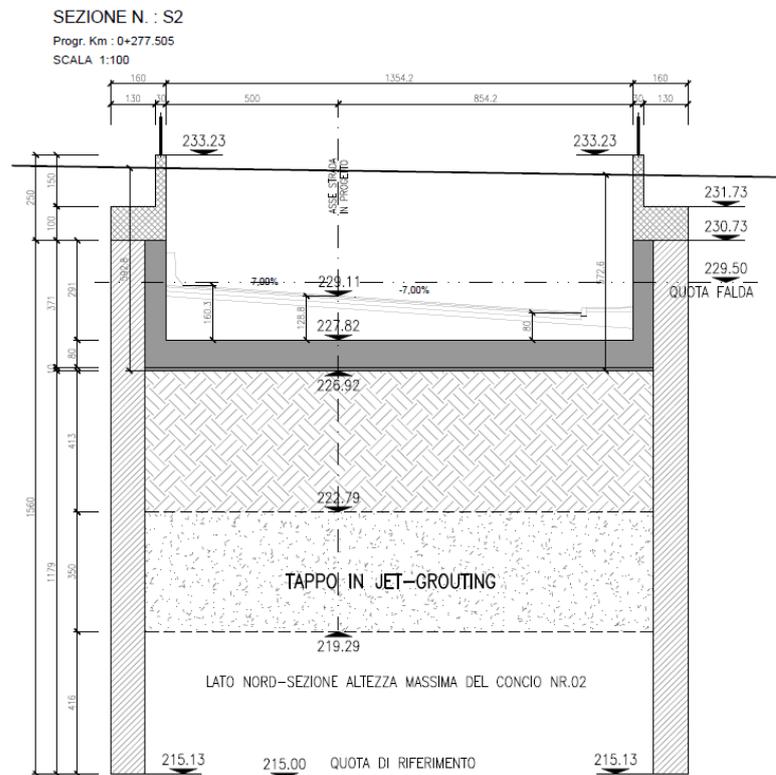


Figura 4: Sezione trasversale Tipo 1

- **Tipo 2:** Muro ad U con altezza massima di 6.50 m, ed è vincolato superiormente dal cordolo di coronamento dei diaframmi.

La soletta inferiore ha uno spessore di 1 m, mentre i piedritti hanno uno spessore di 0.60 m.

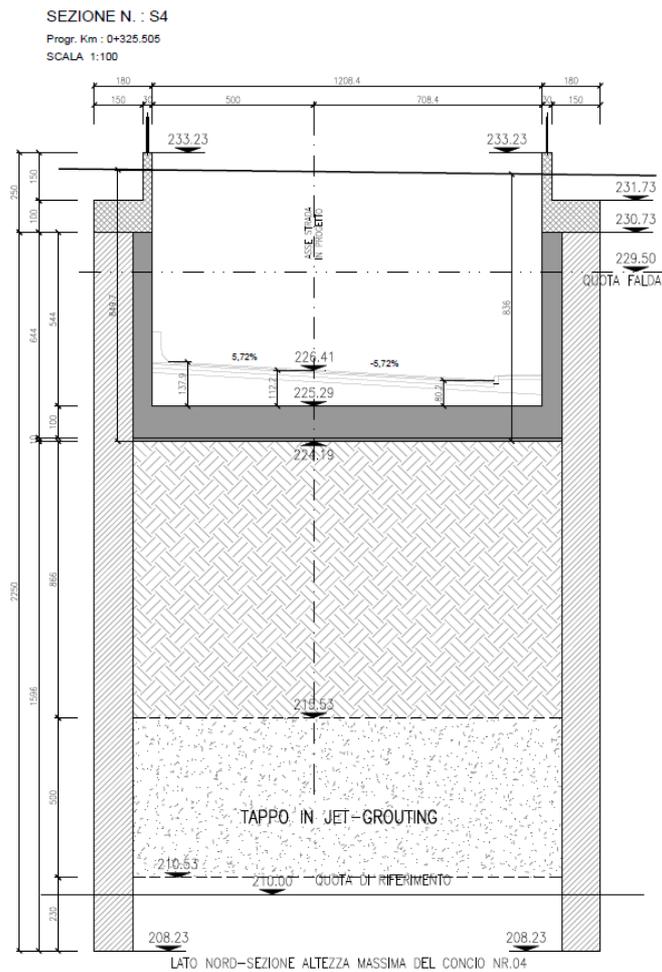


Figura 5: Sezione trasversale Tipo 2

- **Tipo 3:** Muro ad U con altezza massima di 7.4 m, ed è vincolato superiormente dal cordolo di coronamento dei diaframmi.

La soletta inferiore ha uno spessore di 1.2 m, mentre i piedritti hanno uno spessore di 0.60 m.

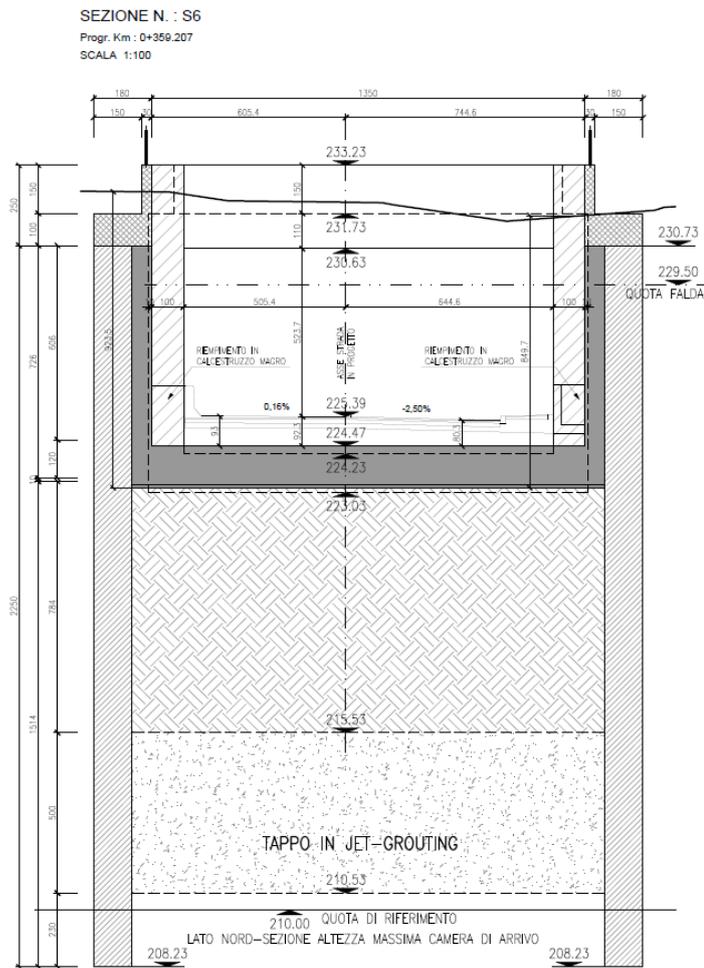


Figura 6: Sezione trasversale Tipo 3

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

- **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

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

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. del 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (NTC 2018);
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17.01.2018;
- UNI EN 206:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI EN 11104:2016 – “Calcestruzzo - Specificazione. prestazione. produzione e conformità - Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206;
- EN 1991-2:2003/AC:2010 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”.
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi”.
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali”.
- UNI EN 1998-1:2013 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-5:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”;
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 2 – “Ponti e strutture” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 3 – “Corpo stradale” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C.
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – “Capitolato Generale di Appalto delle Opere Civili”.
- UIC CODE 777-2R “Structures built over railway lines-Construction requirements in the track zone”
- Norme STI
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 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; Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Regolamento (UE) N. 1300/2014/UE Specifiche Tecniche di Interoperabilità per l’accessibilità del sistema ferroviario dell’Unione europea per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta del 18/11/2014, modificato con il Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/772 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Regolamento (UE) N° 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità concernente la “sicurezza nelle gallerie ferroviarie” del sistema ferroviario dell’Unione europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019

- Regolamento UE N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «Energia» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di Esecuzione (UE) 2018/868 del 13 giugno 2018 e dal successivo Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019
- Regolamento (UE) N. 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea modificata con la Rettifica del 15 giugno 2016 e dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/772 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica il regolamento (UE) n. 1300/2014 per quanto riguarda l'inventario delle attività al fine di individuare le barriere all'accessibilità, fornire informazioni agli utenti e monitorare e valutare i progressi compiuti in materia di accessibilità.
- REGOLAMENTO DI ESECUZIONE (UE) 2019/776 DELLA COMMISSIONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.

#### 4.1. Codice Di Calcolo

Il dimensionamento dell'opera è stato ottenuto mediante modellazione ad elementi finiti monodimensionali tipo "frames" tramite il programma di calcolo "Midas Civil" 2019.

Le analisi condotte all'interno del modello agli elementi finiti sono volte a determinare lo stato di sollecitazione del manufatto durante tutta la sua esistenza.

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi °
- angoli: gradi sessadecimali.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

## 4.2. Modello Di Calcolo

Le analisi per il calcolo delle sollecitazioni agenti sono state condotte su una “fetta” di struttura di 1.00 m.

I modelli di calcolo utili al fine del dimensionamento, attraverso i quali è schematizzata la struttura, sono due per ogni tipo di muro:

-il modello di calcolo di un muro ad U su un letto di molle alla Winkler (con l’azione del peso proprio, dell’effetto dei diaframmi e del sisma).

- per l’analisi dell’azione della falda, un modello di calcolo dello stesso muro ma con lo schema statico seguente:

- piedritti incernierati in testa →collegamento con cordolo di testa delle paratie
- contatto rigido lungo le pareti, dallo spiccato della fondazione ( $K = 100 \text{ GPa/m}$ , only compression) → piedritti impediti di flettersi verso l'esterno.
- contatto rigido lungo i bordi verticali della fondazione, con legge bilineare e limitata resistenza a trazione (pari alla reazione vincolare orizzontale determinata nel calcolo delle paratie, per il muro Tipo 3 e con diaframmi di Tipo 1 ad esempio vale  $N = 750 \text{ kN/m}$ ;  $K = 100 \text{ GPa/m}$  a compressione)→contrasto "attivo" della paratia contro la fondazione
- letto di molle verticale lungo la fondazione, con legge bilineare e limitata resistenza a trazione ( pari al peso del getto della fondazione, ad esempio per il muro Tipo 3,  $n = 24 \times 1,2 \text{ kN/mq}$ ;  $k_w = 10 \text{ MPa/m}$  a compressione) → supporto alla winkler "attivo" grazie al peso della fondazione.

Nella modellazione vengono impiegati elementi finiti di tipo trave a 6 GL, che ovviamente nell’analisi 2D condotta (telaio piano) si riducono a 3. Ai suddetti elementi sono assegnate le caratteristiche inerziali della struttura reale derivanti dalle proprietà dei materiali e dalla geometria della sezione.

La geometria del modello ricalca la linea baricentrica degli elementi costituenti l’opera (modello in asse), pertanto alle intersezioni delle aste viene applicato un offset rigido che tiene conto delle dimensioni effettive delle sezioni degli elementi, in modo da tener conto delle effettive luci della struttura.



DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L <sub>tot</sub>	14.70	m
Larghezza utile	L <sub>int</sub>	13.60	m
Larghezza interasse	L <sub>a</sub>	14.20	m
Spessore piedritti	S <sub>p</sub>	0.6	m
Spessore fondazione	S <sub>f</sub>	0.8	m
Altezza totale	H <sub>tot</sub>	3.7	m
Altezza libera	H <sub>int</sub>	2.9	m

Sp\* = Lo spessore dei piedritti, rappresentato nelle figure, è quello lordo comprensivo di rivestimento (spritz beton) e impermeabilizzazione è di 60 cm.

La sezione resistente utilizzata nelle verifiche ha invece uno spessore di 55 cm.

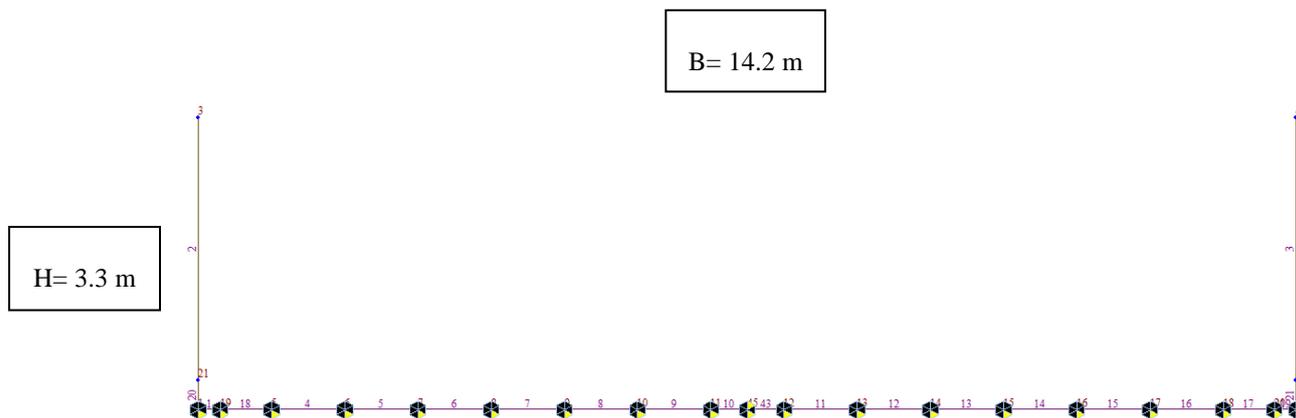


Figura 8: Numerazione dei nodi e dei frame nel 1° modello strutturale su letto di molle con vincolo centrale allo spostamento orizzontale

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

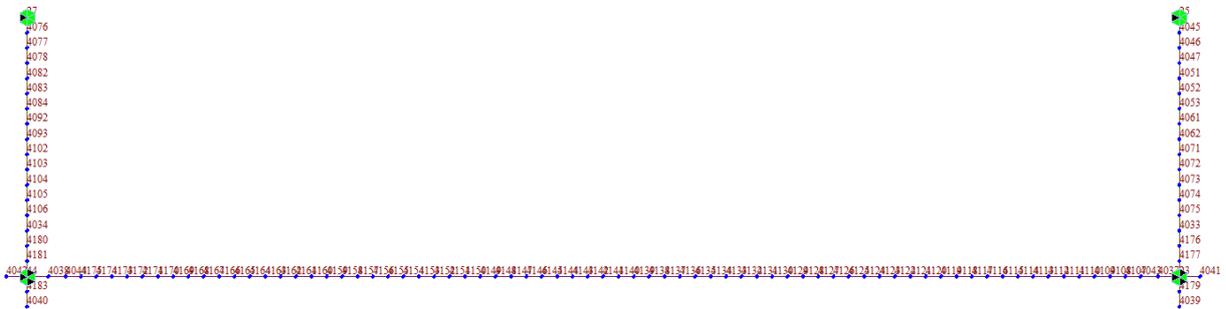


Figura 9: Numerazione dei nodi e dei frame nel 2° modello strutturale con vincolo superiore ai piedritti che blocca lo spostamento verticale e un vincolo all'estremità della fondazione che blocca lo spostamento lungo y

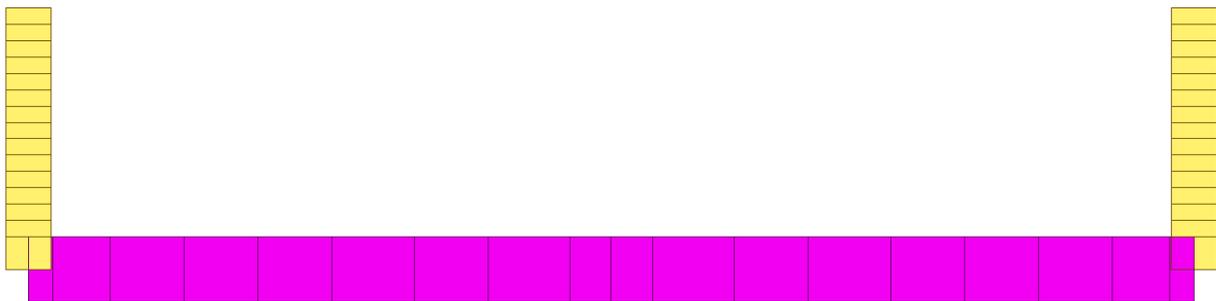


Figura 10: Vista estrusa del 1° modello strutturale

#### 4.3.1. Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1° modello di calcolo

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_s = 10000 \text{ kN/m}^3$ , in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

Secondo le indicazioni contenute nel manuale di progettazione RFI, la soletta inferiore viene suddivisa in 15 elementi di pari lunghezza, ossia 16 nodi ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello ( $B=1,0\text{m}$ ), si ha:

Molle centrali

$$K_{\text{centrale}} = K_s * (S_p/2 + L_{\text{int}} + S_p/2) / 15 = 10020 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_2 = 2 * K_s * [(S_p/2 + L_{\text{int}} + S_p/2) / 15/2 + (S_p/2)] = 16020 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 3,4,5,6,7,9,10,11,12 e 13 come da letteratura si assumono:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

$K5 = K6 = K7 = K8 = K9 = K10 = K11 = K12 = K13 = K14 = K15 = K16 = K17 = K18 = 1.5 * K_{centrale} = 15030 \text{ kN/m}$

#### 4.3.2. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

##### 4.3.2.1 Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal programma in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

##### 4.3.2.2 Carichi permanenti portati

I carichi permanenti portati, essendo uniformemente distribuiti, non danno nessun contributo al calcolo dei momenti e a tal proposito si trascurano.

##### 4.3.2.3 Spinta del terreno

La spinta del terreno risulta essere assente poiché a tergo del muro ad U, per entrambi i lati, è prevista una paratia di diaframmi dimensionati per la spinta del terreno.

##### 4.3.2.4 Spinta idrostatica (SPW)

Visto la presenza della falda a quota +229.5 m, tra i carichi agenti si è inserita la spinta idraulica  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

$P1 = q_w(z_0) = 0.00 \text{ kN/m}$  (quota falda inizio)

$P2 = q_w(z_2) = 17.00 \text{ kN/m}$  (quota falda estradosso della soletta di fondazione)

$P3 = q_w(z_3) = 21.00 \text{ kN/m}$  (quota falda in asse della soletta di fondazione)

Ed una sottospinta idraulica costante pari a:

$P4 = q_w(z_4) = 25.00 \text{ kN/m}^3$  (quota falda intradosso della soletta di fondazione)

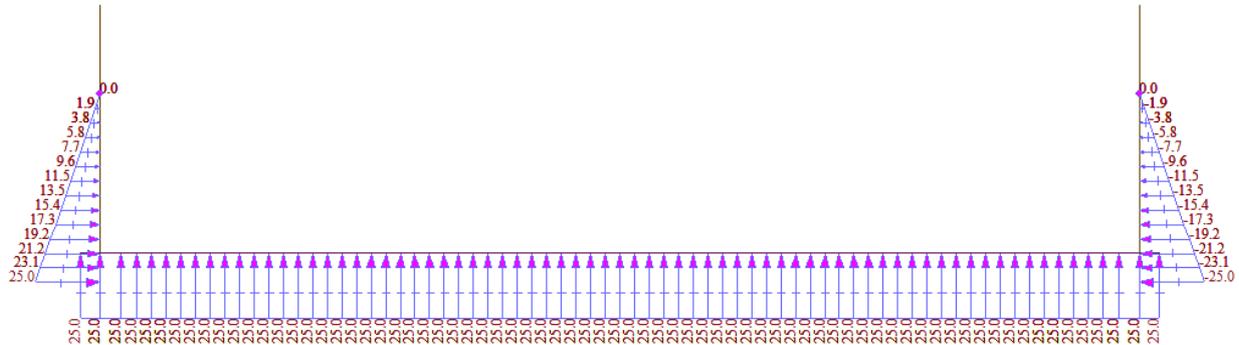


Figura 11 – Spinta idrostatica sui piedritti e sottospinta idraulica

#### 4.3.2.5 Azioni indotte dagli spostamenti della paratia di diaframmi

Per tener in conto degli spostamenti della paratia di diaframmi, presente a tergo dei piedritti del muro ad U, applichiamo al modello degli spostamenti imposti variabili con l'altezza.

Il muro Tipo 1 risente degli spostamenti della paratia di diaframmi di Tipo 3.

Il valore della reazione offerta dalla soletta di fondazione nel calcolo delle paratie è pari a - 68 KN in comb. quasi permanente. Di tale valore si tiene conto ai fini del calcolo.

Gli spostamenti applicati ricavati dal modello di calcolo dei diaframmi, sono:

	SPDPX $\Delta x$ permanenti	SPDAX $\Delta x$ accidentali	SPDSX $\Delta x$ sisma
Z m	mm	mm	mm
-0.2	2.2	0.1	3.8
-0.4	2.1	0.1	3.6
-0.6	1.9	0.11	3.3
-0.8	1.7	0.10	3.0
-1.0	1.6	0.09	2.8
-1.2	1.4	0.08	2.5
-1.4	1.2	0.07	2.3
-1.6	1.1	0.07	2.0
-1.8	0.9	0.06	1.8
-2.0	0.8	0.05	1.6
-2.2	0.7	0.05	1.4
-2.4	0.5	0.04	1.2
-2.6	0.4	0.04	1.0

-2.8	0.3	0.03	0.8
-3.0	0.2	0.02	0.7
-3.2	0.1	0.02	0.6
-3.4	0.0	0.02	0.5

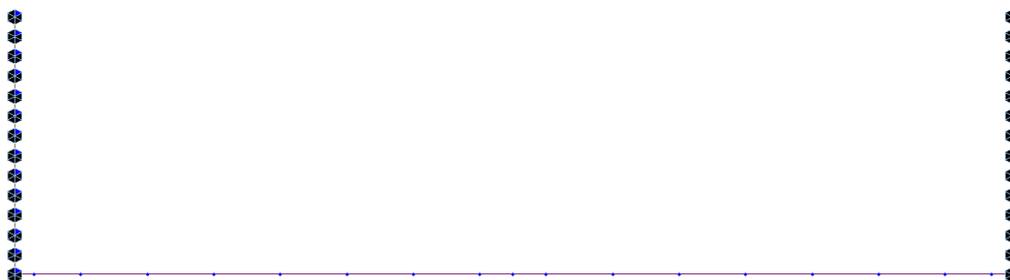


Figura 12 – Spostamenti applicati ai piedritti del Muro

#### 4.3.2.6 Azioni indotte dalle variazioni termiche

L'azione termica risulta essere trascurabile, in quanto la struttura è pressochè isostatica e libera di deformarsi senza variare lo stato tensionale interno.

#### 4.3.2.7 Azioni sismiche

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera  $VN = 50$  anni
- Classe d'uso dell'opera III  $Cu = 1.5$
- Categoria di sottosuolo C
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.683026°e Long. = 9.767658°)

		$a_g$	$F_0$	$T^*c$
$T_R$	45	0.041	2.427	0.221
$T_R$	75	0.054	2.403	0.237
$T_R$	712	0.143	2.453	0.273
$T_R$	1462	0.182	2.494	0.282

dove:

$T_R \rightarrow$  tempo di ritorno;

- $a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- $F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^* \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

		$a_{max}$
$T_R$	45	0.061
$T_R$	75	0.080
$T_R$	712	0.214
$T_R$	1462	0.271

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. 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. I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove :

$a_{max}$  =  $S_s \cdot S_t \cdot a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

		$k_h$	$k_v$
$T_R$	45	0.061	0.031
$T_R$	75	0.080	0.040
$T_R$	712	0.214	0.107
$T_R$	1462	0.271	0.135

#### 4.3.2.8 Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

Forze inerzia orizzontali		
$F''_h = F_{0, \text{piedritti}}$	3.2	kN/m <sup>2</sup>

Forze inerzia verticali		
$F''_h = F_{0, \text{piedritti}}$	1.6	kN/m <sup>2</sup>

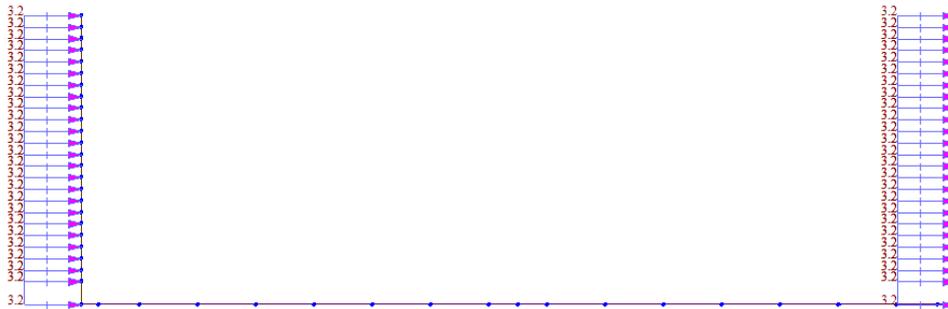


Figura 13: Forza inerziale orizzontale



Figura 19: Forza inerziale verticale

#### 4.3.3. COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

Per i calcoli strutturali dell'opera sono state considerate le seguenti combinazioni di carico:

	SLU 1	SLU 2	SLU 3
PP	1.35	1.35	1.35
SPW	1.35	1.35	1.35
SPDPX	1	1.35	1.35
SPDAX	1	1.35	1.35

	RARA 1
PP	1
SPW	1
SPDPX	1
SPDAX	0.75

	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLV 4
PP	1	1	1	1
SPW	1	1	1	1
SPDPX	1	1	1	1
SPDSX	1	1	1	1
INERZIEH	1	0.3	1	-0.3
SISVER	0.3	1	-0.3	1

Di seguito si riportano gli involuipi dei diagrammi delle sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative ai tre stati limite considerati.

Per la sovrapposizione degli effetti, al termine di questo paragrafo, le sollecitazioni dei modelli verranno sommate al fine di ottenere le sollecitazioni globali agenti sul muro ad U.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	25 di 187



Figura 14: Involuppo N – SLU (modello1)



Figura 15: Involuppo N – SLU (modello 2)



Figura 16: Inviluppo T – SLU (modello 1)

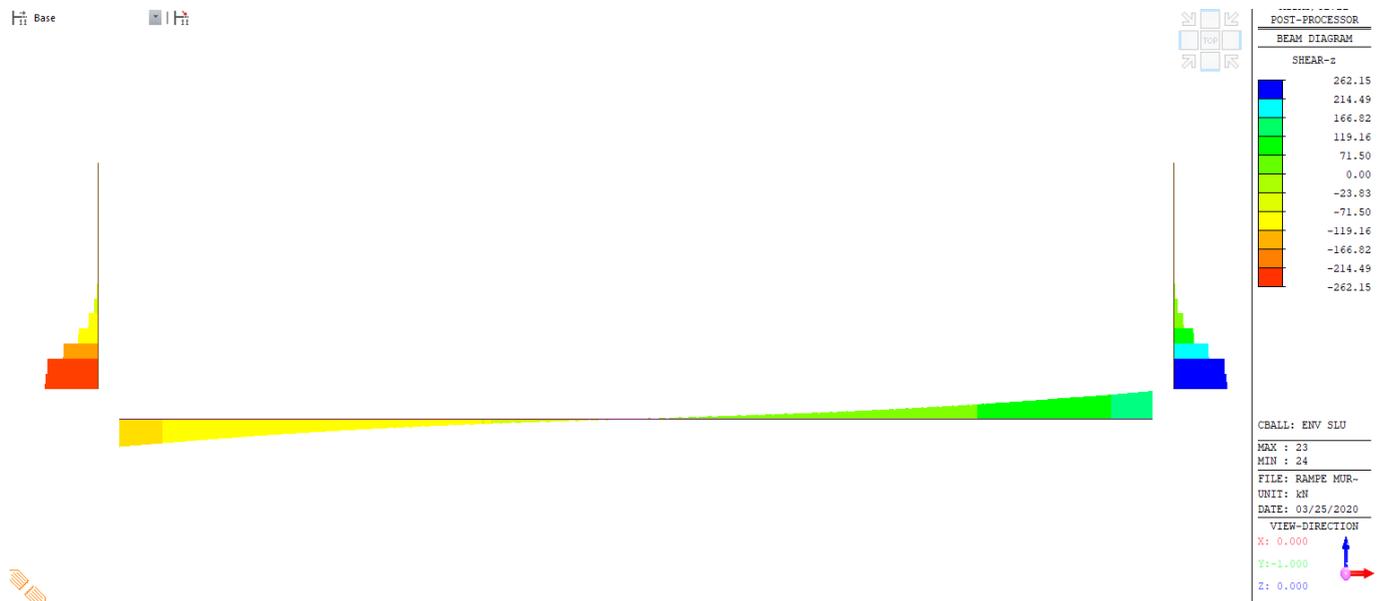


Figura 17: Inviluppo T – SLU (modello 2)



Figura 18: Involuppo M – SLU (modello 1)

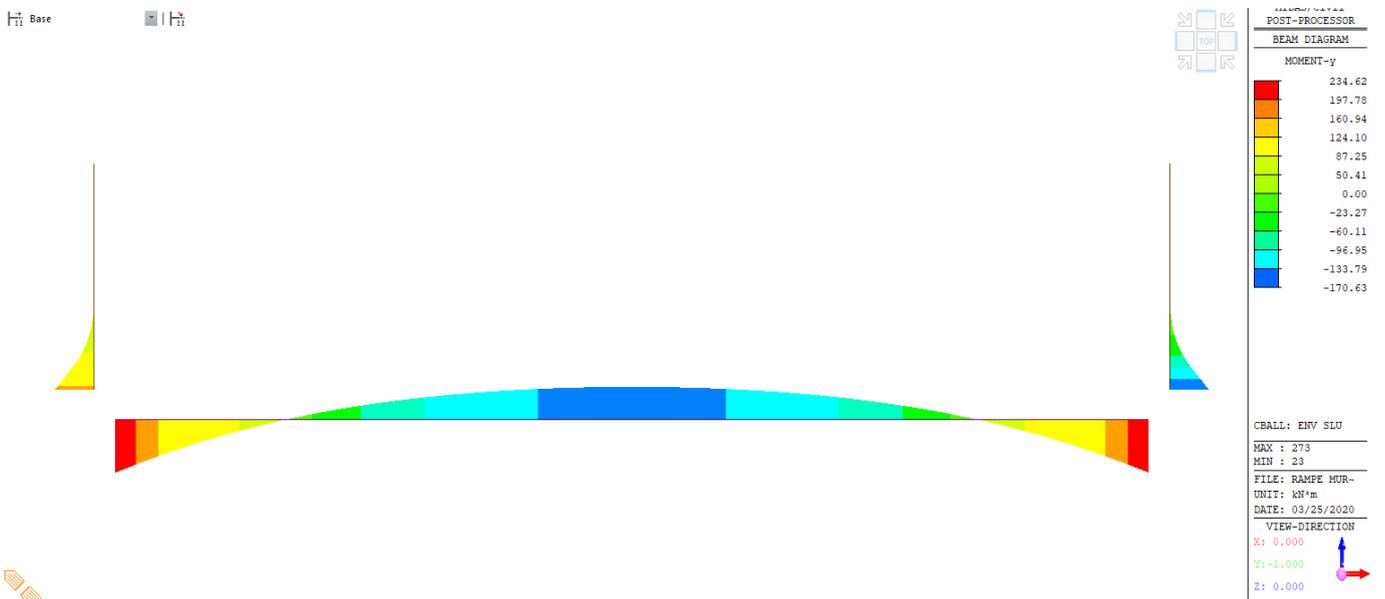


Figura 19: Involuppo M – SLU (modello 2)



Figura 20: Inviluppo N – SLV (modello 1)



Figura 21: Inviluppo N – SLV (modello 2)



Figura 22: Involuppo T – SLV (modello 1)

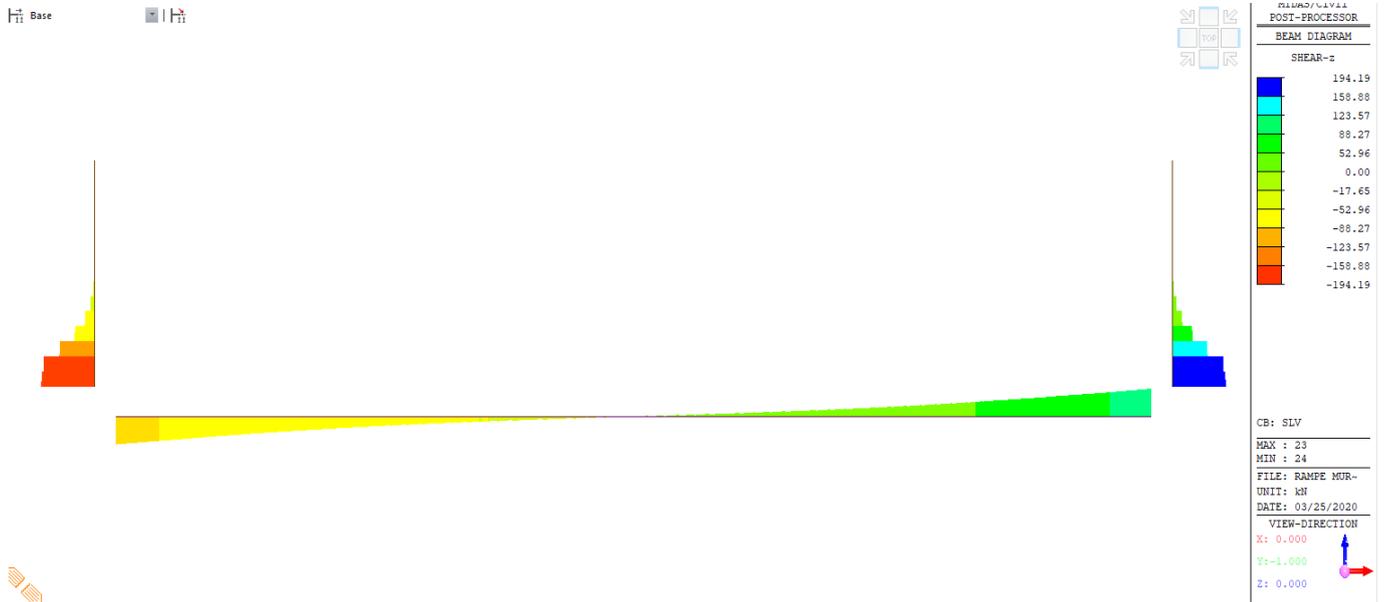


Figura 23: Involuppo T – SLV (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	30 di 187



Figura 24: Involuppo M- SLV (modello 1)

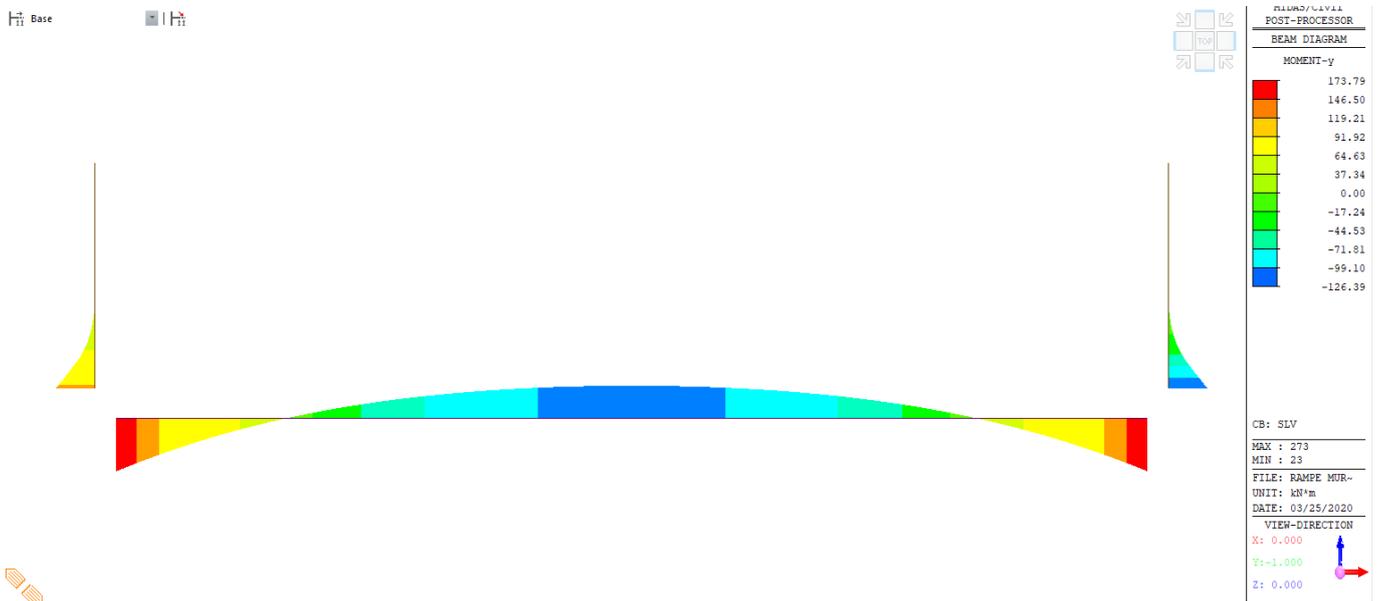


Figura 25: Involuppo M- SLV (modello 2)



Figura 26: Inviluppo N – SLE RARA(modello 1)



Figura 27: Inviluppo N – SLE RARA(modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	32 di 187



Figura 28: Inviluppo V – SLE RARA(modello 1)

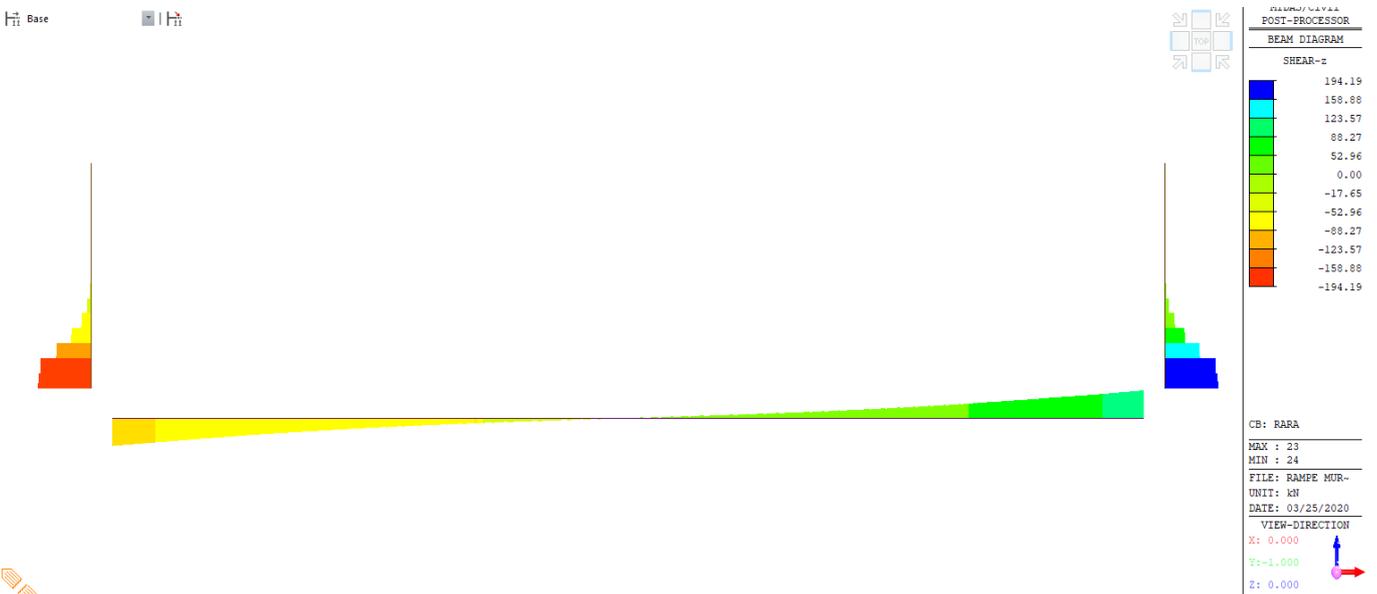


Figura 29: Inviluppo V – SLE RARA(modello 2)



Figura 30: Involuppo M – SLE RARA (modello 1)

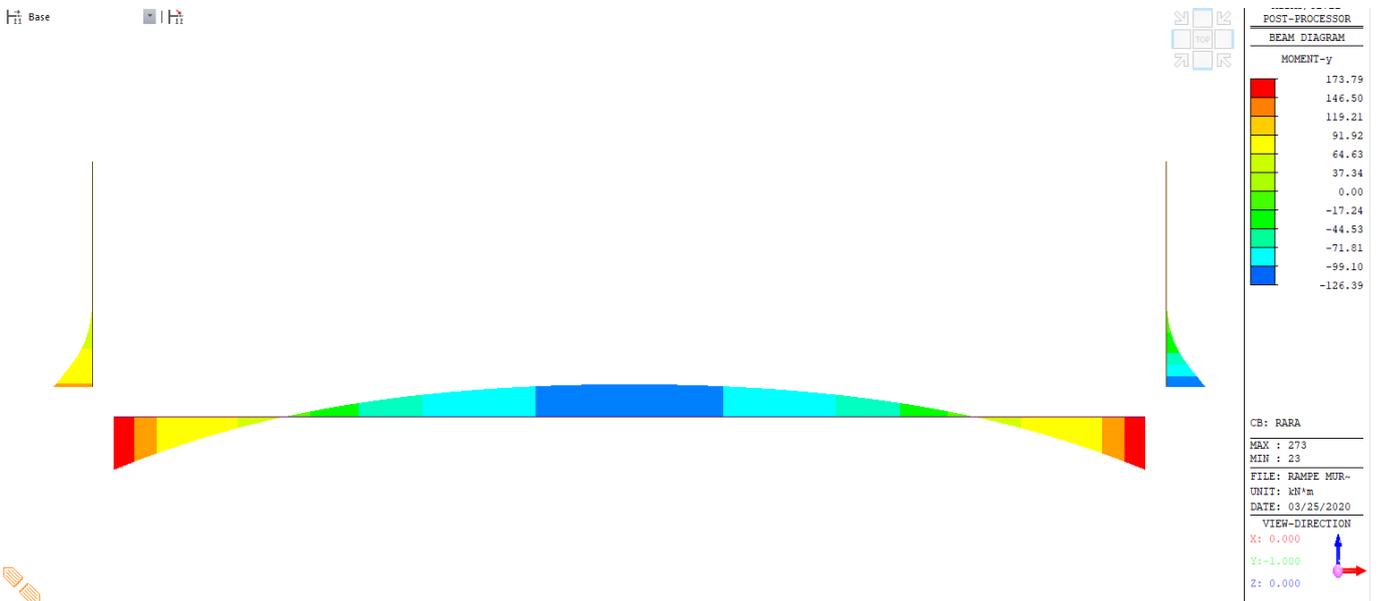


Figura 31: Involuppo M – SLE RARA (modello 2)

Le sezioni verificate sono le seguenti:

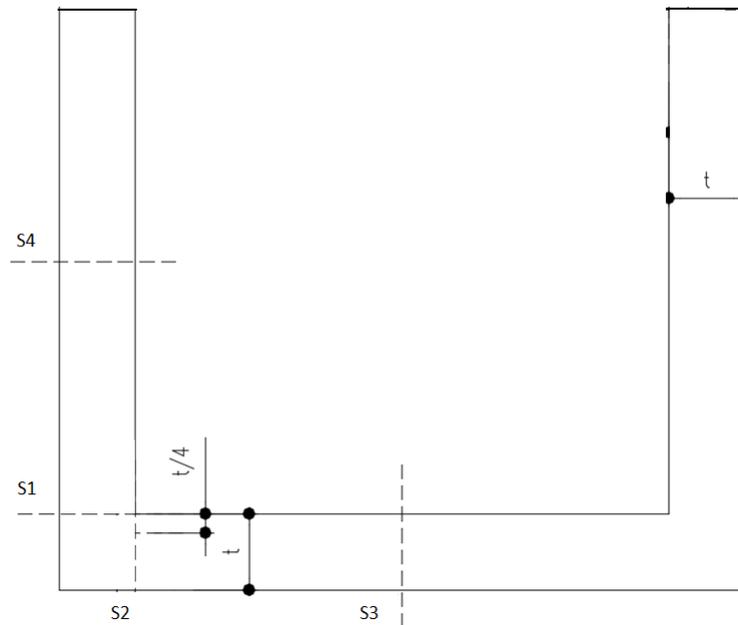


Figura 32: Sezioni di verifica

Qui a seguire vengono riportate le sollecitazioni totali per ogni sezione investigata:

sezione S1 - base piedritto (parete verticale)							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-51	-1057	529	ENV SLU	-155	-262	171
ENV SLV	-38	-1743	918	ENV SLV	-115	-194	126
ENV RARA	-38	-773	386	ENV RARA	-115	-194	126
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-206	-1319	700				
ENV SLV	-153	-967	512				
ENV RARA	-153	-967	512				

sezione S2 - estremità fondazione							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-600	15	80	ENV SLU	-182*	-137	234
ENV SLV	-2482	24	160	ENV SLV	-135*	-101	173
ENV RARA	-417	11	58	ENV RARA	-135*	-101	173
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-850	-126	292				
ENV SLV	-2685	-77	333				
ENV RARA	-620	-90	231				

\*si somma -68 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

sezione S3 - fondazione in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-600	0	-20	ENV SLU	-182	0	-170
ENV SLV	-2482	0	5	ENV SLV	-135	0	-126
ENV RARA	-417	0	-12	ENV RARA	-135	0	-126
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-850	0	-182				
ENV SLV	-2685	0	-121				
ENV RARA	-620	0	-138				

\*si somma -68 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

sezione S4 - piedritto in mezzaria

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-29	-24	77	ENV SLU	-155	1	-1
ENV SLV	-22	-73	178	ENV SLV	-115	1	-1
ENV RARA	-26	-86	58	ENV RARA	-115	1	-1
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-184	-23	76				
ENV SLV	-141	-85	57				
ENV RARA	-141	-85	57				

#### 4.3.4. Verifiche

##### 4.3.4.1 Verifiche a flessione

##### 4.3.4.2 Sezione 1 - base piedritto (parete verticale)

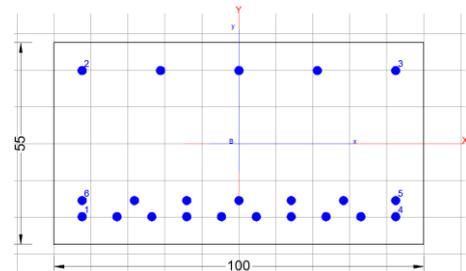
#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-206	-1319	700
ENV SLV	-153	-967	512
ENV RARA	-153	-967	512

Armatura lato esterno  $\Phi$  24/10 +  $\Phi$  24/20

Armatura lato interno  $\Phi$  24/20

Armatura a taglio  $\Phi$  12/(40x40)



#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>	

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	38 di 187

Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-27.5
2	-50.0	27.5
3	50.0	27.5
4	50.0	-27.5

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.4	-19.9	24
2	-42.4	19.9	24
3	42.4	19.9	24
4	42.4	-19.9	24
5	42.4	-15.5	24
6	-42.4	-15.5	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	3	24
3	5	6	5	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	206.00	700.00	0.00	0.00	0.00
2	153.00	512.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	153.00	512.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	206.00	700.00	0.00	205.72	1209.40	0.00	1.72	76.9(9.9)
2	N	153.00	512.00	0.00	152.87	1200.98	0.00	2.34	76.9(9.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.332	-50.0	27.5	0.00181	-42.4	19.9	-0.00704	-42.4	-19.9
2	0.00350	0.326	-50.0	27.5	0.00178	-42.4	19.9	-0.00722	-42.4	-19.9

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	40 di 187

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000222346	-0.002614521	0.332	0.855
2	0.000000000	0.000226198	-0.002720444	0.326	0.848

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.50	-50.0	27.5	-176.1	33.0	-19.9	1100	45.2

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W2<0.3) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.190 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 317 mm
Area efficace = 1100 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 550$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 72$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10 \text{ } \emptyset 24$		$= 45.24 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 5 \text{ } \emptyset 24$		$= 22.62 \text{ cm}^2$
$d = 478$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset 0$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$67.86 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -206.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = -1309.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.647 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.418$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.014 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.37 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 363.9 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 226.9 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 363.9 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

$$\theta = 22.8 \quad \circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con } n^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.283 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 1132.3 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.021 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1422.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1132.3 > -1309.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = -0.9$$

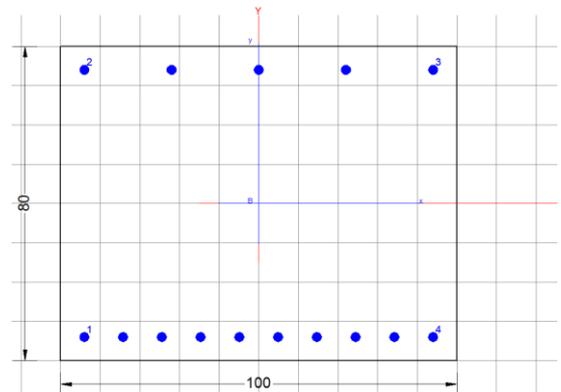
la sezione armata a taglio risulta verificata.

4.3.4.3 Sezione 2 - estremità in fondazione

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-850	-126	292
ENV SLV	-2685	-77	333
ENV RARA	-620	-90	231

Armatura inferiore	Φ 24/10
Armatura superiore	Φ 24/20
Armatura a taglio	Φ 12/(40x40)



**DATI GENERALI**

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	43 di 187

Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-40.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	-40.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-44.0	-32.6	24
2	-44.0	32.6	24
3	44.0	32.6	24
4	44.0	-32.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	3	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x

N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	850.00	292.00	0.00	0.00	0.00
2	2686.00	333.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	44 di 187

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	620.00	231.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	850.00	292.00	0.00	850.13	1447.59	0.00	4.73	45.2(16.0)
2	S	2686.00	333.00	0.00	2686.03	1831.28	0.00	4.86	45.2(16.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.215	-50.0	40.0	0.00184	-44.0	32.6	-0.01279	-44.0	-32.6
2	0.00350	0.429	-50.0	40.0	0.00267	-44.0	32.6	-0.00466	-44.0	-32.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000224389	-0.005475542	0.215	0.709



### Verifica di resistenza a taglio

#### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3

##### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 800$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 75$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$	$\emptyset 24$	$= 45.24 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 725$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$45.24 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -850.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 126.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.525 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.330$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.006 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -1.06 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 447.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 354.5 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 447.1 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

$$\theta = 22.8^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \quad \text{passo } 40 \text{ cm} = 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 429.4 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 7.08 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.075 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1774.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 429.4 > 126.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 3.4$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

4.3.4.4 Sezione 3 - fondazione in mezzeria

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

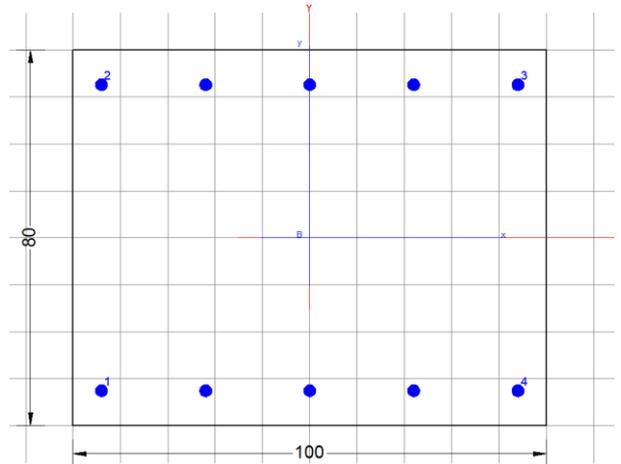
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-850	0	-182
ENV SLV	-2685	0	-121
ENV RARA	-620	0	-138

Armatura superiore  $\Phi$  24/20

Armatura inferiore  $\Phi$  24/20

**DATI GENERALI**

Descrizione Sezione:  
Metodo di calcolo resistenza: Resistenze agli Stati Limite Ultimi  
Tipologia sezione: Sezione generica di Trave di fondazione  
in combinazione sismica  
Normativa di riferimento: N.T.C.  
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
Riferimento alla sismicit : Zona non sismica



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	

Sf limite S.L.E. Comb. Rare:

360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-40.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	-40.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-32.6	24
2	-44.0	32.6	24
3	44.0	32.6	24
4	44.0	-32.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	850.00	-185.00	0.00	0.00	0.00
2	2685.00	-121.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	49 di 187

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	620.00	-138.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	850.00	-185.00	0.00	850.19	-890.25	0.00	4.81	22.6(16.0)
2	S	2685.00	-121.00	0.00	2684.92	-1389.44	0.00	11.48	22.6(16.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.149	-50.0	-40.0	0.00110	-44.0	-32.6	-0.02003	44.0	32.6
2	0.00350	0.323	-50.0	-40.0	0.00239	-44.0	-32.6	-0.00735	44.0	32.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000324173	-0.009466923	0.149	0.700
2	0.000000000	-0.000149436	-0.002477444	0.323	0.843

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	50 di 187

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.92	-50.0	-40.0	-6.0	22.0	32.6	850	22.6

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W_2 < 0.3$ ):

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.007 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 364 mm
Area efficace = 850 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

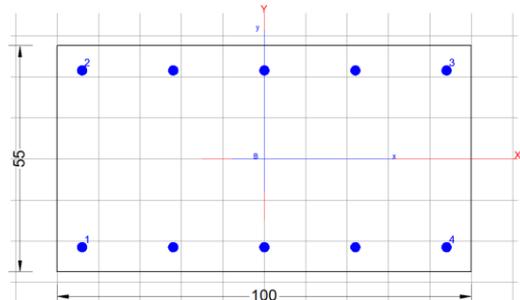
Condizione soddisfatta

#### 4.3.4.5 Sezione 4 - mezzeria piedritto

### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-184	-23	76
ENV SLV	-141	-85	57
ENV RARA	-141	-85	57

Armatura lato interno       $\Phi$  24/20  
 Armatura lato esterno       $\Phi$  24/20  
 Armatura a taglio           $\Phi$  12/(40x40)



#### DATI GENERALI

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Descrizione Sezione:
Normativa di riferimento:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Percorso sollecitazione:	Sezione generica di Pilastro
Condizioni Ambientali:	N.T.C.
Riferimento Sforzi assegnati:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento alla sismicità:	Molto aggressive
	Assi x,y principali d'inerzia
	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	52 di 187

Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-27.5
2	-50.0	27.5
3	50.0	27.5
4	50.0	-27.5

**DATI BARRE ISOLATE**

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-44.0	-19.9	24
2	-44.0	19.9	24
3	44.0	19.9	24
4	44.0	-19.9	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	184.00	76.00	0.00	0.00	0.00
2	141.00	57.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	53 di 187

Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	141.00	57.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	184.00	76.00	0.00	183.75	439.68	0.00	5.79	45.2(16.5)
2	S	141.00	57.00	0.00	140.98	430.91	0.00	7.56	45.2(16.5)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Xc max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Yc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Xs min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Xs max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Ys max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	27.5	-0.00011	-44.0	19.9	-0.01904	-44.0	-19.9
2	0.00350	-50.0	27.5	-0.00017	-44.0	19.9	-0.01938	-44.0	-19.9

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000475599	-0.009578978	----	----



**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 550$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 72$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 24$	$= 22.62 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 478$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$22.62 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} = -141.0 \text{ kN}$        $V_{ed} = 85.0 \text{ kN}$

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$        $k = 1.647 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$        $v_{min} = 0.418$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$        $\rho_1 = 0.005 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$        $\sigma_{cp} = -0.26 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$

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

$V_{Rd} = 252.1 \text{ kN}$ ;      (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 218.4 \text{ kN}$ )

$V_{Rd} = 252.1 \text{ kN}$  valore di calcolo

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

$\theta = 22.8^\circ$  inclinaz. bielle cls      angolo ammissibile  
 $\alpha = 90.0^\circ$  inclinaz. staffe

Armatura a taglio (staffatura):

$A_{sw}/s =$  staffe  $\emptyset 12$  mm con n° bracci (trasv)       $2.5$       passo  $40$  cm       $= 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha$        $V_{Rsd} = 283.1 \text{ kN}$

$f_{cd} = 9.07$  MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.014$  coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha)$        $V_{Rcd} = 1413.1 \text{ kN}$

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$        $V_{Rd} = 283.1 > 85.0 \text{ kN}$       c.s. = 3.3

la sezione armata a taglio risulta verificata.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 4.3.5. Verifiche a deformazione

Si esegue la verifica a inflessione del muro a “U” secondo quanto riportato nell’EC 2 cap7.4 §7.4.1, la verifica risulta essere soddisfatta se l’inflessione calcolata di travi a sbalzo soggetti a carichi quasi permanente è inferiore a 1/250 della luce.

Nel caso in esame, considerando il piedritto a sbalzo la luce di calcolo vale 2H, quindi la luce per il piedritto vale:

$$L = 2 \cdot H = 2 \cdot 3300 = 6600 \text{ mm}$$

Per cui si ricava il valore di inflessione massimo ammissibile:

$$f_{\max} = L/250 = 10000/250 = 27 \text{ mm}$$

Dal modello si ricava una deformazione in testa del piedritto di:

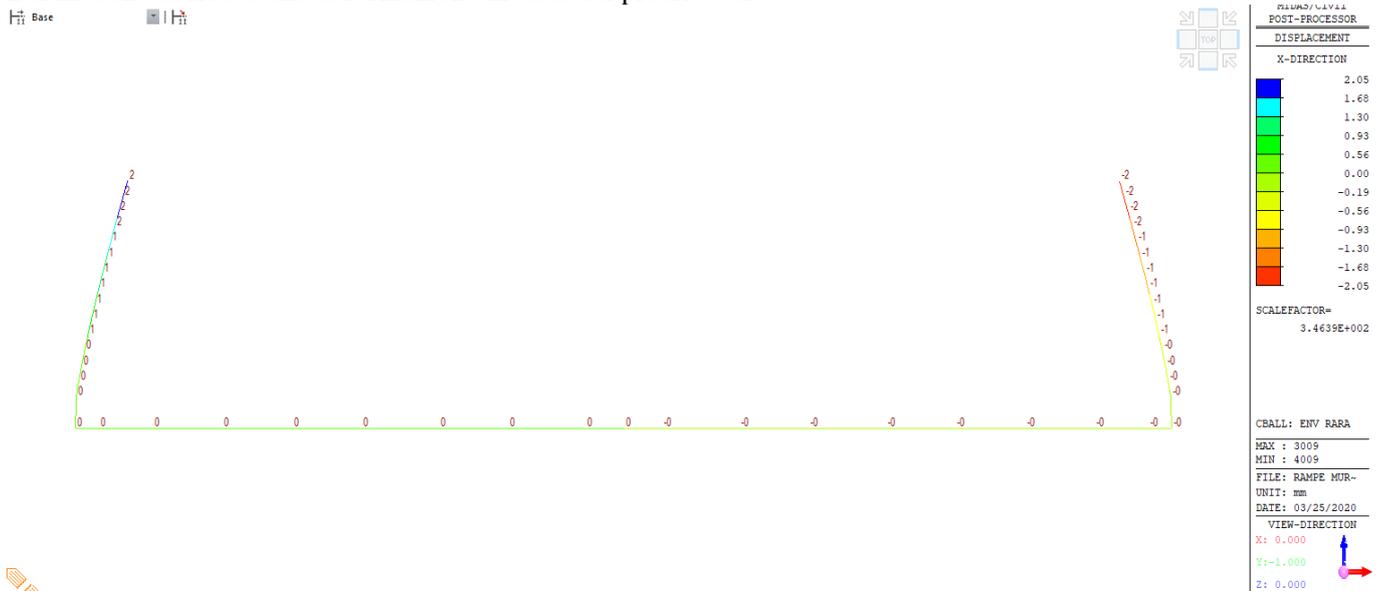


Figura 4-33: Deformazione muro ad “U” del Modello 1 (considerata)

Il seguente valore viene moltiplicato per 3 per tenere conto delle deformazioni a tempo infinito.

$$f_u = 3 \cdot 2 = 6 \text{ mm} < 27 \text{ mm} = f_{\max}$$

**Verificato**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

### 6.2.6. Riepilogo armature – muro tipo 1

Elemento	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
pedritti	mezzaria	$\Phi$ 24/20 est.	$\Phi$ 20/20 est.	150 kg/m <sup>3*</sup>  valore medio adottato sia per muro tipo 1 che tipo 2 :
		$\phi$ 24/20 int.	$\Phi$ 20/20 int.	
	nodo  inf.	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/20 est.	$\Phi$ 20/20 est.	
soletta inferiore	mezzaria	$\Phi$ 24/20 sup.	$\Phi$ 20/20 est.	110 kg/m <sup>3*</sup>
		$\Phi$ 24/20 inf.	$\Phi$ 20/20 int.	
	nodo	$\Phi$ 24/20 sup. $\Phi$ 24/10 inf.	$\Phi$ 20/20 est. $\Phi$ 20/10 int.	

\* = le staffe sono state conteggiate tenendo conto di un incremento del 15%

Dati i valori molto cautelativi dello spostamento delle paratie, adottati nel caso del muro tipo 2, rispetto a quelli del tipo 1, che tengono conto in modo approssimativo della variabilità di profondità della rifodera rispetto alla paratia calcolata, al fine di determinare l'incidenza armatura dei pedritti, si ritiene ragionevole mediare i risultati ottenuti tra muro tipo 2 e muro tipo 1. Una valutazione più approfondita degli spostamenti delle paratie, correlato alla profondità dei muri, sarà oggetto della successiva fase di progettazione.

#### 4.4. Modello di Calcolo e Geometria Muro ad U – Tipo 2

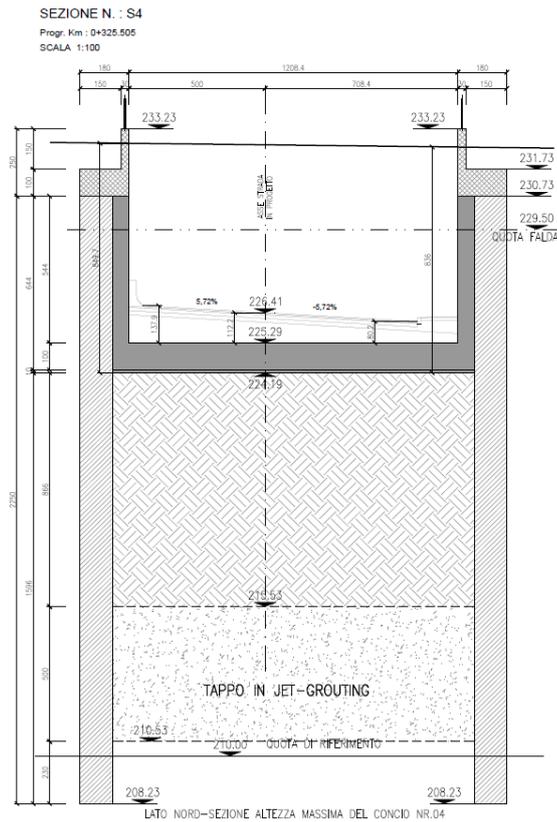


Figura 34: Geometria Muro ad U – Tipo 2

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L <sub>tot</sub>	13.3	m
Larghezza utile	L <sub>int</sub>	12.1	m
Larghezza interasse	L <sub>a</sub>	12.7	m
Spessore piedritti	S <sub>p</sub>	0.6	m
Spessore fondazione	S <sub>f</sub>	1	m
Altezza totale	H <sub>tot</sub>	6.5	m
Altezza libera	H <sub>int</sub>	5.5	m

Sp\* = Lo spessore dei piedritti, rappresentato nelle figure, è quello lordo comprensivo di rivestimento (spritz beton) e impermeabilizzazione è di 60 cm.

La sezione resistente utilizzata nelle verifiche ha invece uno spessore di 55 cm.

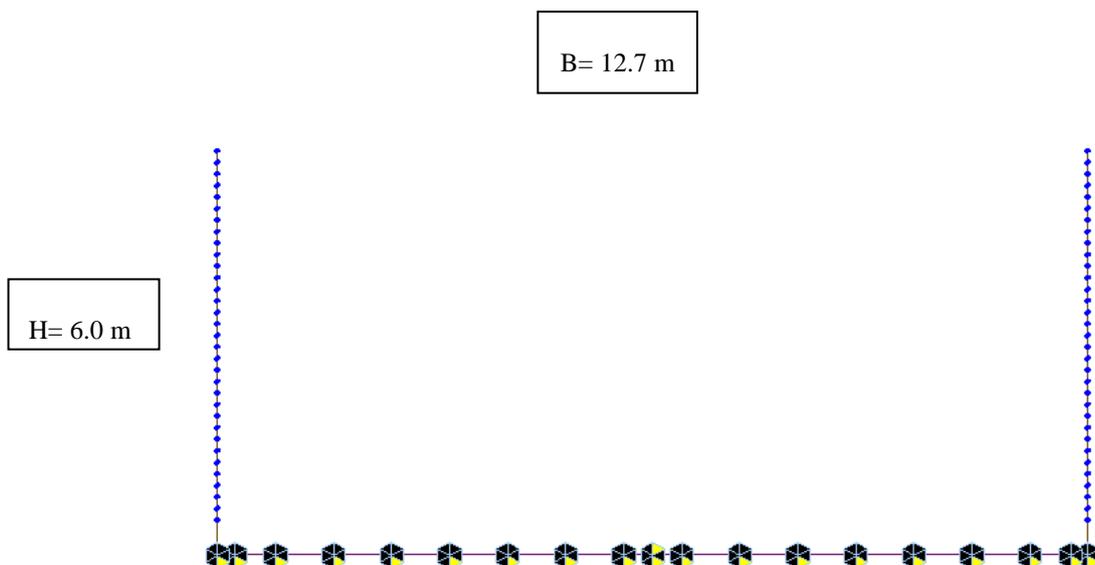


Figura 35: 1^ modello strutturale su letto di molle con vincolo centrale allo spostamento orizzontale



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 4.4.1. Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1° modello di calcolo

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_s = 10000 \text{ kN/m}^3$ , in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

Secondo le indicazioni contenute nel manuale di progettazione RFI, la soletta inferiore viene suddivisa in 15 elementi di pari lunghezza, ossia 16 nodi ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello ( $B=1,0\text{m}$ ), si ha:

Molle centrali

$$K_{\text{centrale}} = K_s * (Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2) / 15 = 8467 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_2 = 2 * K_s * [(Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2) / 15/2 + (Sp/2)] = 14467 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 3,4,5,6,7,9,10,11,12 e 13 come da letteratura si assumono:

$$K_5 = K_6 = K_7 = K_8 = K_9 = K_{10} = K_{11} = K_{12} = K_{13} = K_{14} = K_{15} = K_{16} = K_{17} = K_{18} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 12700 \text{ kN/m}$$

#### 4.4.2. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

##### 4.4.2.1 Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal programma in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

##### 1.1.1.1 Carichi permanenti portati

I carichi permanenti portati, essendo uniformemente distribuiti, non danno nessun contributo al calcolo dei momenti e a tal proposito si trascurano.

##### 1.1.1.2 Spinta del terreno

La spinta del terreno risulta essere assente poiché a tergo del muro ad U, per entrambi i lati, è prevista una paratia di diaframmi dimensionati per la spinta del terreno.

### 1.1.1.3 Spinta idrostatica (SPW)

Visto la presenza della falda a quota +229.5 m, tra i carichi agenti si è inserita la spinta idraulica  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$

$P1=q_w(z_0)= 0.00 \text{ kN/m}$  (quota falda inizio)

$P2=q_w(z_2)= 43.00 \text{ kN/m}$  (quota falda estradosso della soletta di fondazione)

$P3=q_w(z_3)= 48.00 \text{ kN/m}$  (quota falda in asse della soletta di fondazione)

Ed una sottospinta idraulica costante pari a:

$P4=q_w(z_4)= 53 \text{ kN/m}^3$  (quota falda intradosso della soletta di fondazione)

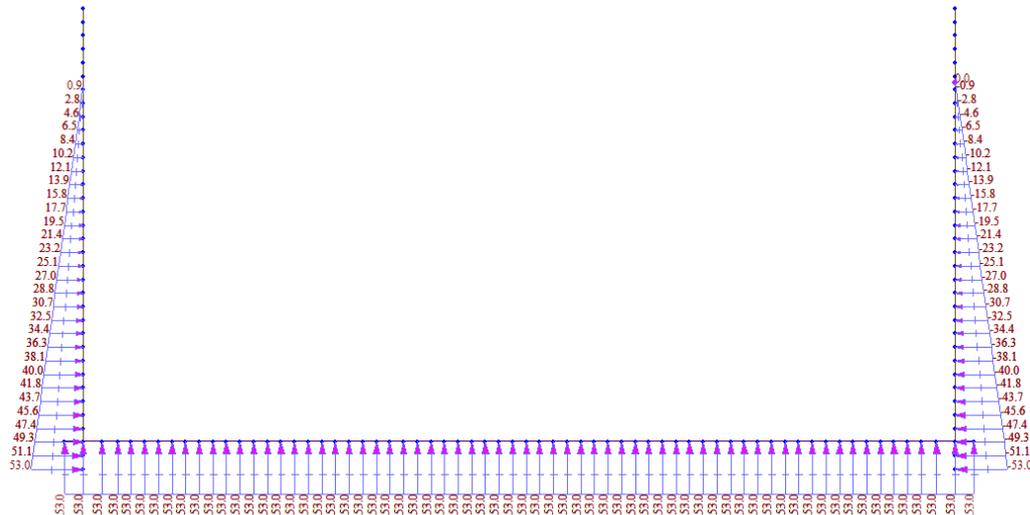


Figura 38 – Spinta idrostatica sui piedritti e sottospinta idraulica

#### 4.4.2.2 Azioni indotte dagli spostamenti della paratia di diaframmi

Per tener in conto degli spostamenti della paratia di diaframmi, presente a tergo dei piedritti del muro ad U, applichiamo al modello degli spostamenti imposti variabili con l'altezza.

Il muro Tipo 2 risente degli spostamenti della paratia di diaframmi di Tipo 2.

Il valore della reazione offerta dalla soletta di fondazione nel calcolo delle paratie è pari a – 504 KN in comb. quasi permanente. Di tale valore si tiene conto ai fini del calcolo.

Gli spostamenti applicati ricavati dal modello di calcolo dei diaframmi, sono:

Z m	$\Delta x$ permanenti mm	$\Delta x$ accidentali mm	$\Delta x$ sisma mm
-0.2	9.119	0.515	16.518
-0.4	8.760	0.497	15.900
-0.6	8.402	0.478	15.283
-0.8	8.046	0.459	14.667
-1	7.690	0.440	14.053
-1.2	7.335	0.421	13.442
-1.4	6.981	0.403	12.834
-1.6	6.629	0.384	12.228
-1.8	6.279	0.365	11.626
-2	5.931	0.347	11.029
-2.2	5.586	0.329	10.437
-2.4	5.243	0.311	9.850
-2.6	4.905	0.293	9.270
-2.8	4.570	0.274	8.697
-3	4.239	0.257	8.132
-3.2	3.913	0.240	7.576
-3.4	3.593	0.223	7.030
-3.6	3.279	0.206	6.494
-3.8	2.972	0.190	5.970
-4	2.671	0.173	5.458
-4.2	2.380	0.157	4.961
-4.4	2.097	0.142	4.478
-4.6	1.825	0.128	4.011
-4.8	1.562	0.113	3.562
-5	1.311	0.100	3.131

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	64 di 187

-5.2	1.073	0.087	2.720
-5.4	0.848	0.074	2.330
-5.6	0.638	0.062	1.961
-5.8	0.443	0.051	1.618
-6	0.265	0.041	1.299
-6.2	0.106	0.031	1.007
-6.4	0.032	0.027	0.871

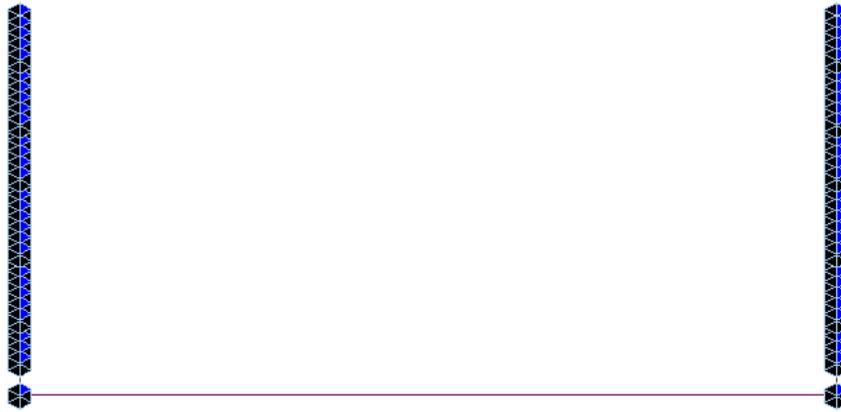


Figura 39 – Spostamenti applicati ai piedritti del Muro

*1.1.1.4 Azioni indotte dalle variazioni termiche*

L'azione termica risulta essere trascurabile, in quanto la struttura è pressochè isostatica e libera di deformarsi senza variare lo stato tensionale interno.

*1.1.1.5 Azioni sismiche*

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera  $VN = 50$  anni
- Classe d'uso dell'opera III  $Cu = 1.5$
- Categoria di sottosuolo C
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. =  $45.683026^\circ$ e Long. =  $9.767658^\circ$ )

		ag	Fo	T*c
T <sub>R</sub>	45	0.041	2.427	0.221
T <sub>R</sub>	75	0.054	2.403	0.237

T <sub>R</sub>	712	0.143	2.453	0.273
T <sub>R</sub>	1462	0.182	2.494	0.282

dove:

- T<sub>R</sub> → tempo di ritorno;
- a<sub>g</sub> → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- F<sub>0</sub> → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T<sub>C</sub>\* → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

		a <sub>max</sub>
T <sub>R</sub>	45	0.061
T <sub>R</sub>	75	0.080
T <sub>R</sub>	712	0.214
T <sub>R</sub>	1462	0.271

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. 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. I valori dei coefficienti sismici orizzontali k<sub>h</sub> e verticale k<sub>v</sub> possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove :

a<sub>max</sub>= S<sub>s</sub>·S<sub>t</sub>·a<sub>g</sub> accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g= accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β<sub>m</sub> assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

		K <sub>h</sub>	K <sub>v</sub>
T <sub>R</sub>	45	0.061	0.031
T <sub>R</sub>	75	0.080	0.040

$T_R$	712	0.214	0.107
$T_R$	1462	0.271	0.135

### 1.1.1.6 Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

Forze inerzia orizzontali		
$F''_h = F_{0, \text{pedritti}}$	3.2	kN/m <sup>2</sup>

Forze inerzia verticali		
$F''_h = F_{0, \text{pedritti}}$	1.6	kN/m <sup>2</sup>



Figura 40: Forza inerziale orizzontale

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	67 di 187

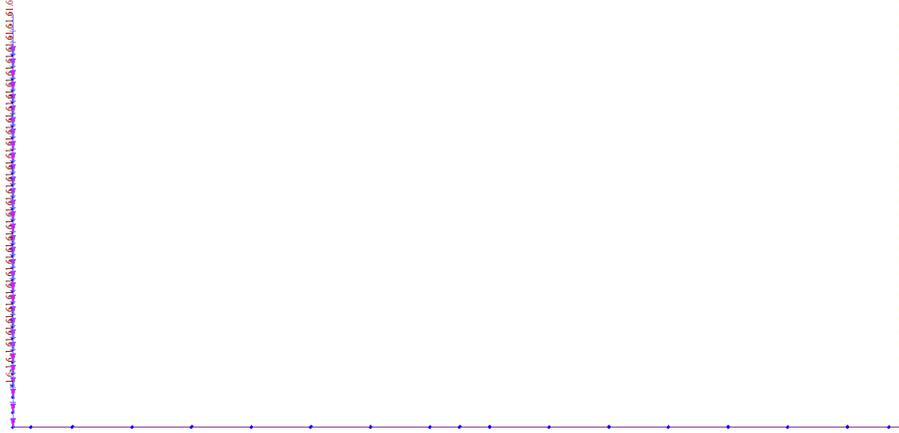


Figura 19: Forza inerziale verticale

#### 4.4.3. COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

Per i calcoli strutturali dell'opera sono state considerate le seguenti combinazioni di carico:

	SLU 1	SLU 2	SLU 3
PP	1.35	1.35	1.35
SPW	1	1.35	1.35
SPDPX	1	1.35	1.35
SPDAX	1	1	1.50

	RARA 1
PP	1
SPW	1
SPDPX	1
SPDAX	0.75

	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLV 4
PP	1	1	1	1
SPW	1	1	1	1
SPDPX	1	1	1	1
SPDSX	1	1	1	1
INERZIEH	1	0.3	1	-0.3
SISVER	0.3	1	-0.3	1

Di seguito si riportano gli involuipi dei diagrammi delle sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative ai tre stati limite considerati (ogni figura presenta i due modelli).

Per la sovrapposizione degli effetti, al termine di questo paragrafo, le sollecitazioni dei due modelli verranno sommate



Figura 41: Inviluppo N – SLU (modello1)



Figura 42: Inviluppo N – SLU (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	70 di 187

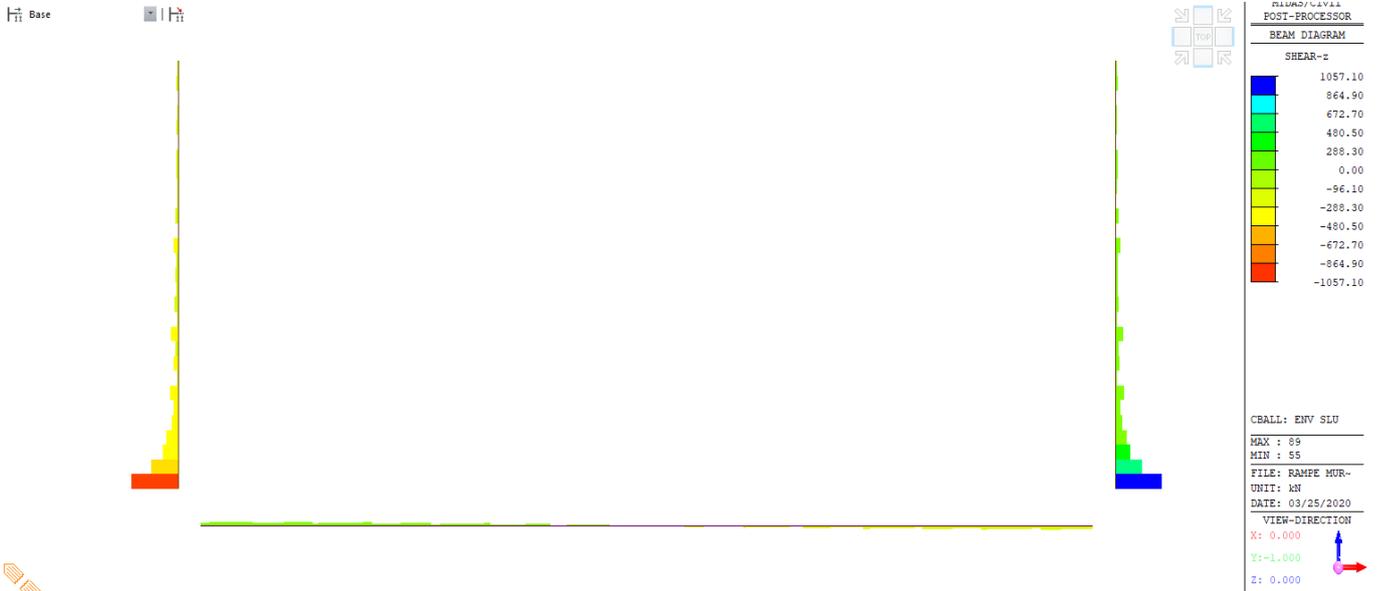


Figura 43: Involuppo T – SLU (modello 1)

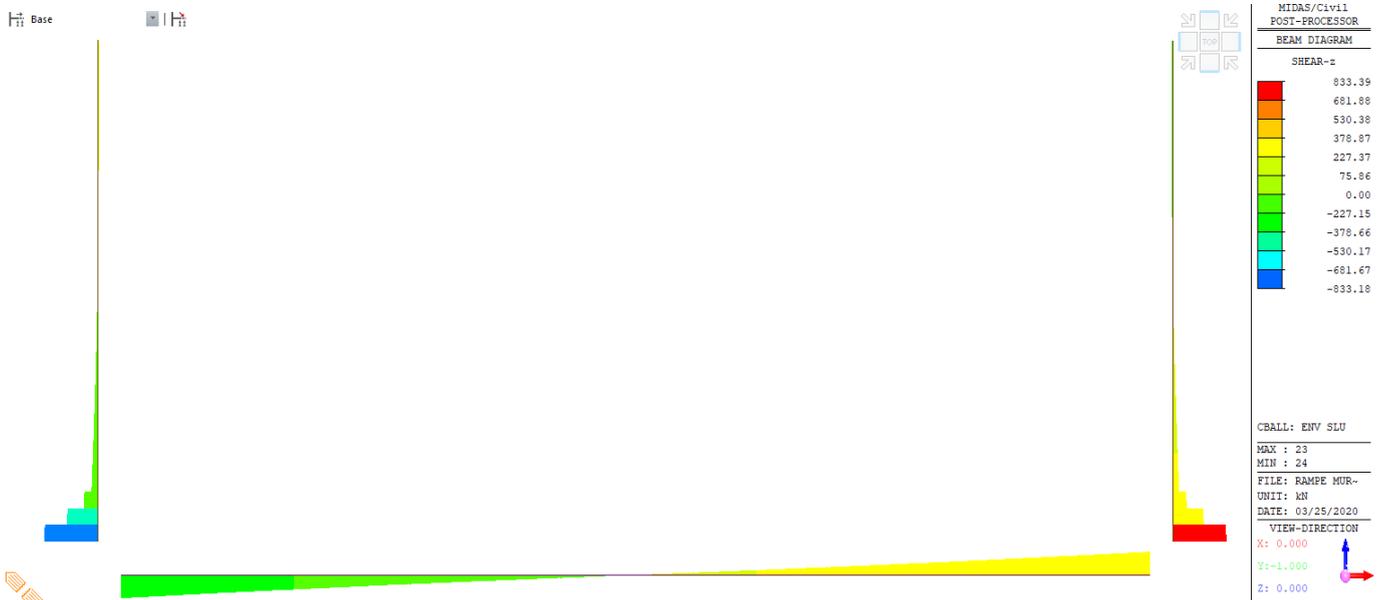


Figura 44: Involuppo T – SLU (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	71 di 187



Figura 45: Involuppo M – SLU (modello 1)

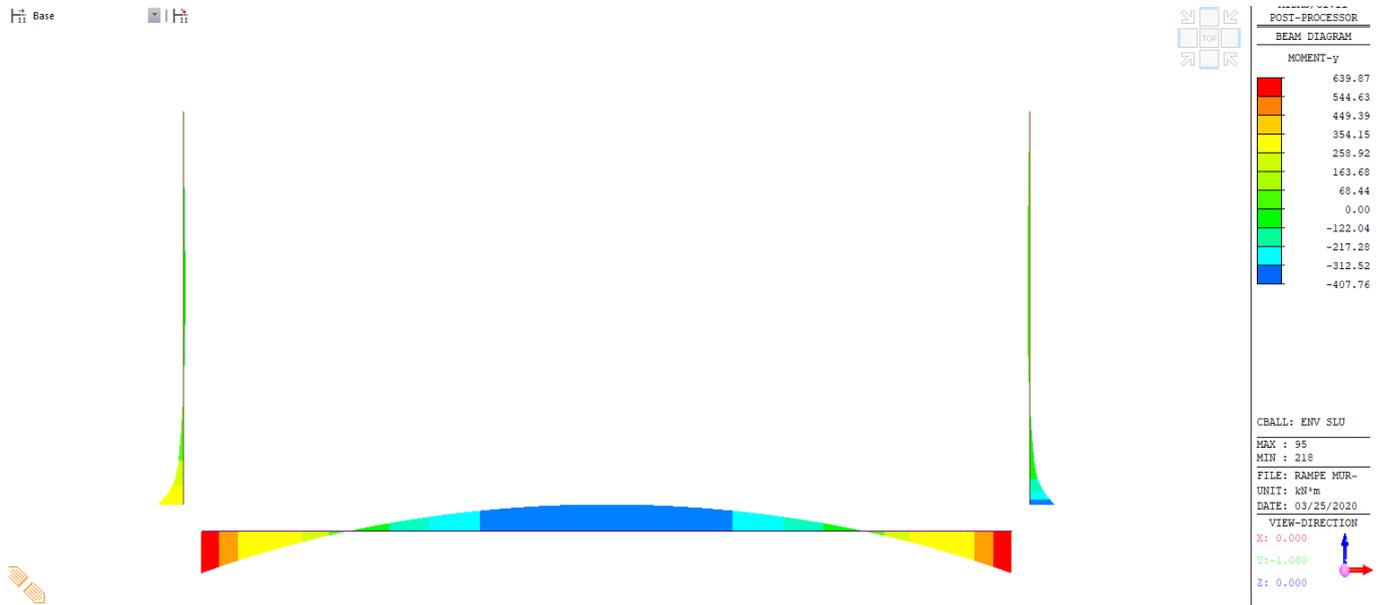


Figura 46: Involuppo M – SLU (modello 2)



Figura 47: Involuppo N – SLV (modello 1)

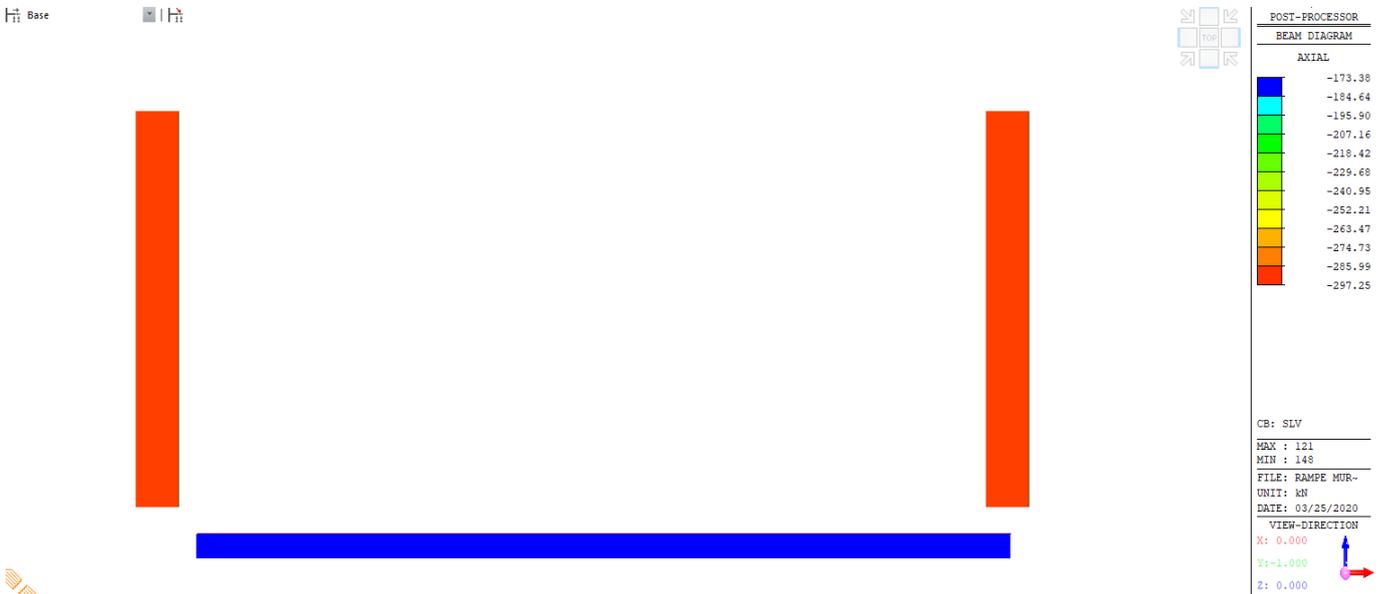


Figura 48: Involuppo N – SLV (modello 2)

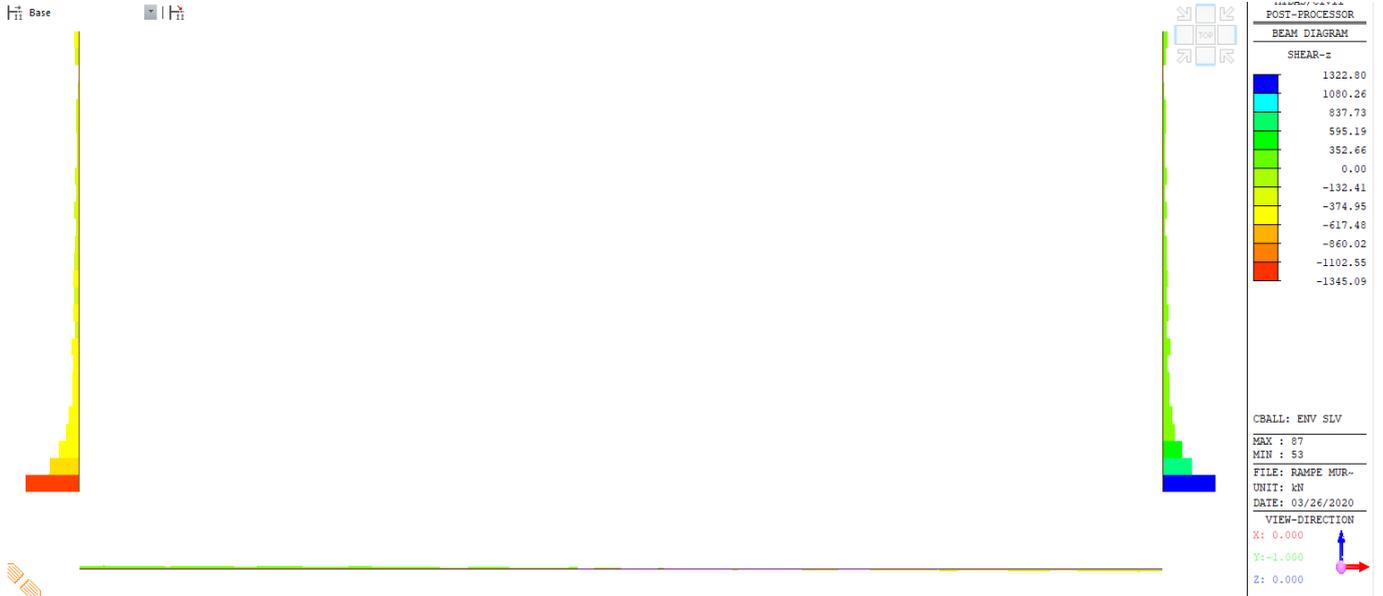


Figura 49: Inviluppo T–SLV (modello 1)

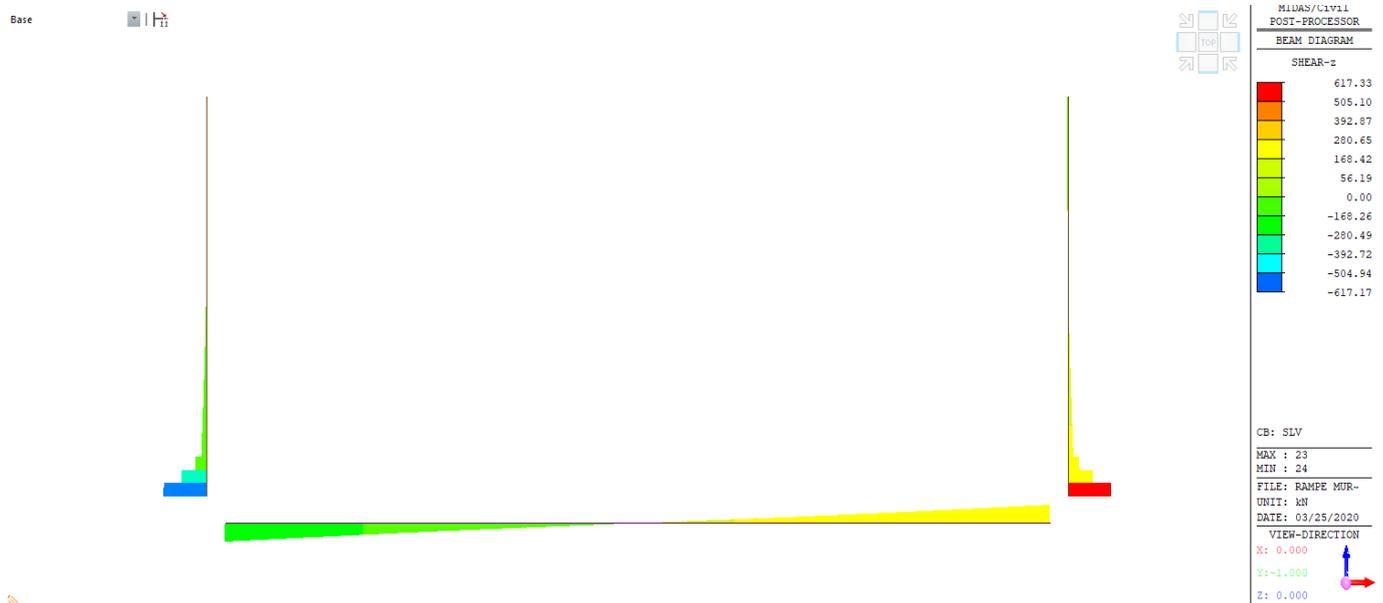


Figura 50: Inviluppo T–SLV (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	74 di 187

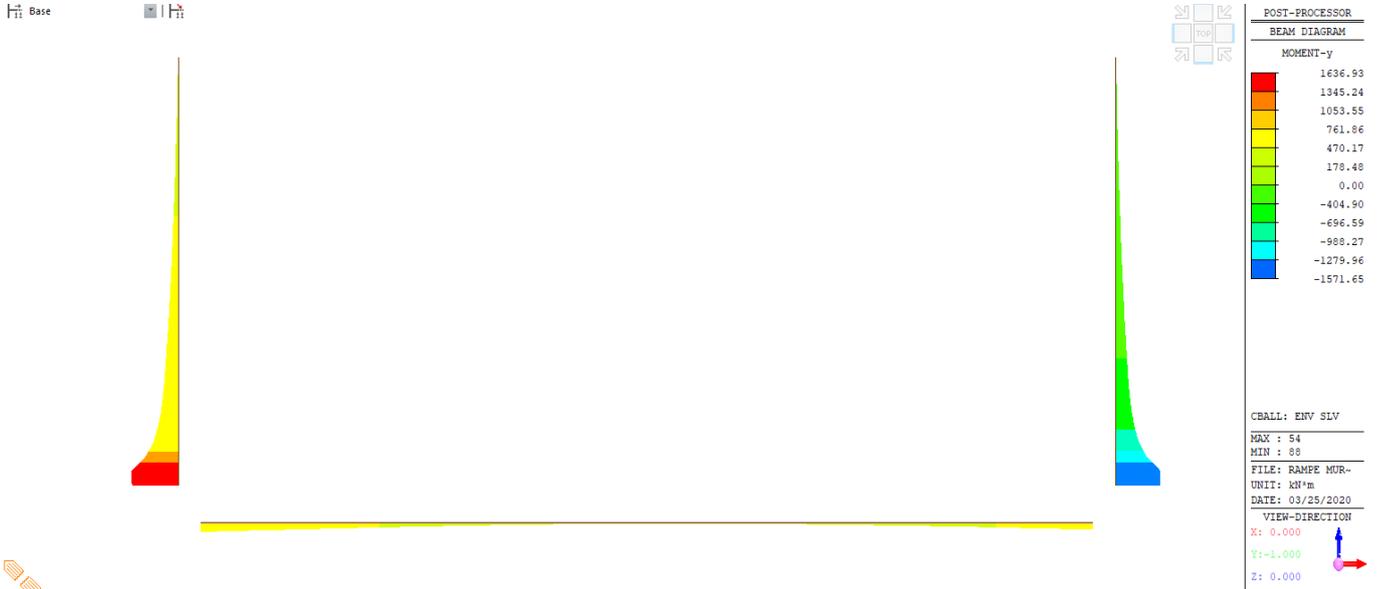


Figura 51: Involuppo M- SLV (modello 1)

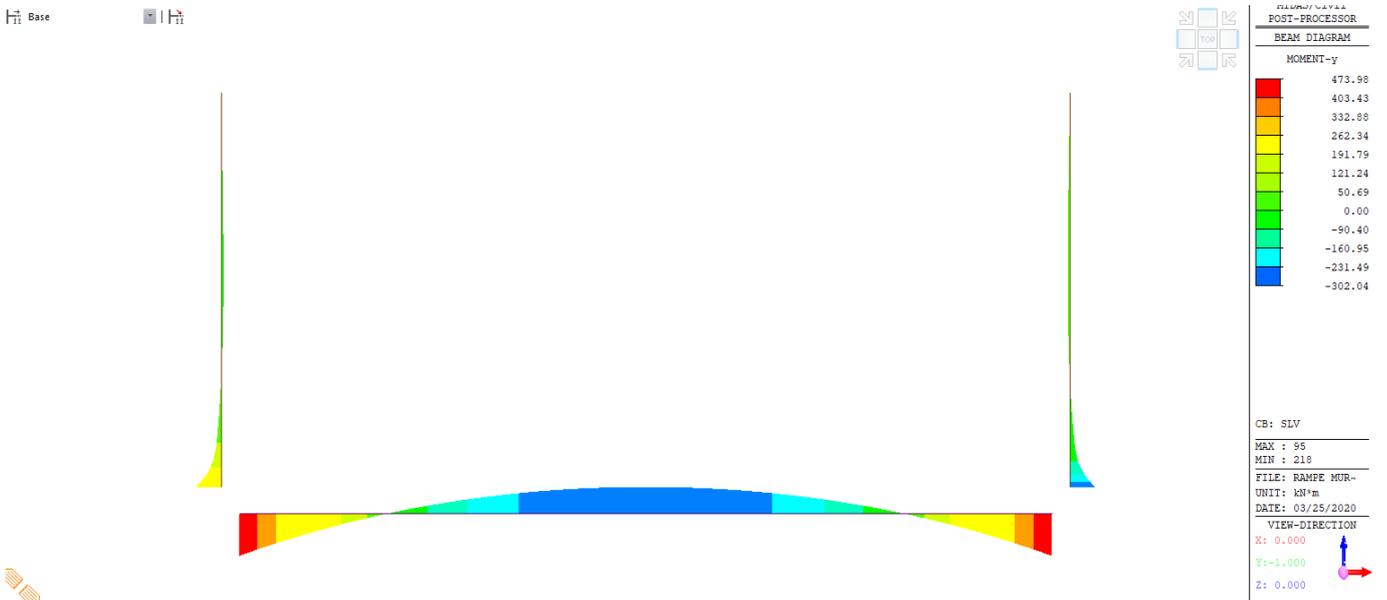


Figura 52: Involuppo M- SLV (modello 2)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	75 di 187



Figura 53: Inviluppo N – SLE RARA(modello 1)



Figura 54: Inviluppo N – SLE RARA(modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	76 di 187

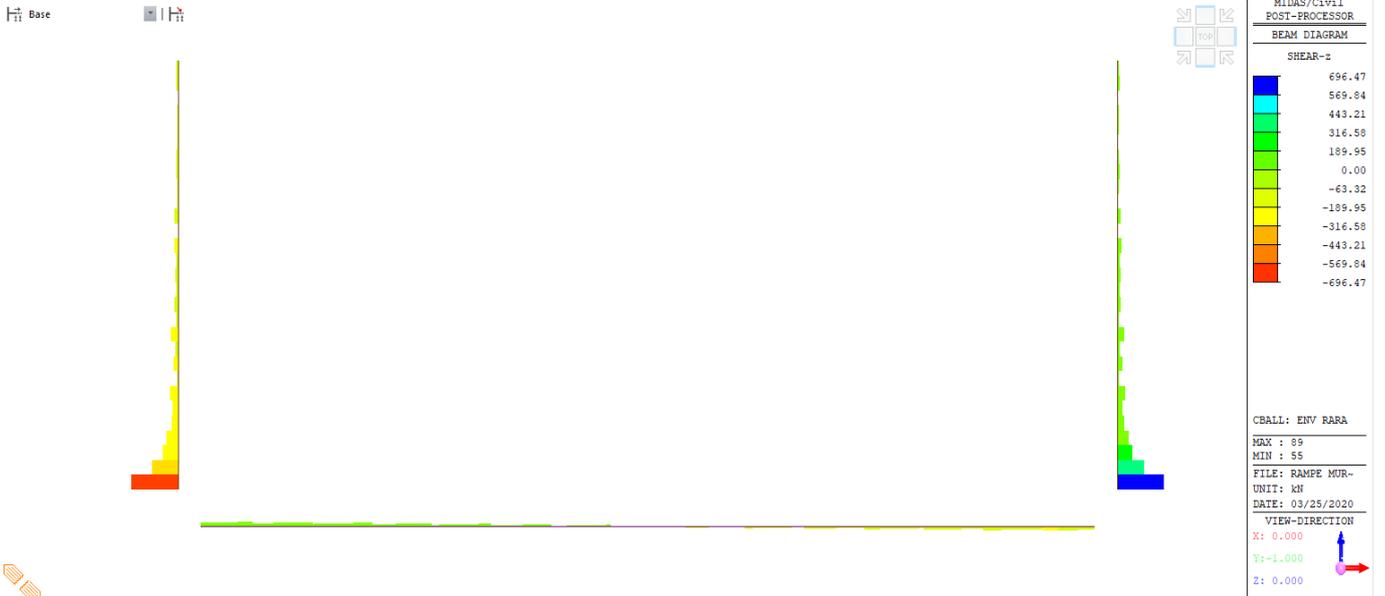


Figura 55: Inviluppo V – SLE RARA(modello 1)

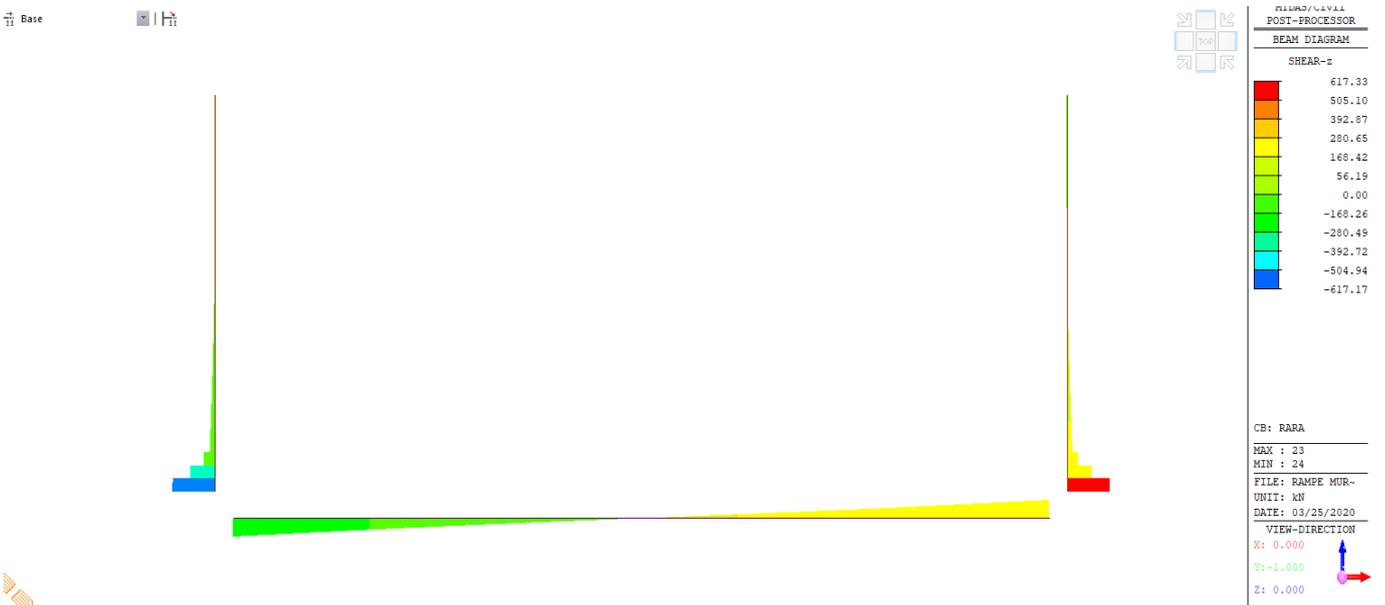


Figura 56: Inviluppo V – SLE RARA(modello 2)

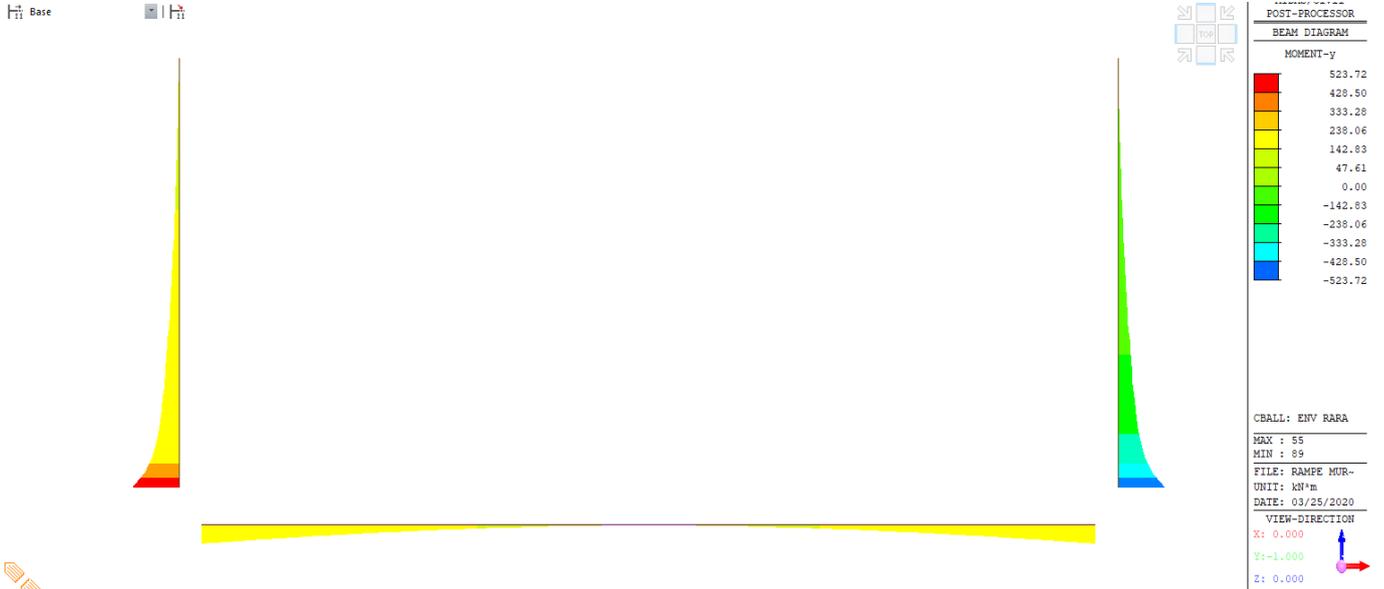


Figura 57: Inviluppo M – SLE RARA (modello 1)

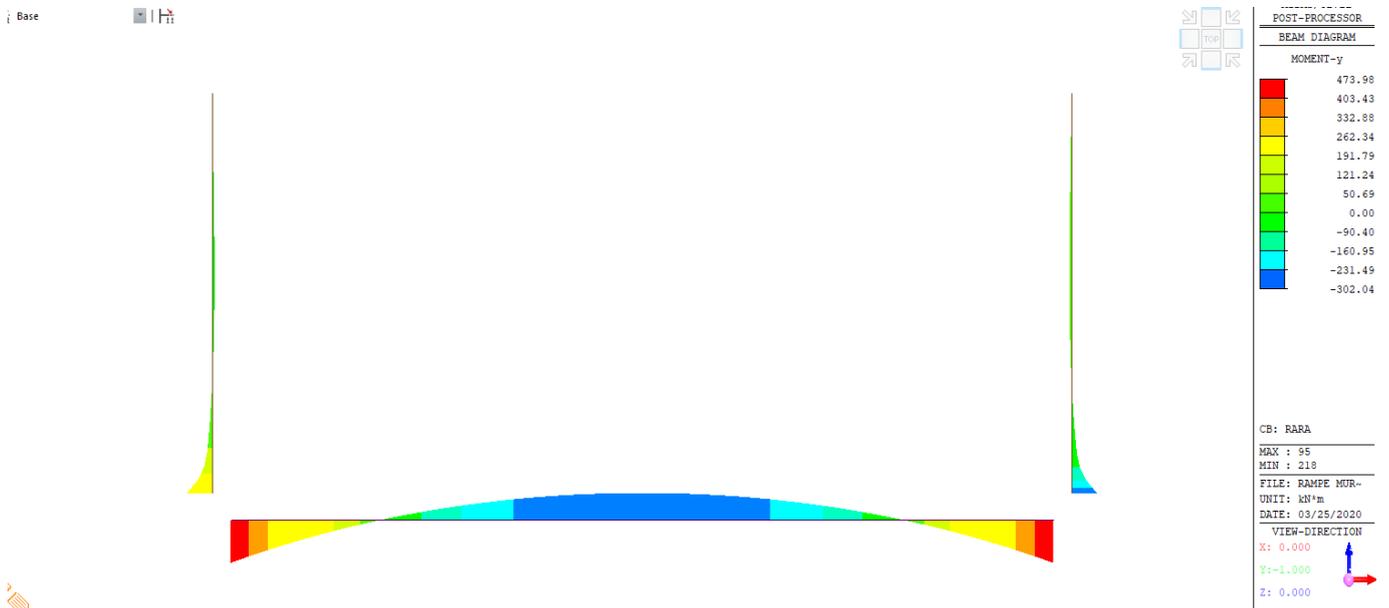


Figura 58: Inviluppo M – SLE RARA (modello 2)

Le sezioni verificate sono le seguenti:

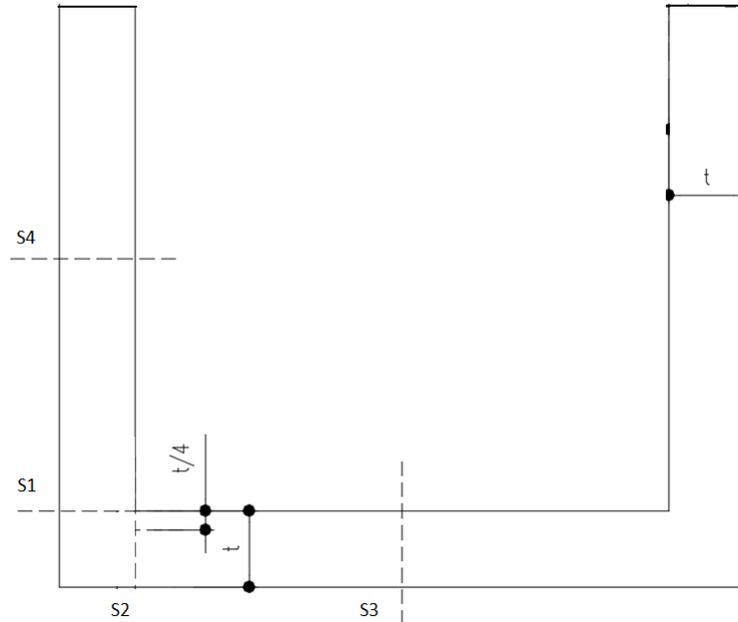


Figura 59: Sezioni di verifica

Qui a seguire vengono riportate le sollecitazioni totali per ogni sezione investigata:

sezione S1 - base piedritto (parete verticale)							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-117	-1059	795	ENV SLU	-400	-481	214
ENV SLV	-87	-1268	1636	ENV SLV	-297	-350	158
ENV RARA	-87	-700	523	ENV RARA	-297	-350	158
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-517	-1540	1009				
ENV SLV	-384	-1618	1794				
ENV RARA	-384	-1050	681				

sezione S2 - estremità fondazione							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-442	95	332	ENV SLU	-234	-362	639
ENV SLV	-4531	68	335	ENV SLV	-173	-268	473
ENV RARA	-261	91	216	ENV RARA	-173	-268	473
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1180	-267	971				
ENV SLV	-5208	-200	808				
ENV RARA	-938	-177	689				

\*si somma -504 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

sezione S3 - fondazione in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-442	0	40	ENV SLU	-234	0	-407
ENV SLV	-4531	0	40	ENV SLV	-173	0	-302
ENV RARA	-261	0	10	ENV RARA	-173	0	-302
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1180	0	-367				
ENV SLV	-5208	0	-262				
ENV RARA	-938	0	-292				

\*si somma -504 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

sezione S4 - piedritto in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-60	-50	110	ENV SLU	-400	-15	-45
ENV SLV	-40	-118	247	ENV SLV	-367	-10	-37
ENV RARA	-45	-45	78	ENV RARA	-297	-10	-37
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-460	-65	65				
ENV SLV	-407	-128	210				
ENV RARA	-342	-55	41				

## Verifiche

### 4.4.4. Verifiche a flessione

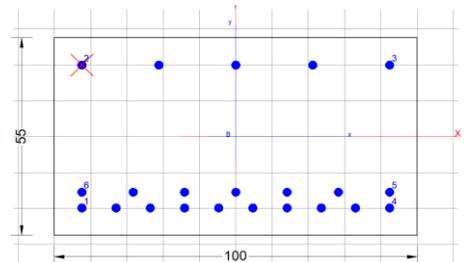
#### 4.4.4.1 Sezione 1 - base piedritto (parete verticale)

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-517	-1540	1009
ENV SLV	-384	-1618	1794
ENV RARA	-384	-1050	681

Armatura lato esterno  $\Phi 26/10 + \Phi 26/20$

Armatura lato interno  $\Phi 26/20$

Armatura a taglio  $\Phi 16/(20 \times 20)$



#### DATI GENERALI

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	Sezione generica di Trave
Percorso sollecitazione:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Molto aggressive
Riferimento alla sismicità:	Assi x,y principali d'inerzia
	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	82 di 187

Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-25.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-25.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.3	-17.3	26
2	-42.3	22.3	26
3	42.3	22.3	26
4	42.3	-17.3	26
5	42.3	-12.7	26
6	-42.3	-12.7	26

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	8	26
3	5	6	5	26

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	517.00	1009.00	0.00	0.00	0.00
2	384.00	1794.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	384.00	681.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	517.00	1009.00	0.00	517.00	1468.53	0.00	1.45	90.3(9.9)
2	N	384.00	1794.00	0.00	383.94	1445.32	0.00	0.81	90.3(9.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.314	50.0	30.0	0.00168	42.3	22.3	-0.00765	-42.3	-17.3
2	0.00350	0.304	50.0	30.0	0.00163	42.3	22.3	-0.00801	-42.3	-17.3

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	84 di 187

x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000235791	-0.003573725	0.314	0.832
2	0.000000000	0.000243424	-0.003802709	0.304	0.820

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	11.85	-50.0	30.0	-191.1	32.9	-17.3	1050	53.1

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W2<0.3) :

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.218 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 305 mm
Area efficace = 1050 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 550$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 77$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$	$\emptyset 26$	$= 53.09 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 5$	$\emptyset 26$	$= 26.55 \text{ cm}^2$
$d = 473$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$79.64 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -384.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 1618.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.650 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.420$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.017 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.70 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 403.3 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 248.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 403.3 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

$$\theta = 27.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 16 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.503 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 1643.4 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.039 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1621.4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1621.4 > 1618.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.0$$

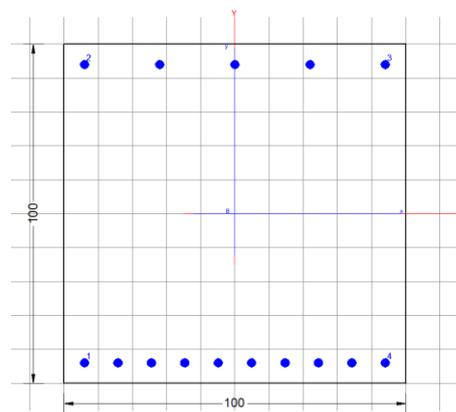
la sezione armata a taglio risulta verificata.

4.4.4.2 Sezione 2 - estremità in fondazione

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-1180	-267	971
ENV SLV	-5208	-200	808
ENV RARA	-938	-177	689

Armatura inferiore	Φ 26/10
Armatura superiore	Φ 26/20
Armatura a taglio	Φ 12/(40x40)



**DATI GENERALI**

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione sismica
Percorso sollecitazione:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Molto aggressive
Riferimento alla sismicità:	Assi x,y principali d'inerzia
	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :		1.00

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	87 di 187

Coeff. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50  
Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-50.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	-50.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-42.5	26
2	-44.0	42.5	26
3	44.0	42.5	26
4	44.0	-42.5	26

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	3	26

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1180.00	971.00	0.00	0.00	0.00
2	5208.00	808.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	88 di 187

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	938.00	689.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.7 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	1180.00	971.00	0.00	1180.19	2255.21	0.00	2.28	53.1(20.0)
2	S	5208.00	808.00	0.00	5208.11	3031.75	0.00	3.36	53.1(20.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.209	50.0	50.0	0.00214	44.0	42.5	-0.01322	-44.0	-42.5
2	0.00350	0.589	50.0	50.0	0.00302	44.0	42.5	-0.00244	-44.0	-42.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000180807	-0.005540353	0.209	0.702
2	0.000000000	0.000064225	0.000288744	0.589	1.000

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	5.36	50.0	50.0	-84.5	34.2	-42.5	1850	53.1

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W2<0.3) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.092 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 365 mm
Area efficace = 1850 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1000$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 75$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$	$\emptyset 26$	$= 53.09 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 925$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$53.09 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} = -1180.0 \text{ kN}$                        $V_{ed} = 267.0 \text{ kN}$

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$                        $k = 1.465 < 2$   
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$                        $v_{min} = 0.310$   
 $\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$                        $\rho_1 = 0.006 < 0.02$   
 $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$                        $\sigma_{cp} = -1.18 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$

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

$V_{Rd} = 558.9 \text{ kN};$                       (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 450.8 \text{ kN}$ )

$V_{Rd} = 558.9 \text{ kN}$                       valore di calcolo

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

$\theta = 22.8$  °                      inclinaz. bielle cls                      angolo ammissibile  
 $\alpha = 90.0$  °                      inclinaz. staffe

Armatura a taglio (staffatura):

$A_{sw}/s =$  staffe  $\emptyset 12$  mm con n° bracci (trasv)  $2.5$                       passo  $40$  cm  $= 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg\alpha + \cotg\theta) \times \text{sen}\alpha$                        $V_{Rsd} = 547.8 \text{ kN}$

$f_{cd} = 7.08$                       MPa resist. di calcolo ridotta

$\alpha_c = 1.083$                       coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg\alpha + \cotg\theta) / (1 + \cotg^2\alpha)$                        $V_{Rcd} = 2282.0 \text{ kN}$

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$                        $V_{Rd} = 547.8 > 267.0 \text{ kN}$                       c.s. = 2.1

la sezione armata a taglio risulta verificata.

4.4.4.3 Sezione 3 - fondazione in mezzaria

**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

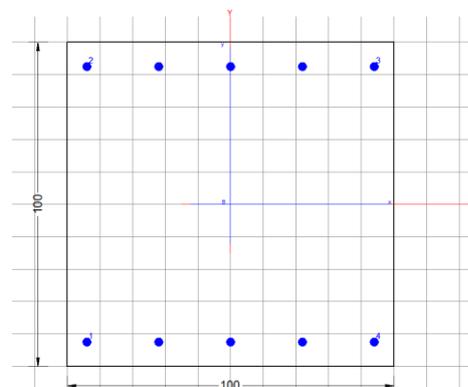
sezione S3 - fondazione in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-442	0	40	ENV SLU	-234	0	-407
ENV SLV	-4531	0	40	ENV SLV	-173	0	-302
ENV RARA	-261	0	10	ENV RARA	-173	0	-302
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1180	0	-367				
ENV SLV	-5208	0	-262				
ENV RARA	-938	0	-292				

\*si somma -504 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

Causalmente si usano i valori di momento del Modello n.2.

Armatura superiore  $\Phi$  26/20

Armatura inferiore  $\Phi$  26/20



**DATI GENERALI**

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
combinazione sismica	Sezione generica di Trave di fondazione in
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	92 di 187

Coeff. Omogen. S.L.E.: 15.00

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-50.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	-50.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-42.5	26
2	-44.0	42.5	26
3	44.0	42.5	26
4	44.0	-42.5	26

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	26
2	2	3	3	26

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	93 di 187

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1180.00	-367.00	0.00	0.00	0.00
2	5208.00	-262.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	938.00	-262.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.4 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	1180.00	-367.00	0.00	1180.22	-1416.78	0.00	3.86	26.5(20.0)
2	S	5208.00	-262.00	0.00	5207.72	-2502.64	0.00	9.55	26.5(20.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.137	-50.0	-50.0	0.00144	-44.0	-42.5	-0.02196	44.0	42.5
2	0.00350	0.491	-50.0	-50.0	0.00292	-44.0	-42.5	-0.00363	44.0	42.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c           Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d               Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid.            Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000275284	-0.010264215	0.137	0.700
2	0.000000000	-0.000077041	-0.000352041	0.491	1.000

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver                S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max            Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max   Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min            Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min   Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.            Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.            Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.32	-50.0	-50.0	-7.9	22.0	42.5	800	26.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W2 < 0.3$ ) :

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.008 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 344 mm
Area efficace = 800 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

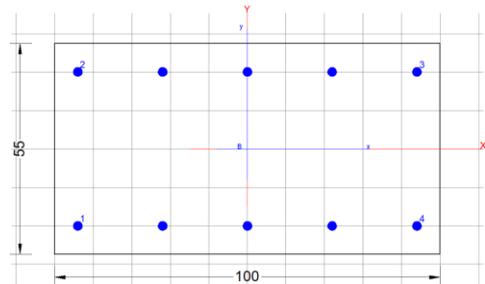
Condizione soddisfatta

4.4.4.4 Sezione 4 - mezzeria piedritto

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-460	-65	65
ENV SLV	-407	-128	210
ENV RARA	-342	-55	41

Armatura lato interno	Φ 24/20
Armatura lato esterno	Φ 24/20
Armatura a taglio	Φ 12/(40x40)



**DATI GENERALI**

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	Sezione generica di Trave
Percorso sollecitazione:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Molto aggressive
Riferimento alla sismicità:	Assi x,y principali d'inerzia
	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :		1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2 :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	96 di 187

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-27.5
2	-50.0	27.5
3	50.0	27.5
4	50.0	-27.5

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-20.1	24
2	-44.0	20.1	24
3	44.0	20.1	24
4	44.0	-20.1	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	460.00	65.00	0.00	0.00	0.00
2	407.00	210.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	97 di 187

N°Comb.	N	Mx	My
1	342.00	41.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	460.00	65.00	0.00	460.19	485.99	0.00	7.48	22.6(8.1)
2	S	407.00	210.00	0.00	407.00	475.32	0.00	2.26	22.6(8.1)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.192	-50.0	27.5	0.00066	-44.0	20.1	-0.01476	-44.0	-20.1
2	0.00350	0.187	-50.0	27.5	0.00060	-44.0	20.1	-0.01518	-44.0	-20.1

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000383585	-0.007048594	0.192	0.700
2	0.000000000	0.000392475	-0.007293066	0.187	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	98 di 187

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.24	-50.0	27.5	0.5	44.0	-20.1	0	0.0

Aperture fessure per combinazione RARA ( $W_2 < 0.3$ ) :

Apertura fessure

Apert. fessure = 0.001 mm

Apert. limite = 990.000 mm

Dist. fessure = 0 mm

Area efficace = 0 cm<sup>2</sup>

Coeff. K3 =

Condizione soddisfatta

## Verifica di resistenza a taglio

### VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 550$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 74$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5 \text{ } \emptyset \text{ } 24$		$= 22.62 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 476$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0 \text{ } \emptyset \text{ } 0$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$22.62 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -407.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 128.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.648 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.419$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.005 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.74 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 286.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 252.3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 286.1 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

$$\theta = 22.8^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \text{ } 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \text{ passo } 40 \text{ cm} = 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \sin \alpha \quad V_{Rsd} = 281.9 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.041 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1444.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 281.9 > 128.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 2.2$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

#### 4.4.5. Verifiche a deformazione

Si esegue la verifica a inflessione del muro a “U” secondo quanto riportato nell’EC 2 cap7.4 §7.4.1, la verifica risulta essere soddisfatta se l’inflessione calcolata di travi a sbalzo soggetti a carichi quasi permrane è inferiore a 1/250 della luce.

Nel caso in esame, considerando il piedritto a sbalzo la luce di calcolo vale 2H, quindi la luce per il piedritto vale:

$$L = 2 * H = 2 * 6500 = 13000 \text{ mm}$$

Per cui si ricava il valore di inflessione massimo ammissibile:

$$f_{\text{max}} = L / 250 = 13000 / 250 = 52 \text{ mm}$$

Dal modello si ricava una deformazione in testa del piedritto di:

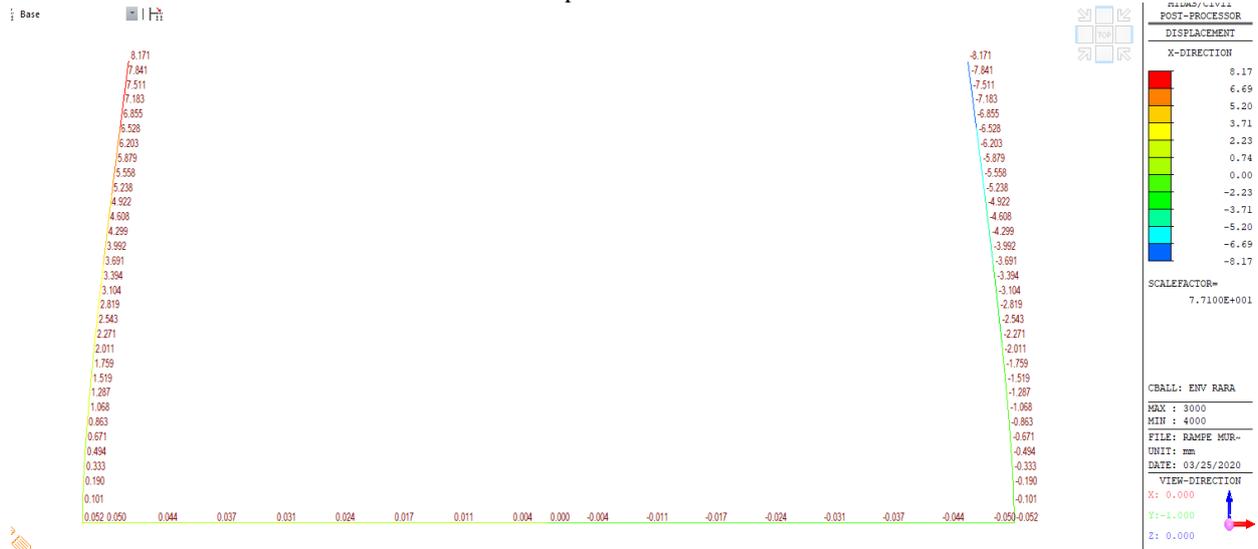


Figura 4-60: Deformazione muro ad “U” del Modello 1 (considerata)

Il seguente valore viene moltiplicato per 3 per tenere conto delle deformazioni a tempo infinito.

$$f_u = 3 * 9 = 27 \text{ mm} < 52 \text{ mm} = f_{\text{max}}$$

**Verificato**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 4.4.6. Riepilogo armature – muro tipo 2

Elemento	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
piedritti	mezzaria	$\phi 24/20$ int.	$\Phi 20/20$ est.	$170 \text{ kg/m}^3$ *  valore medio adottato sia per muro tipo 1 che tipo 2 :
		$\phi 24/20$ est.	$\Phi 20/20$ int.	
	nodo  inf.	$\Phi 26/10 + \Phi 26/20$ est.  $\phi 26/20$ int.	$\Phi 20/20$ est.  $\Phi 20/20$ int.	
soletta inferiore	mezzaria	$\Phi 26/20$ sup.	$\Phi 20/20$ est.	$100 \text{ kg/m}^3$ *
		$\Phi 26/20$ inf.	$\Phi 20/20$ int.	
	nodo	$\Phi 26/20$ sup.  $\Phi 26/10$ inf.	$\Phi 20/20$ est.  $\Phi 20/20$ int.	

\* = le staffe sono state conteggiate tenendo conto di un incremento del 15%

Dati i valori molto cautelativi dello spostamento delle paratie, adottati nel caso del muro tipo 2, rispetto a quelli del tipo 1, che tengono conto in modo approssimativo della variabilità di profondità della rifodera rispetto alla paratia calcolata, al fine di determinare l'incidenza armatura dei piedritti, si ritiene ragionevole mediare i risultati ottenuti tra muro tipo 2 e muro tipo 1. Una valutazione più approfondita degli spostamenti delle paratie, correlato alla profondità dei muri, sarà oggetto della successiva fase di progettazione.

#### 4.5. Modello di Calcolo e Geometria Muro ad U – Tipo 3

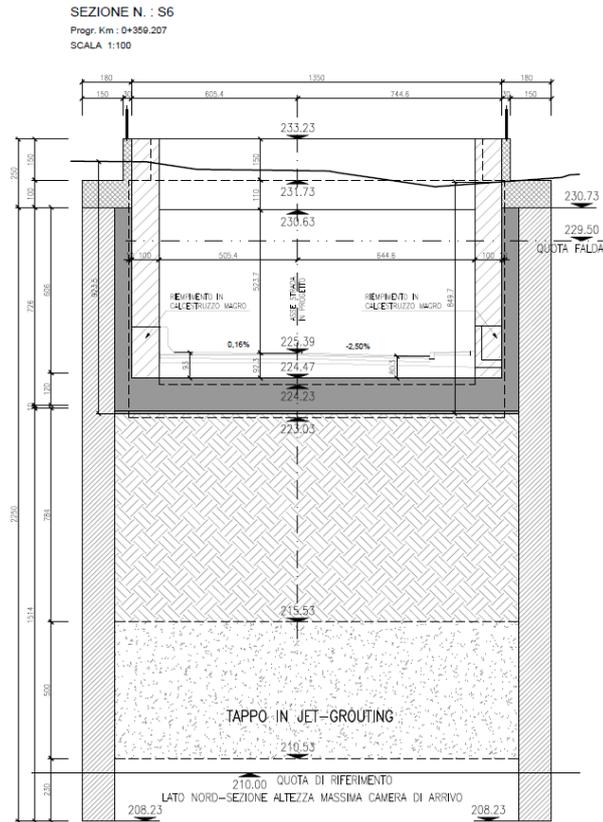


Figura 61: Geometria Muro ad U – Tipo 3

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	$L_{tot}$	14.70	m
Larghezza utile	$L_{int}$	13.5	m
Larghezza interasse	$L_a$	14.10	m
Spessore piedritti	$S_p$	0.6	m
Spessore fondazione	$S_f$	1.20	m
Altezza totale	$H_{tot}$	7.30	m
Altezza libera	$H_{int}$	6.10	m

$S_p^*$  = Lo spessore dei piedritti, rappresentato nelle figure, è quello lordo comprensivo di rivestimento (spritz beton) e impermeabilizzazione è di 60 cm.

La sezione resistente utilizzata nelle verifiche ha invece uno spessore di 55 cm.

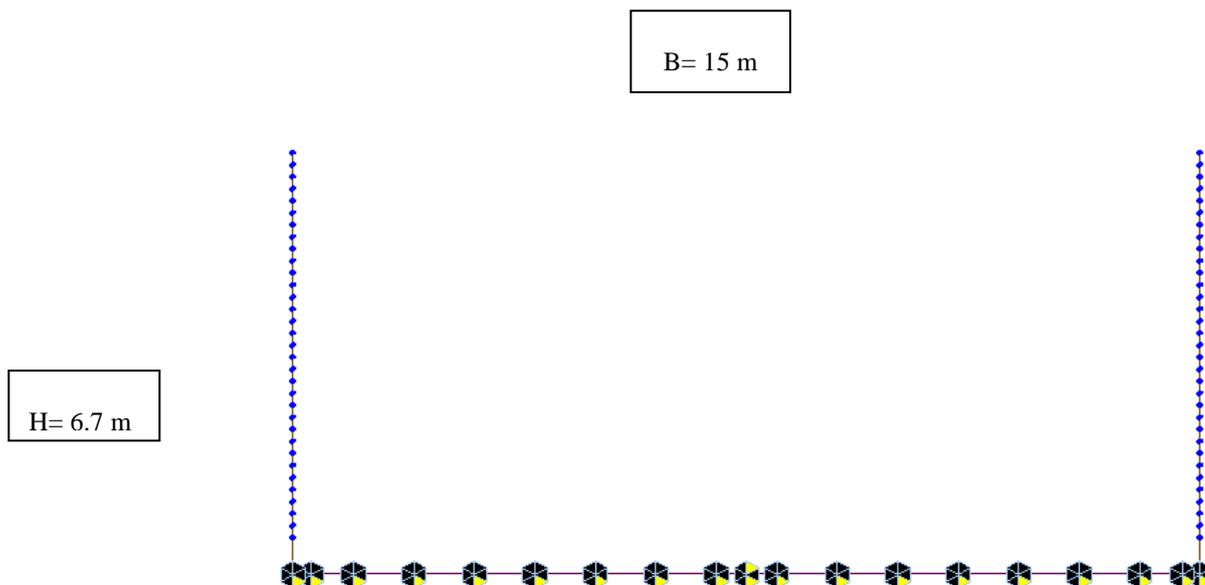


Figura 62: 1° modello strutturale su letto di molle con vincolo centrale allo spostamento orizzontale



Figura 63: 2^ modello strutturale con vincolo superiore ai piedritti che blocca lo spostamento verticale

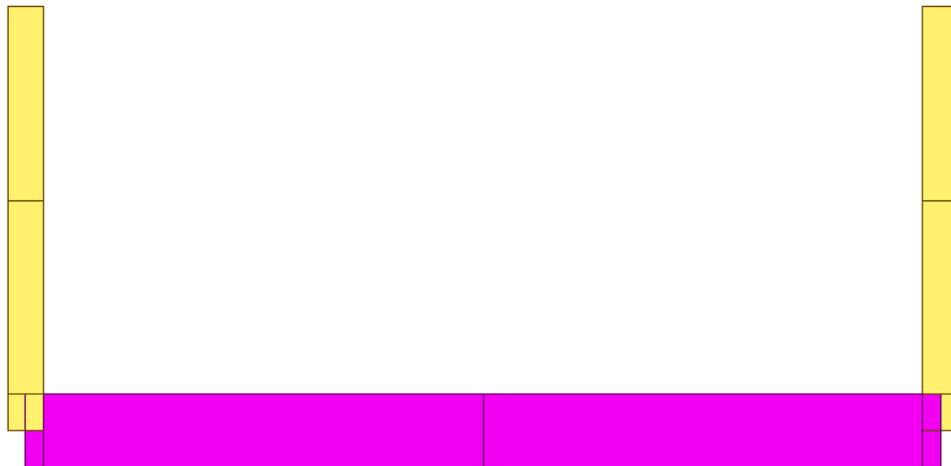


Figura 64: Vista estrusa del modello strutturale

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 4.5.1. Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1° modello di calcolo

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_s = 10000 \text{ kN/m}^3$ , in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

Secondo le indicazioni contenute nel manuale di progettazione RFI, la soletta inferiore viene suddivisa in 15 elementi di pari lunghezza, ossia 16 nodi ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello ( $B=1,0\text{m}$ ), si ha:

Molle centrali

$$K_{\text{centrale}} = K_s * (Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2) / 15 = 10020 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_2 = 2 * K_s * [(Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2) / 15/2 + (Sp/2)] = 16020 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 3,4,5,6,7,9,10,11,12 e 13 come da letteratura si assumono:

$$K_5 = K_6 = K_7 = K_8 = K_9 = K_{10} = K_{11} = K_{12} = K_{13} = K_{14} = K_{15} = K_{16} = K_{17} = K_{18} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 15030 \text{ kN/m}$$

#### 4.5.2. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

##### 1.1.1.7 Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal programma in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

##### 1.1.1.8 Carichi permanenti portati

I carichi permanenti portati, essendo uniformemente distribuiti, non danno nessun contributo al calcolo dei momenti e a tal proposito si trascurano.

##### 1.1.1.9 Spinta del terreno

La spinta del terreno risulta essere assente poiché a tergo del muro ad U, per entrambi i lati, è prevista una paratia di diaframmi dimensionati per la spinta del terreno.

*1.1.1.10 Spinta idrostatica (SPW)*

Visto la presenza della falda a quota +238 m, tra i carichi agenti si è inserita la spinta idraulica  $\gamma_w=10 \text{ kN/m}^3$

$P1=q_w(z_0)= 0.00 \text{ kN/m}$  (quota falda inizio)

$P2=q_w(z_2)= 49.00 \text{ kN/m}$  (quota falda estradosso della soletta di fondazione)

$P3=q_w(z_3)= 55.00 \text{ kN/m}$  (quota falda in asse della soletta di fondazione)

Ed una sottospinta idraulica costante pari a:

$P4=q_w(z_4)= 61.00 \text{ kN/m}^3$  (quota falda intradosso della soletta di fondazione)

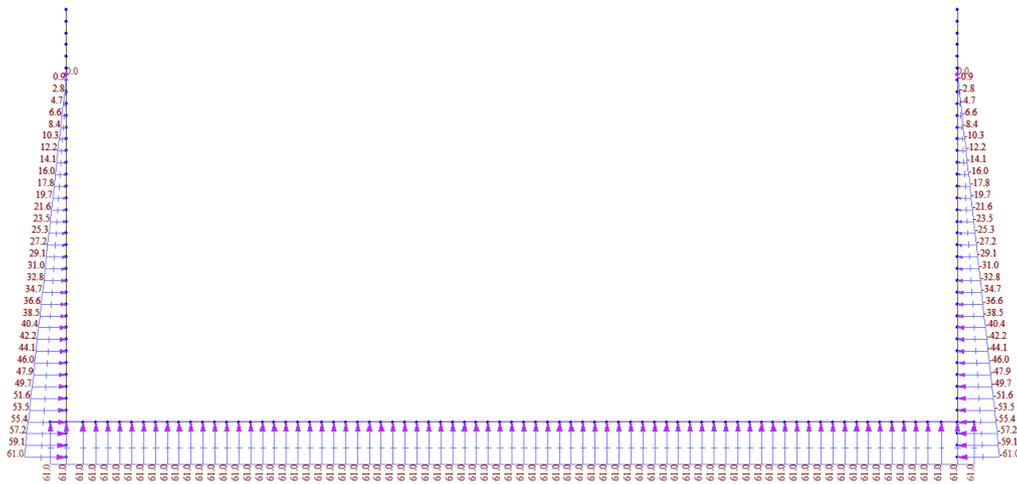


Figura 65 – Spinta idrostatica sui piedritti e sottospinta idraulica

*1.1.1.11 Azioni indotte dagli spostamenti della paratia di diaframmi*

Per tener in conto degli spostamenti della paratia di diaframmi, presente a tergo dei piedritti del muro ad U, applichiamo al modello degli spostamenti imposti variabili con l'altezza.

Il muro Tipo 3 risente degli spostamenti della paratia di diaframmi di Tipo 1.

Il valore della reazione offerta dalla soletta di fondazione nel calcolo delle paratie è pari a - 750 KN in comb. quasi permanente. Di tale valore si tiene conto ai fini del calcolo.

Gli spostamenti applicati ricavati dal modello di calcolo dei diaframmi, sono:

	SPDPX $\Delta x$ permanenti	SPDAX $\Delta x$ accidentali	SPDSX $\Delta x$ sisma
-0.2	12.974	0.623	22.796
-0.4	12.528	0.603	22.048
-0.6	12.084	0.583	21.302
-0.8	11.641	0.562	20.558
-1	11.200	0.542	19.816
-1.2	10.759	0.522	19.078
-1.4	10.320	0.502	18.343
-1.6	9.883	0.482	17.612
-1.8	9.448	0.463	16.886
-2	9.016	0.443	16.164
-2.2	8.587	0.424	15.447
-2.4	8.160	0.404	14.736
-2.6	7.737	0.384	14.032
-2.8	7.319	0.365	13.336
-3	6.903	0.347	12.648
-3.2	6.494	0.328	11.967
-3.4	6.089	0.309	11.296
-3.6	5.689	0.291	10.635
-3.8	5.296	0.274	9.986
-4	4.909	0.256	9.347
-4.2	4.528	0.239	8.721
-4.4	4.156	0.222	8.108
-4.6	3.792	0.205	7.508
-4.8	3.437	0.190	6.923
-5	3.091	0.174	6.353
-5.2	2.755	0.159	5.801

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	108 di 187

-5.4	2.430	0.144	5.265
-5.6	2.117	0.130	4.747
-5.8	1.816	0.115	4.248
-6	1.528	0.102	3.770
-6.2	1.254	0.090	3.313
-6.4	0.994	0.077	2.878
-6.6	0.751	0.066	2.467
-6.8	0.525	0.055	2.080
-7	0.316	0.045	1.719
-7.2	0.125	0.035	1.384

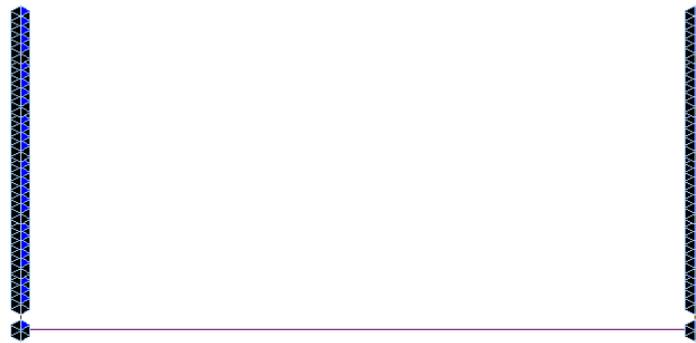


Figura 66 – Spostamenti applicati ai piedritti del Muro

*1.1.1.12 Azioni indotte dalle variazioni termiche*

L'azione termica risulta essere trascurabile, in quanto la struttura è pressochè isostatica e libera di deformarsi senza variare lo stato tensionale interno.

*1.1.1.13 Azioni sismiche*

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera  $VN = 50$  anni
- Classe d'uso dell'opera III  $Cu = 1.5$
- Categoria di sottosuolo C
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.683026°e Long. = 9.767658°)

		$a_g$	$F_0$	$T^*c$
$T_R$	45	0.041	2.427	0.221
$T_R$	75	0.054	2.403	0.237
$T_R$	712	0.143	2.453	0.273

$T_R$	1462	0.182	2.494	0.282
-------	------	-------	-------	-------

dove:

$T_R \rightarrow$  tempo di ritorno;

$a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^* \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

		$a_{max}$
$T_R$	45	0.061
$T_R$	75	0.080
$T_R$	712	0.214
$T_R$	1462	0.271

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. 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. I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove :

$a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

		$K_h$	$K_v$
$T_R$	45	0.061	0.031
$T_R$	75	0.080	0.040
$T_R$	712	0.214	0.107

$T_R$	1462	0.271	0.135
-------	------	-------	-------

#### 1.1.1.14 Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

Forze inerzia orizzontali		
$F''_h = F_{0, \text{pedritti}}$	3.2	kN/m <sup>2</sup>

Forze inerzia verticali		
$F''_h = F_{0, \text{pedritti}}$	1.6	kN/m <sup>2</sup>

Base

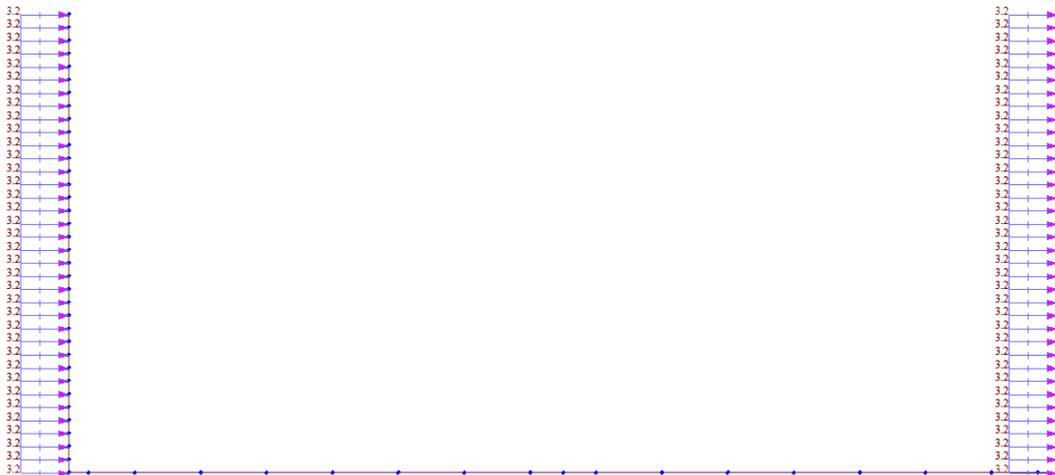


Figura 67: Forza inerziale orizzontale

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	111 di 187

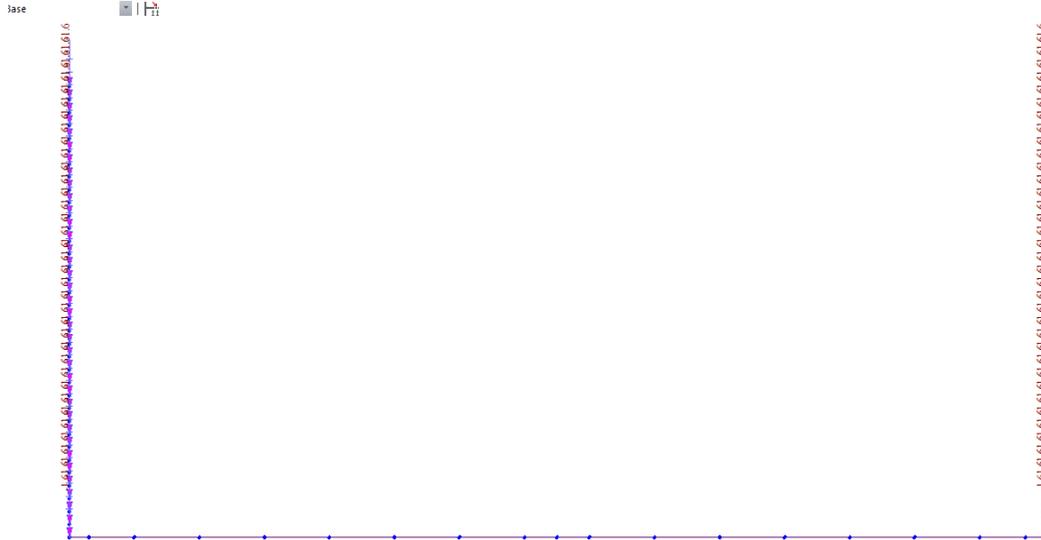


Figura 19: Forza inerziale verticale

#### 4.5.3. *COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI*

Per i calcoli strutturali dell'opera sono state considerate le seguenti combinazioni di carico:

	SLU 1	SLU 2	SLU 3
PP	1.35	1.35	1.35
SPW	1	1.35	1.35
SPDPX	1	1.35	1.35
SPDAX	1	1	1.50

	RARA 1
PP	1
SPW	1
SPDPX	1
SPDAX	0.75

	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLV 4
PP	1	1	1	1
SPW	1	1	1	1
SPDPX	1	1	1	1
SPDSX	1	1	1	1
INERZIEH	1	0.3	1	-0.3
SISVER	0.3	1	-0.3	1

Di seguito si riportano gli involuipi dei diagrammi delle sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative ai tre stati limite considerati (ogni figura presenta i due modelli).

Per la sovrapposizione degli effetti, al termine di questo paragrafo, le sollecitazioni dei due modelli verranno sommate al fine di ottenere le sollecitazioni globali agenti sul muro ad U .



Figura 68: Inviluppo N – SLU (modello1)



Figura 69: Inviluppo N – SLU (modello 2)

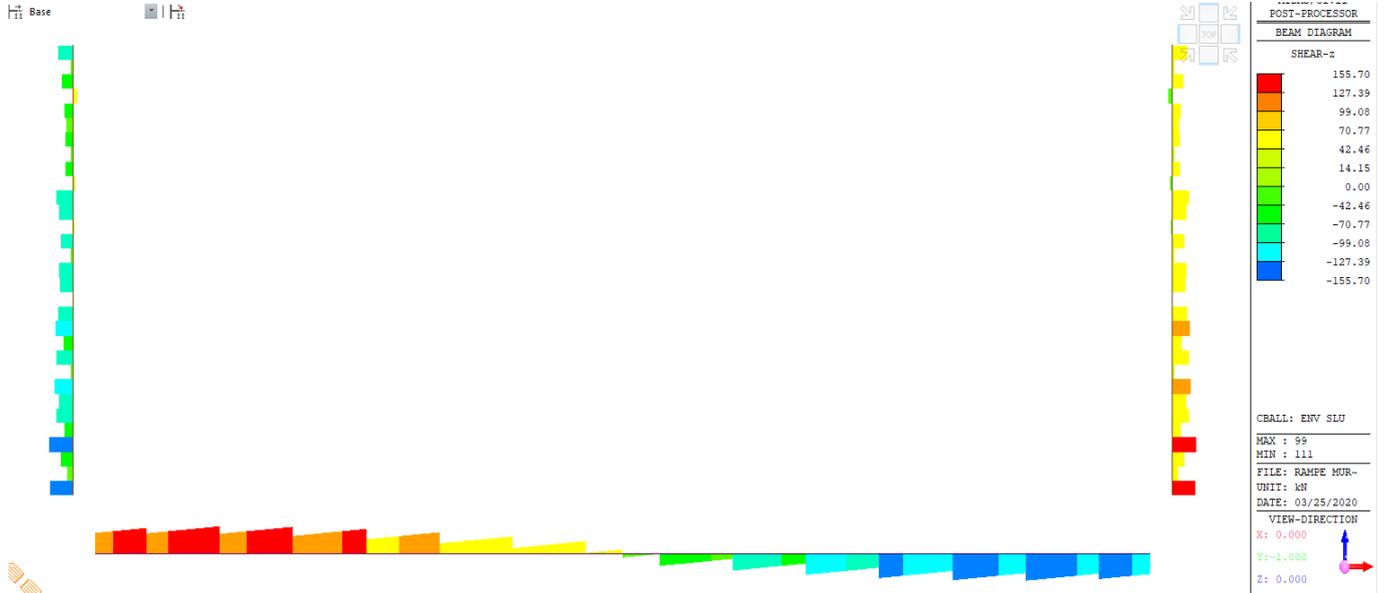


Figura 70: Inviluppo T – SLU (modello 1)

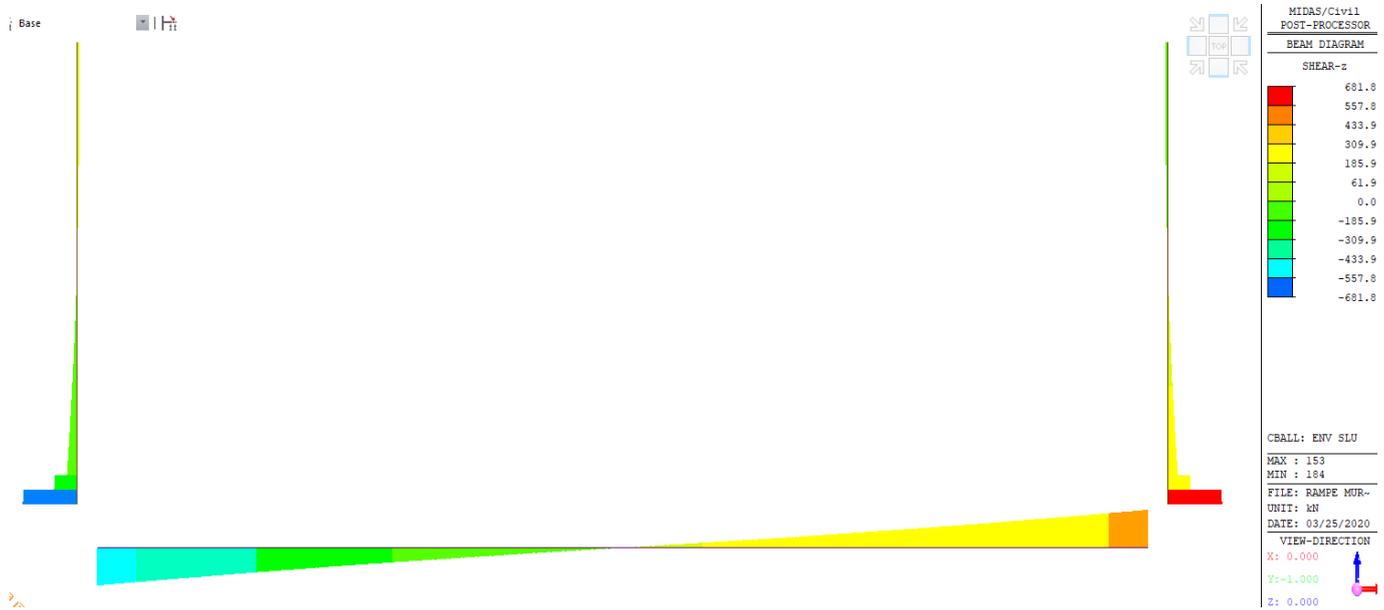


Figura 71: Inviluppo T – SLU (modello 2)



Figura 72: Involuppo M – SLU (modello 1)

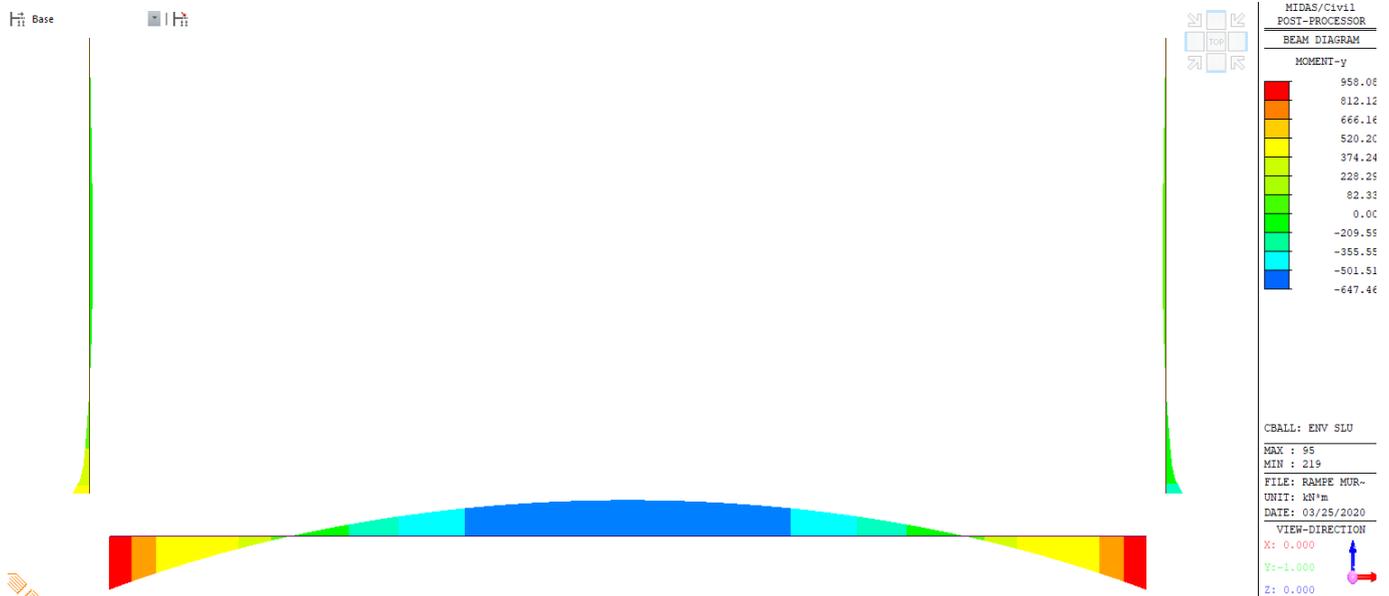


Figura 73: Involuppo M – SLU (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	116 di 187



Figura 74: Involuppo N – SLV (modello 1)



Figura 75: Involuppo N – SLV (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	117 di 187

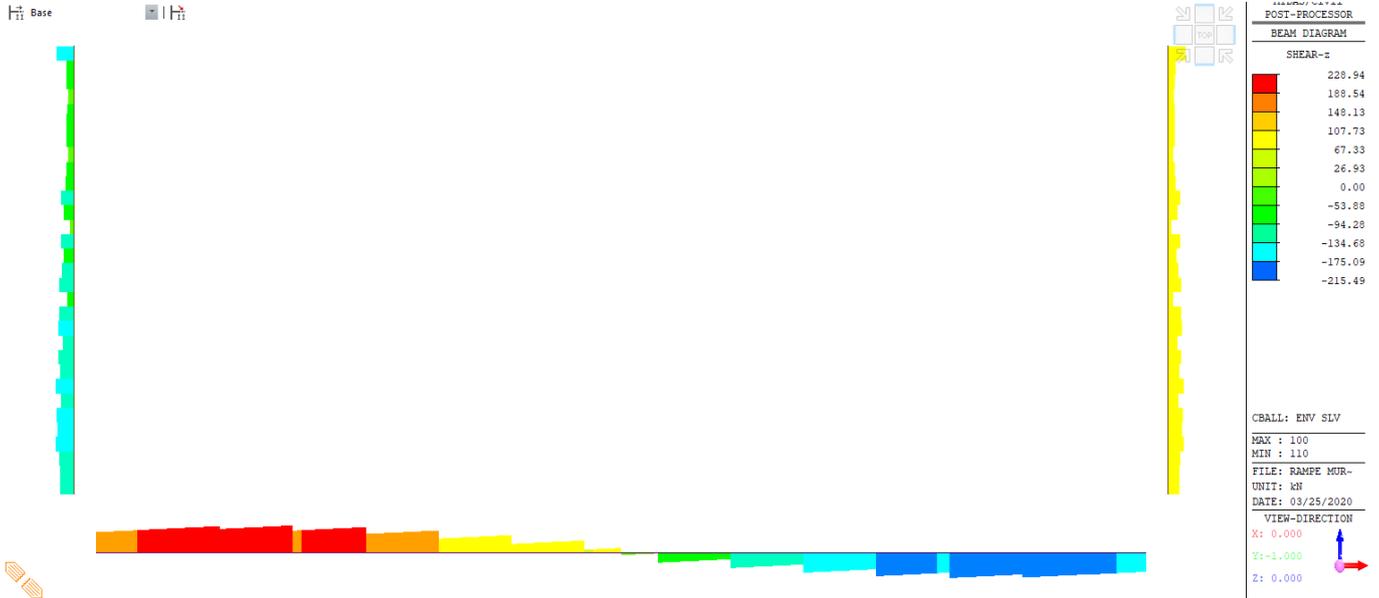


Figura 76: Inviluppo T – SLV (modello 1)

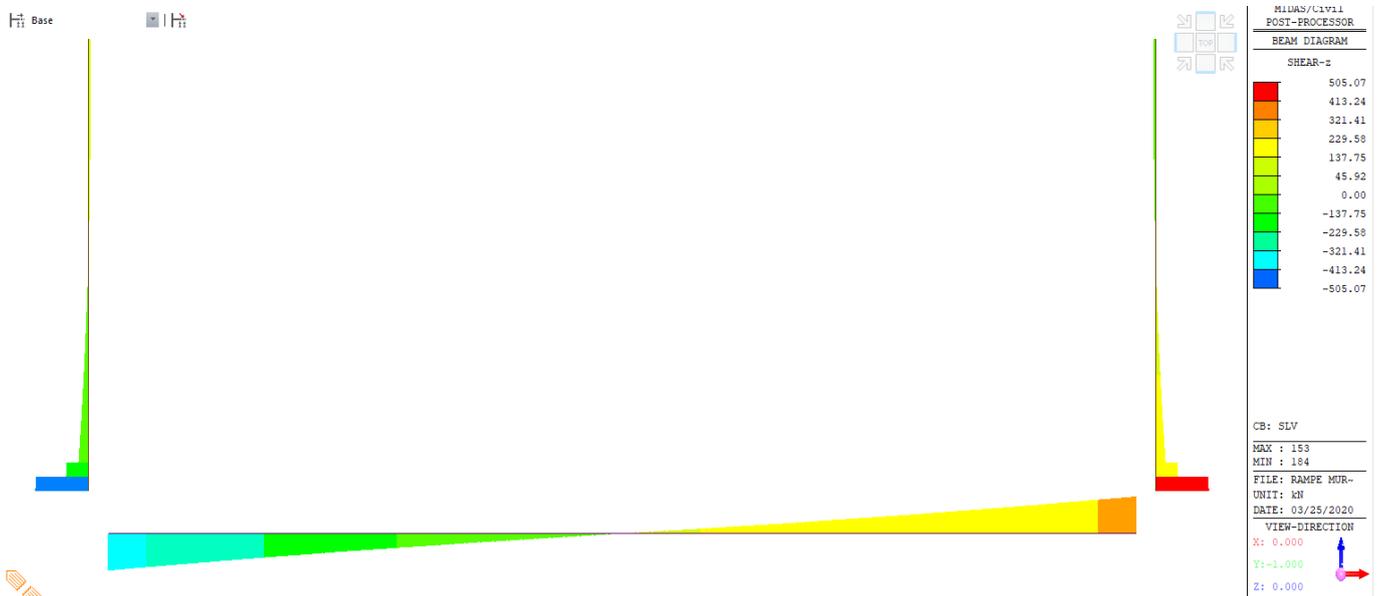


Figura 77: Inviluppo T – SLV (modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	118 di 187



Figura 78: Inviluppo M– SLV (modello 1)

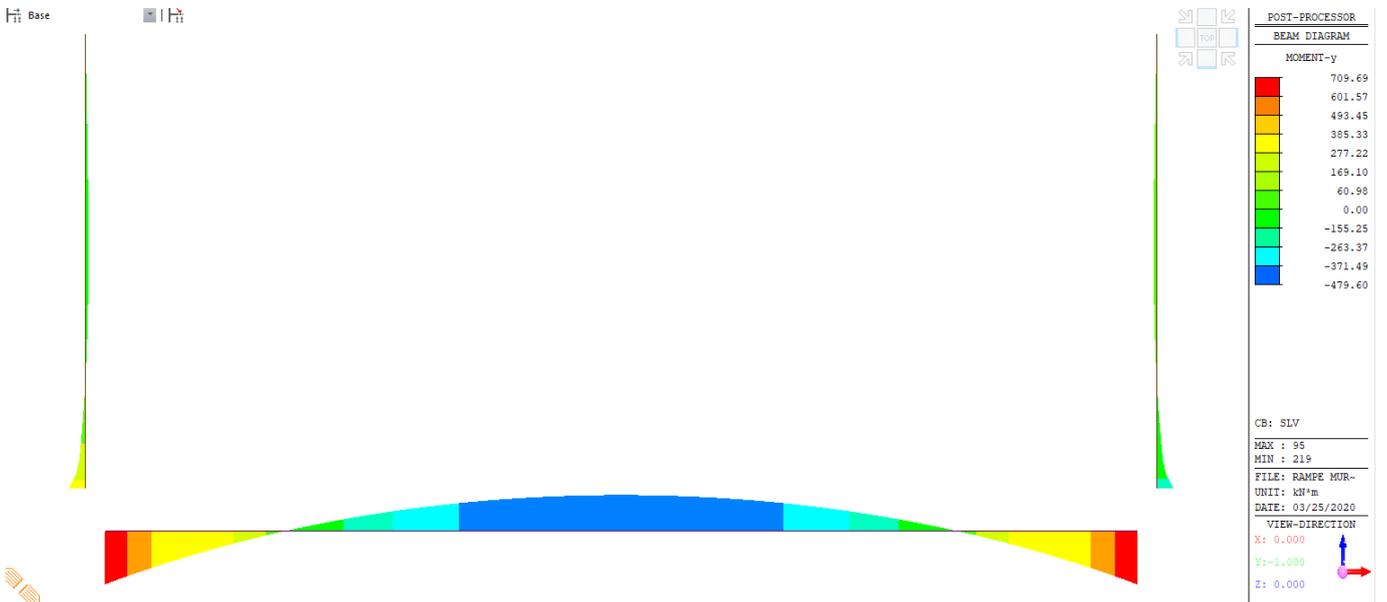


Figura 79: Inviluppo M– SLV (modello 2)



Figura 80: Inviluppo N – SLE RARA(modello 1)



Figura 81: Inviluppo N – SLE RARA(modello 2)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	120 di 187

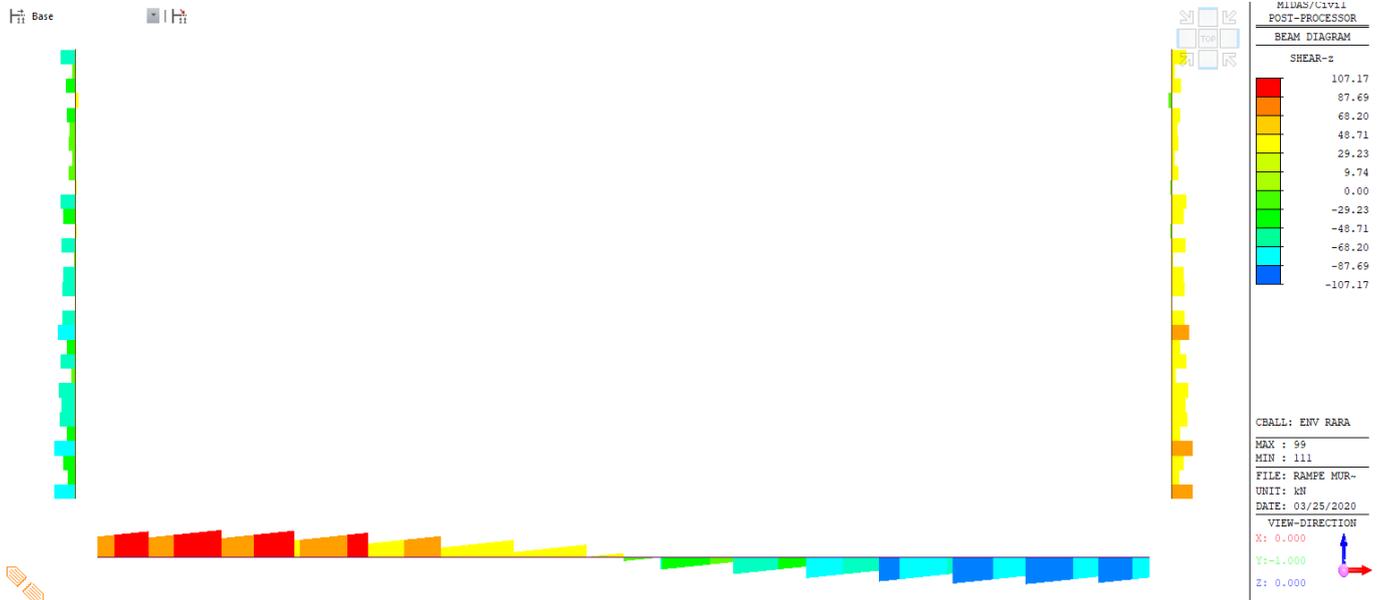


Figura 82: Inviluppo V – SLE RARA(modello 1)

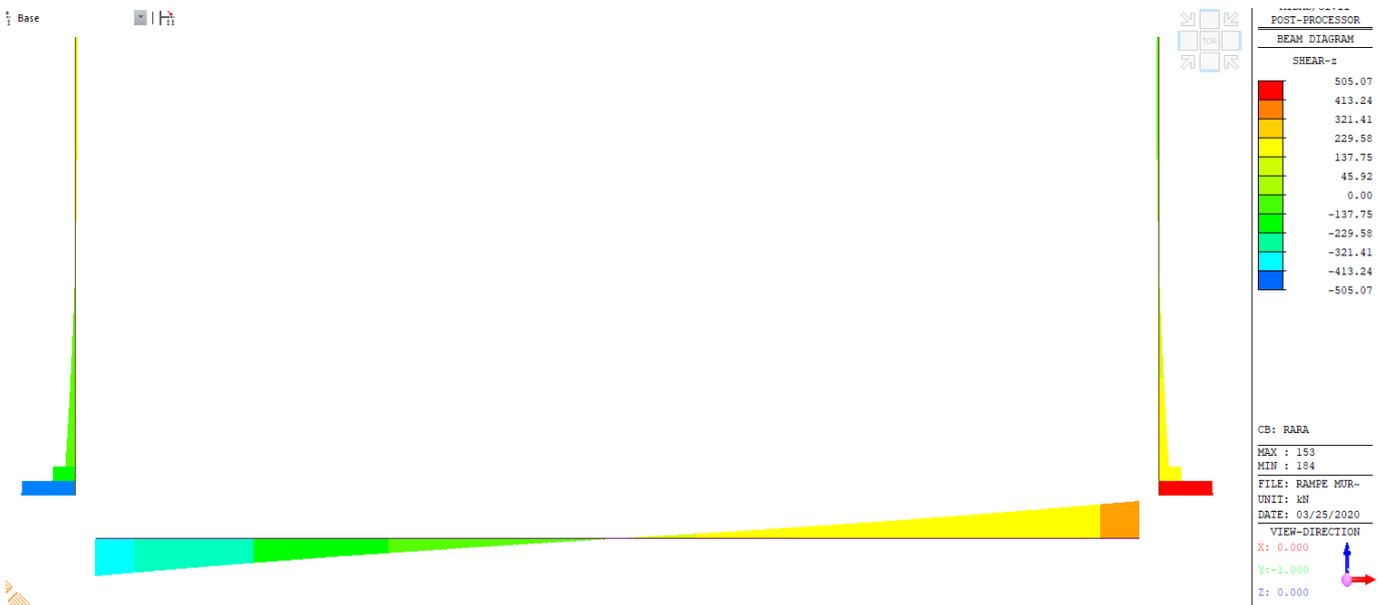


Figura 83: Inviluppo V – SLE RARA(modello 2)



Figura 84: Involuppo M – SLE RARA (modello 1)

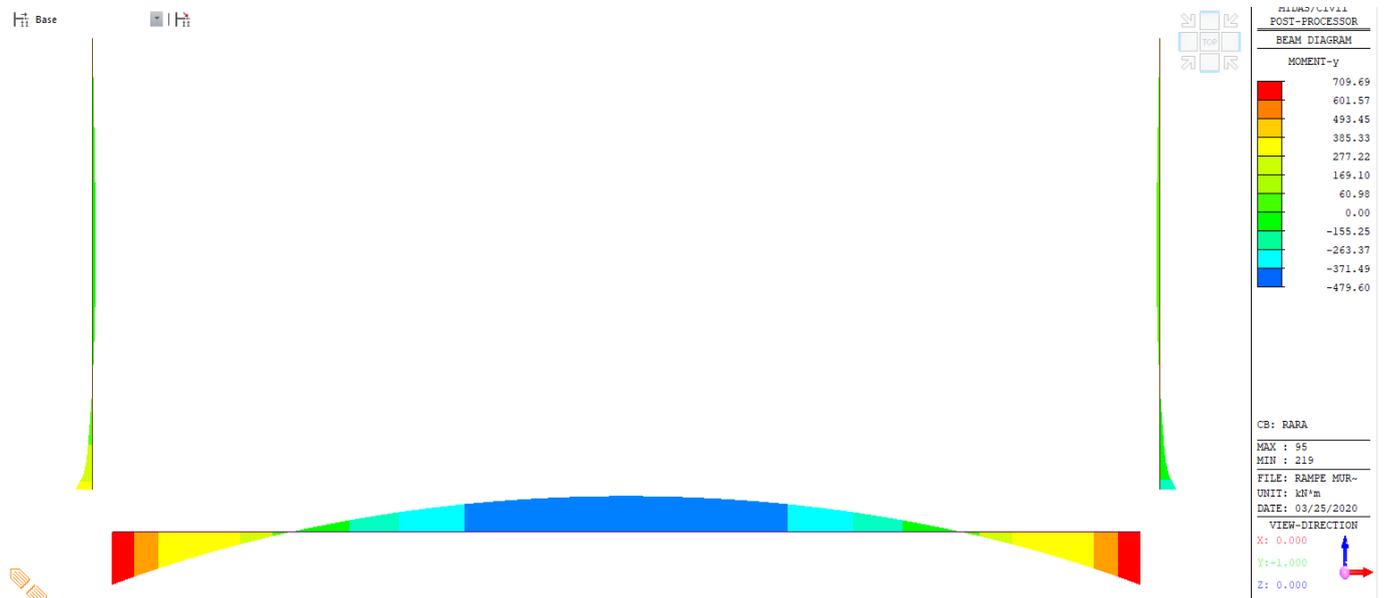


Figura 85: Involuppo M – SLE RARA (modello 2)

Le sezioni verificate sono le seguenti:

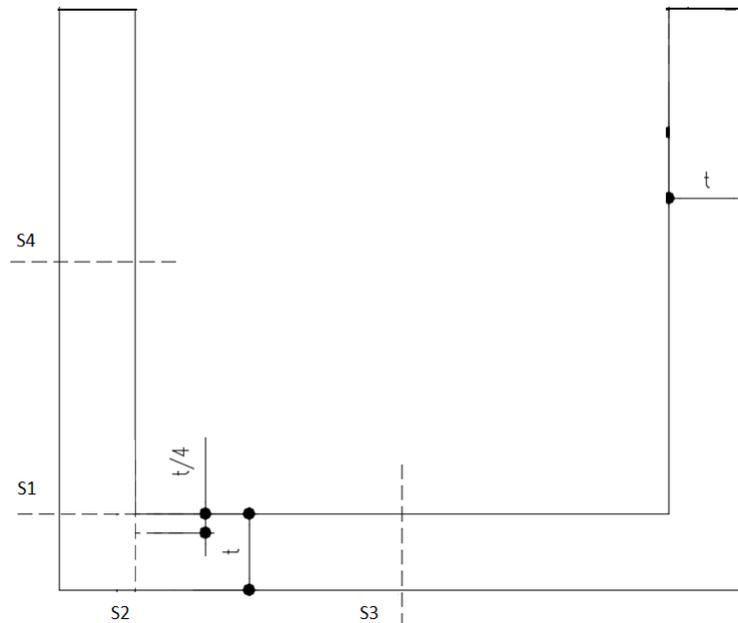


Figura 86: Sezioni di verifica

Qui a seguire vengono riportate le sollecitazioni totali per ogni sezione investigata:

sezione S1 - base piedritto (parete verticale)							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-130	-134	350	ENV SLU	-520	-681	303
ENV SLV	-96	-121	620	ENV SLV	-386	-505	224
ENV RARA	-96	-82	236	ENV RARA	-386	-505	224
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-650	-815	653				
ENV SLV	-482	-626	844				
ENV RARA	-482	-587	460				

sezione S2 - estremità fondazione							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-513	146	1036	ENV SLU	-290	-477	958
ENV SLV	-6392	192	2067	ENV SLV	-215	-353	710
ENV RARA	-304	101	741	ENV RARA	-215	-353	710
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1553	-331	1994				
ENV SLV	-7357	-161	2777				
ENV RARA	-1269	-252	1451				

\*si somma -750 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

sezione S3 - fondazione in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-513	0	420	ENV SLU	-290	0	-650
ENV SLV	-6392	0	920	ENV SLV	-215	0	-480
ENV RARA	-304	0	250	ENV RARA	-215	0	-480
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1553	0	-230				
ENV SLV	-7357	0	440				
ENV RARA	-1269	0	-230				

\*si somma -750 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

sezione S4 - piedritto in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-68	-71	115	ENV SLU	-520	-18	-74
ENV SLV	-51	-90	230	ENV SLV	-386	-3	-40
ENV RARA	-51	-50	76	ENV RARA	-386	-3	-40
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-588	-89	41				
ENV SLV	-437	-93	190				
ENV RARA	-437	-53	36				

#### 4.5.4. Verifiche

#### 4.5.5. Verifiche a flessione

##### 4.5.5.1 Sezione 1 - base piedritto (parete verticale)

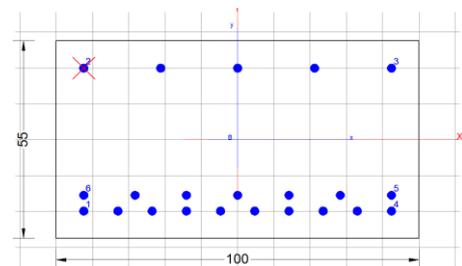
#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-650	-815	653
ENV SLV	-482	-626	844
ENV RARA	-482	-587	460

Armatura lato esterno  $\Phi$  24/10 +  $\Phi$  24/20

Armatura lato interno  $\Phi$  24/20

Armatura a taglio  $\Phi$  14/(20x20)



#### DATI GENERALI

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	Sezione generica di Trave
Percorso sollecitazione:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Molto aggressive
Riferimento alla sismicità:	Assi x,y principali d'inerzia
	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	126 di 187

Coeff. Aderenza istantaneo  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 1.00  
 Coeff. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50  
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-27.5
2	-50.0	27.5
3	50.0	27.5
4	50.0	-27.5

**DATI BARRE ISOLATE**

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.4	-19.9	24
2	-42.4	19.9	24
3	42.4	19.9	24
4	42.4	-19.9	24
5	42.4	-15.5	24
6	-42.4	-15.5	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	3	24
3	5	6	5	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x

N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	650.00	653.00	0.00	0.00	0.00
2	482.00	844.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	127 di 187

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	482.00	460.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	650.00	653.00	0.00	650.18	1273.16	0.00	1.93	76.9(9.9)
2	N	482.00	844.00	0.00	482.20	1251.39	0.00	1.48	76.9(9.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.384	-50.0	27.5	0.00204	-42.4	19.9	-0.00560	-42.4	-19.9
2	0.00350	0.362	-50.0	27.5	0.00195	-42.4	19.9	-0.00618	-42.4	-19.9

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	128 di 187

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000192057	-0.001781579	0.384	0.921
2	0.000000000	0.000204182	-0.002114997	0.362	0.892

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	9.92	50.0	27.5	-137.4	33.0	-19.9	1000	45.2

Aperture fessure per combinazione RARA (W2<0.3) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.131 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 308 mm
Area efficace = 1000 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 550$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 74$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$	Ø	24 = 45.24 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 5$	Ø	24 = 22.62 cm <sup>2</sup>
$d = 476$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 18.13$	MPa	resist. di calcolo	67.86 cm <sup>2</sup>		

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

$$N_{ed} = -650.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 815.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.648 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.419$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.014 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -1.18 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 420.8 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 283.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 420.8 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

$$\theta = 22.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0 \quad \circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \quad 14 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.385 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 1596.8 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.065 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1437.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1437.0 > 815.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.8$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

4.5.5.2 Sezione 2 - estremità in fondazione

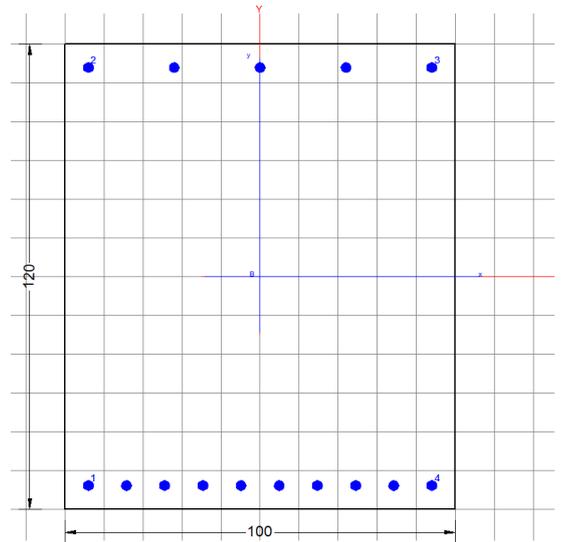
**Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-1553	-331	1994
ENV SLV	-7357	-161	2777
ENV RARA	-1269	-252	1451

Armatura inferiore	Φ 26/10
Armatura superiore	Φ 26/20
Armatura a taglio	Φ 12/(40x40)

**DATI GENERALI**

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
combinazione sismica	Sezione generica di Trave di fondazione in
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00	

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	131 di 187

Coeff. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50  
Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-60.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	-60.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-52.5	26
2	-44.0	52.5	26
3	44.0	52.5	26
4	44.0	-52.5	26

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	3	26

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1553.00	1994.00	0.00	0.00	0.00
2	7357.00	2777.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	132 di 187

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	1269.00	1451.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.7 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	1553.00	1994.00	0.00	1552.79	2947.25	0.00	1.47	53.1(24.0)
2	S	7357.00	2777.00	0.00	7357.16	4089.25	0.00	1.44	53.1(24.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.201	50.0	60.0	0.00234	44.0	52.5	-0.01392	-44.0	-52.5
2	0.00350	0.647	50.0	60.0	0.00314	44.0	52.5	-0.00191	-44.0	-52.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000154817	-0.005789001	0.201	0.700
2	0.000000000	0.000048076	0.000615430	0.647	1.000

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	8.06	50.0	60.0	-168.5	-24.4	-52.5	1850	53.1

Aperture fessure per combinazione RARA (W2<0.3) :

**Apertura fessure**

Apert. fessure = 0.192 mm

Apert. limite = 990.000 mm

Dist. fessure = 365 mm

Area efficace = 1850 cm<sup>2</sup>

Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1200$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 75$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 10$	$\emptyset 26$	$= 53.09 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 1125$	mm altezza utile	$A_{sl,3} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$53.09 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = 1553.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 330.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.422 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.297$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.005 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 1.29 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 218.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 115.3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 218.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

$$\theta = 22.8^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con } n^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2 \quad \text{passo } 40 \text{ cm} = 0.057 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha \quad V_{Rsd} = 533.0 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 7.08 \text{ MPa resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.000 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 2562.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 533.0 > 330.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.6$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 4.5.5.3 Sezione 3 - fondazione in mezzaria

#### **Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)**

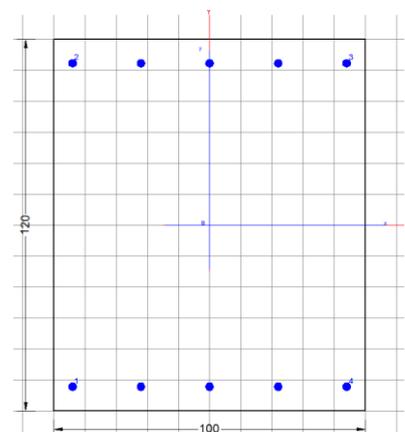
sezione S3 - fondazione in mezzaria							
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 1				Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Modello 2			
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]	Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-513	0	420	ENV SLU	-290	0	-650
ENV SLV	-6392	0	920	ENV SLV	-215	0	-480
ENV RARA	-304	0	250	ENV RARA	-215	0	-480
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1553	0	-230				
ENV SLV	-7357	0	440				
ENV RARA	-1269	0	-230				

\*si somma -750 kN=forza di compressione, l'effetto del puntello che genera la soletta, nei confronti della paratia di diaframmi

Causalmente si usano i valori di momento del Modello n.2.

Armatura superiore  $\Phi$  26/20

Armatura inferiore  $\Phi$  26/20



#### DATI GENERALI

Metodo di calcolo resistenza:	Descrizione Sezione:
Tipologia sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
sismica	Sezione generica di Trave di fondazione in combinazione
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	136 di 187

Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-60.0
2	-50.0	60.0
3	50.0	60.0
4	50.0	-60.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-52.3	24
2	-44.0	52.3	24
3	44.0	52.3	24
4	44.0	-52.3	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	24
2	1	4	3	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	137 di 187

Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	1553.00	-650.00	0.00	0.00	0.00
2	7357.00	-480.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	1269.00	-560.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	1553.00	-650.00	0.00	1552.89	-1764.72	0.00	2.71	22.6(24.0)
2	N	7357.00	-480.00	0.00	7357.07	-3375.89	0.00	7.03	22.6(24.0)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.131	-50.0	-60.0	0.00167	-44.0	-52.3	-0.02325	44.0	52.3

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	138 di 187

2      0.00350      0.572      -50.0      -60.0      0.00308      -44.0      -52.3      -0.00262      44.0      52.3

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c      Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d      Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid.      Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000238165	-0.010789877	0.131	0.700
2	0.000000000	-0.000054532	0.000228066	0.572	1.000

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver      S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max      Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max      Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min      Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min      Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.      Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.      Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.63	-50.0	-60.0	-35.1	22.0	52.3	1700	22.6

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W2 < 0.3$ ):

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.056 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 528 mm
Area efficace = 1700 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

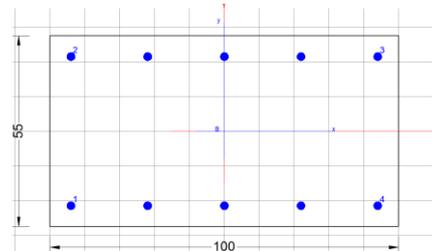
Condizione soddisfatta

4.5.5.4 Sezione 4 - mezzeria piedritto

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-588	-89	41
ENV SLV	-437	-93	190
ENV RARA	-437	-53	36

Armatura lato interno	Φ 24/20
Armatura lato esterno	Φ 24/20
Armatura a taglio	Φ 12/(40x40)



**DATI GENERALI**

Descrizione Sezione:

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :		1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2 :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	140 di 187

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-27.5
2	-50.0	27.5
3	50.0	27.5
4	50.0	-27.5

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-21.5	24
2	-44.0	21.5	24
3	44.0	21.5	24
4	44.0	-21.5	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	3	24

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	588.00	41.00	0.00	0.00	0.00
2	437.00	190.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	141 di 187

N°Comb.	N	Mx	My
1	437.00	36.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.6 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	588.00	41.00	0.00	587.79	539.81	0.00	13.17	22.6(9.9)
2	S	437.00	190.00	0.00	436.76	507.41	0.00	2.67	22.6(9.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.154	-50.0	27.5	0.00072	-44.0	21.5	-0.01924	44.0	-21.5
2	0.00350	0.145	-50.0	27.5	0.00054	-44.0	21.5	-0.02071	-44.0	-21.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000464087	-0.009262396	0.154	0.700
2	0.000000000	0.000494019	-0.010085536	0.145	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	142 di 187

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.29	-50.0	27.5	3.8	22.0	-21.5	----	----

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W_2 < 0.3$ ) :

Apertura fessure
Sezione non fessurata

Condizione soddisfatta

**Verifica di resistenza a taglio**

**VERIFICA A TAGLIO DELLA SEZIONE IN C.A. SECONDO T.U. 14/01/2008 § 4.1.2.1.3**

**• Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 550$	mm	altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 74$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 32$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 24$	$= 22.62 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 476$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa	resist. di calcolo			$22.62 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -437.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 93.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.648 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.419$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.005 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.79 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 290.0 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 256.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 290.0 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

$$\theta = 22.8^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

$$\alpha = 90.0^\circ \quad \text{inclinaz. staffe}$$

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \text{ passo } 40 \text{ cm} = 0.071 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 281.9 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 9.07 \text{ MPa} \quad \text{resist. di calcolo ridotta}$$

$$\alpha_c = 1.044 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1448.4 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 281.9 > 93.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 3.0$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 4.5.6. Verifiche a deformazione

Si esegue la verifica a inflessione del muro a “U” secondo quanto riportato nell’EC 2 cap7.4 §7.4.1, la verifica risulta essere soddisfatta se l’inflessione calcolata di travi a sbalzo soggetti a carichi quasi permrane è inferiore a 1/250 della luce.

Nel caso in esame, considerando il piedritto a sbalzo la luce di calcolo vale 2H, quindi la luce per il piedritto vale:

$$L = 2 * H = 2 * 7300 = 14600 \text{ mm}$$

Per cui si ricava il valore di inflessione massimo ammissibile:

$$f_{max} = L / 250 = 14600 / 250 = 58.4 \text{ mm}$$

Dal modello si ricava una deformazione in testa del piedritto di:

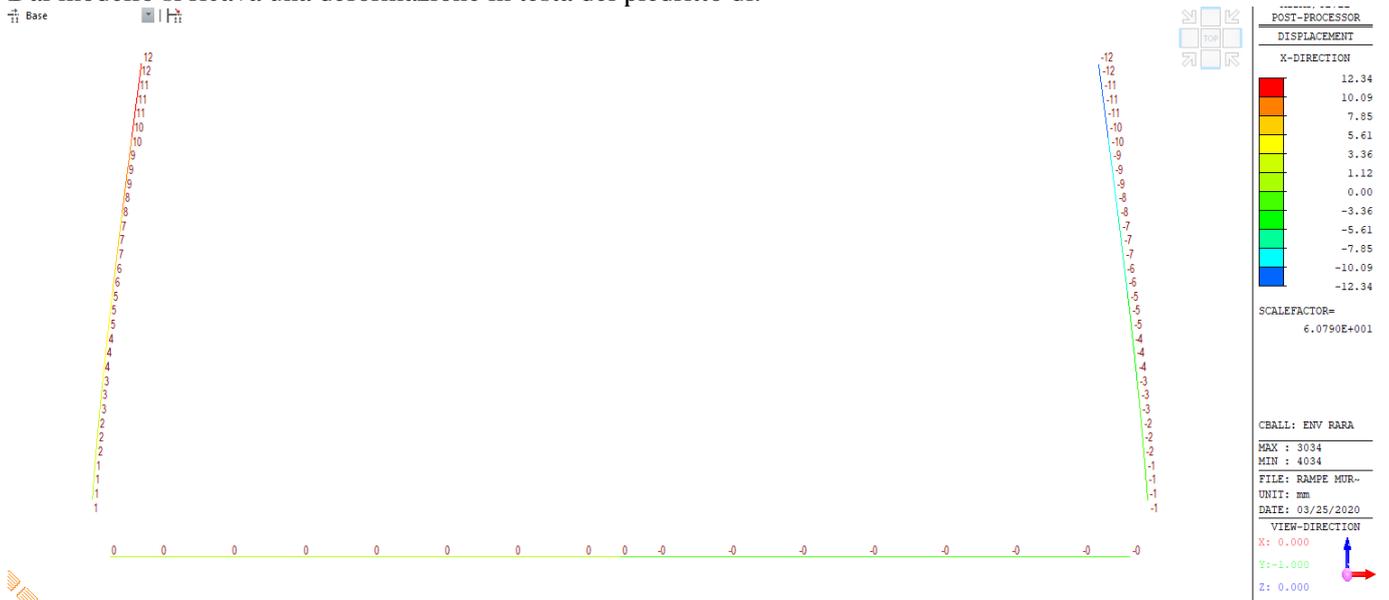


Figura 4-87: Deformazione muro ad “U” del Modello 1

Il seguente valore viene moltiplicato per 3 per tenere conto delle deformazioni a tempo infinito.

$$f_u = 3 * 12 = 36 \text{ mm} < 58.4 \text{ mm} = f_{max}$$

**Verificato**

4.5.7. Riepilogo armature – muro tipo 3

Elemento	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
piedritti	mezzaria	φ24/20 int.	Φ 20/20 est.	150 kg/m <sup>3*</sup>
		φ24/20 est.	Φ 20/20 int.	
	nodo inf.	Φ 24/10 + Φ 24/20 est. φ24/20 int.	Φ 20/20 est. Φ 20/20 int.	
soletta inferiore	mezzaria	Φ 26/20 sup.	Φ 20/20 est.	85 kg/m <sup>3*</sup>
		Φ 26/20 inf.	Φ 20/20 int.	
	nodo	Φ 26/20 sup. Φ 26/10 sup.	Φ 20/20 est. Φ 20/10 int.	

\* = le staffe sono state conteggiate tenendo conto di un incremento del 15%

## 5. MURI DI SOSTEGNO

### 5.1. Descrizione delle opere

In questo paragrafo vengono riportate l'analisi e le verifiche geotecniche e strutturali della coppia di muri terminali, in cemento armato, della Rampa SUD del sottopasso SL03. I muri hanno una lunghezza totale circa 20 m, con l'altezza massima di paramento pari a 1.91 m. Viene considerata la sezione di verifica in corrispondenza del punto critico dello sviluppo del muro. La larghezza di fondazione è stata assunta pari a 1.50 m. Per ulteriori indicazioni si rimanda agli elaborati progettuali.

Di seguito si riporta la sezione di verifica per eseguire le verifiche geotecniche e strutturali.

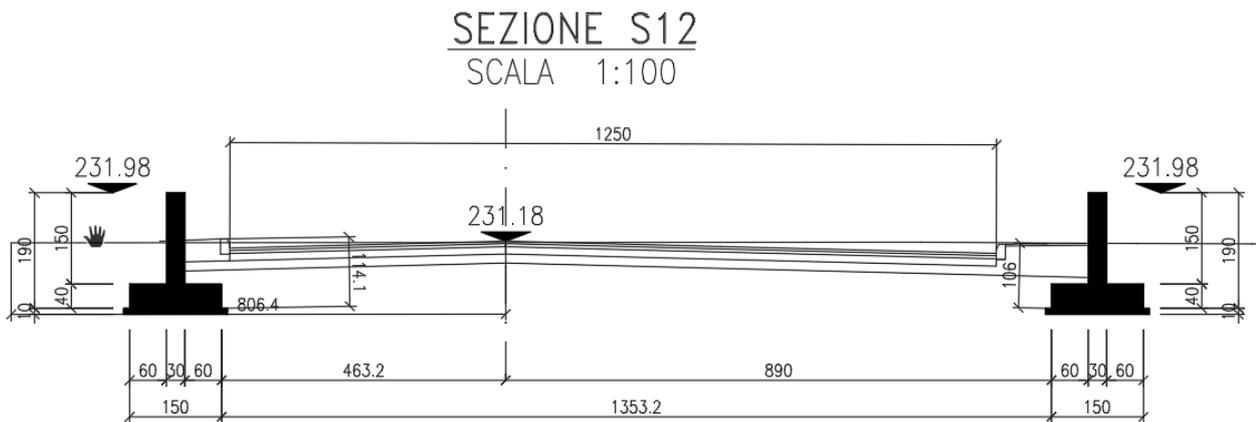


Figura 5-1 sezione di studio

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

## 5.2. Codice Di Calcolo

Dalla la caratteristica di opera in linea il muro è progettato per sezioni.

Le sollecitazioni sono state determinate mediante l'uso del software Max 14.



**Aztec Informatica®**  
 Il Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale  
 Corso Umberto, 43 – 87050  
 Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)  
 tel. e fax 0984.432617 r.a. - 0984.438325

**MAX 14.0** vers. 14.01b  
 Analisi e Calcolo Muri di Sostegno  
 Copyright © 1993, 2018 Aztec Informatica s.r.l. - Tutti i diritti riservati

Copia concessa in licenza d'uso a  
**NET ENGINEERING S.P.A. \* AIR011090**

- RC-SEC 2018



### Attivazione

Dopo aver acquistato il software sara' comunicato tramite email il codice di attivazione (License Key). Lo stesso codice si trova nella propria area riservata.

NET Engineering       edp@netspa.it

HJW8Q-EWEA3-PF2LE-6DWDC

Dopo aver inserito: EMAIL e LICENSE KEY cliccare su ATTIVA. E' richiesta una connessione ad internet.

V. 18.8.1008

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

### 5.3. Analisi dei carichi

I carichi presi in esame nel progetto delle suddette opere di sostegno sono:

- Carichi permanenti strutturali;
- Carichi permanenti non strutturali;
- Carico variabile per traffico ferroviario;
- Azione sismica

#### 5.3.1. Carichi permanenti strutturali - G1

I carichi permanenti strutturali si riferiscono ad un metro lineare di estensione del muro di sostegno e sono:

- peso proprio dell'opera di sostegno;
- spinta del terreno a monte dell'opera di sostegno.

Il peso proprio dell'opera di sostegno, corrisponde ad un carico verticale e dipende esclusivamente dalle dimensioni geometriche dell'opera e dal peso specifico del calcestruzzo armato:

$$\gamma_{cls} = 25.00 \text{ kN/m}^3$$

La spinta del terreno a monte dell'opera di sostegno si calcola in accordo con la teoria di Coulomb. La spinta attiva del terrapieno in condizioni statiche vale:

$$S_{G1} = \gamma_t \cdot H^2 / 2 \cdot k_a$$

Dove:

- $\gamma_t$  è il peso specifico del terreno a monte del paramento (nel caso specifico si riferisce al rilevato)
- H è la somma tra l'altezza dell'opera di sostegno e l'eventuale spessore dello strato di terreno a monte dell'opera, in corrispondenza della superficie ideale di spinta;
- $k_a$  è il coefficiente di spinta attiva valutato secondo l'espressione fornita da Coulomb.

Per una pendenza del terreno a monte, inferiore all'angolo di attrito del terreno, il coefficiente di spinta secondo la teoria di Coulomb dipende dall'angolo di attrito del terreno " $\varphi$ ", dall'angolo di inclinazione del terreno a monte della superficie ideale di spinta " $\varepsilon$ ", dall'angolo di attrito terreno/paramento " $\delta$ " e dall'angolo di inclinazione che il paramento forma con il piano orizzontale " $\psi$ ". Il coefficiente di spinta attiva vale:

$$k_a = \frac{\sin^2(\psi + \varphi)}{\sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \delta) \cdot \left[ 1 - \frac{\sqrt{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}}{\sqrt{\sin(\psi - \delta) \cdot \sin(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

#### 5.3.2. Carico variabile per traffico - Q

Il carico associato al traffico stradale è stato posto pari a 20 kN/m<sup>2</sup>.

### 5.3.3. Azione Sismica

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera  $V_N = 50$  anni
- Classe d'uso dell'opera III  $C_u = 1.5$
- Categoria di sottosuolo C
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.683026°e Long. = 9.767658°)

		$a_g$	$F_0$	$T^*c$
$T_R$	45	0.041	2.427	0.221
$T_R$	75	0.054	2.403	0.237
$T_R$	712	0.143	2.453	0.273
$T_R$	1462	0.182	2.494	0.282

dove:

$T_R \rightarrow$  tempo di ritorno;

$a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*c \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

		$a_{max}$
$T_R$	45	0.061
$T_R$	75	0.080
$T_R$	712	0.214
$T_R$	1462	0.271

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. 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. I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove :

$a_{\max}$  =  $S_s \cdot S_t \cdot a_g$  (accelerazione orizzontale massima attesa al sito);

$g$  = accelerazione di gravità;

$\beta_m = 0.38$

$k_h = 0.0806$ ;  $k_v = 0.0403$

#### 5.3.4. Spinta del terreno in condizioni sismiche

Per muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto ove agisce la spinta in condizioni statiche. Essendo questa circostanza applicabile ai muri esaminati, la spinta a tergo del muro in condizioni sismiche è stata valutata sostituendo al coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche  $K_a$  il coefficiente  $K_{as}$  (coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche):

$$p'_a(z) = [\sigma'_v(z) + q] \cdot K_{as} - 2c' \sqrt{K_{as}}$$

- per  $\beta \leq \phi - \theta$ :

$$k_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

- per  $\beta > \phi - \theta$ :

$$k_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

in cui:

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno

$\beta$  = inclinazione del terreno a monte del muro rispetto all'orizzontale (positivo per terreno che sale allontanandosi dal muro)

$\psi$  = inclinazione del muro rispetto all'orizzontale ( $>90^\circ$  per parete inclinata verso valle)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

$\delta$  = angolo di attrito muro-terreno

$\theta$  = angolo dipendente dalla accelerazione sismica e definito dalle seguenti espressioni:

$$\theta = \text{tg}^{-1} (k_h / (1 \pm k_v))$$

essendo  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente i coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale.

Detta  $\varepsilon$  l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e  $\beta$  l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta  $S'$  considerando un'inclinazione del terrapieno e della parete pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove  $\theta = \text{arctg}(k_h / (1 \pm k_v))$  essendo  $k_h$  il coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di  $k_h$ .

In presenza di falda a monte,  $\theta$  assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \text{arctg}[(\gamma_{\text{sat}} / (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)) * (k_h / (1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \text{arctg}[(\gamma / (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)) * (k_h / (1 \pm k_v))]$$

Detta  $S$  la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente  $A$  vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente  $A$  si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di  $\theta$ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente  $A$  viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove  $W$  è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

#### 5.4. Combinazioni dei carichi e valutazione dei coefficienti di sicurezza

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (§ 2.5.3 delle NTC 2018):

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

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo “+” vuol dire “combinato con”.

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{G1}$  e  $\gamma_{Q1}$  sono dati nel § 2.6.1.

Le condizioni elementari di carico sono opportunamente combinate per determinare le condizioni più sfavorevoli per le verifiche strutturali e geotecniche. Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali e geotecnici è stato adottato l'Approccio2, i cui coefficienti di sicurezza per azioni e resistenze si riferiscono ad A1+M1+R3.

Nella tabella che segue si riportano i coefficienti parziali per le azioni.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_F$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$ .

Per la valutazione delle sollecitazioni allo SLU, nel foglio di calcolo che si utilizza per il dimensionamento della struttura non si ha distinzione tra carichi permanenti strutturali  $G_1$  e non strutturali  $G_2$ . In fase di calcolo si

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

considera il carico G2 come compitamente definito, pertanto si adotta lo stesso coefficiente previsto per i carichi strutturali G1.

## 5.5. Criteri Di Analisi

### 5.5.1. Verifiche geotecniche

Le verifiche geotecniche prese a riferimento per lo studio dei muri di sostegno in esame sono le seguenti:

- Verifiche al ribaltamento;
- Verifica allo scorrimento;
- Verifiche al carico limite della fondazione.
- Verifica di stabilità globale
- Verifica dei cedimenti

L'approccio di verifica adottato per le verifiche geotecniche in condizioni statiche è l'approccio A1+M1+R3. I coefficienti parziali per le azioni sono riportati al paragrafo precedente.

Nella tabella che segue si riportano i coefficienti parziali per i materiali.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Per le verifiche geotecniche in condizioni statiche, si adottano i seguenti coefficienti di sicurezza.

Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Per le verifiche geotecniche in condizioni sismiche, si adottano i seguenti coefficienti di sicurezza.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

Tab. 7.11.III - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche degli stati limite (SLV) dei muri di sostegno.

Verifica	Coefficiente parziale $\gamma_R$
Carico limite	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

A seguire si riporta una breve descrizione delle verifiche geotecniche da eseguire per il dimensionamento dei muri di sostegno.

#### Verifica al ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante  $M_r$ ) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante  $M_s$ ) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto  $M_s/M_r$  sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_r$ .

Il momento ribaltante  $M_r$  è dato dalla componente orizzontale della spinta  $S$ , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte.

Per quanto riguarda la componente verticale della spinta essa, in quanto associata ad un'azione esterna ribaltante, comporterà un effetto benefico di riduzione del momento ribaltante solo se l'angolo d'attrito terra-muro  $\delta$  è positivo.

In accordo con il paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC 2018, in condizioni sismiche il coefficiente di spinta per le verifiche a ribaltamento è differente rispetto a quello per le verifiche geotecniche di scorrimento e di carico limite.

#### Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_s$ .

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Tale forza dipende dalla componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione, dalla componente verticale della spinta (vale solo se l'angolo  $\delta$  è positivo) e dall'angolo di attrito terreno fondazione. Non è stato considerato alcun contributo di spinta passiva.

#### Verifica al carico limite di fondazione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

La verifica al carico limite di fondazione è una verifica a rottura del terreno di fondazione. Tale verifica si ritiene soddisfatta se il rapporto tra il carico limite in fondazione  $Q_u$  e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione risulta superiore a  $\eta_q$ .

La verifica di capacità portante verticale si esegue in accordo con le espressioni di Brinch-Hansen del 1970, prendendo a riferimento una condizione di terreno incoerente.

### 5.5.2. Verifiche strutturali

Le verifiche strutturali del muro di sostegno si articolano in verifiche di resistenza allo SLU (si riferiscono alla combinazione fondamentale e alla combinazione sismica) e verifiche allo SLE.

#### Verifica di resistenza a pressoflessione allo SLU

La verifica di resistenza a pressoflessione sugli elementi viene condotta calcolando il momento resistente massimo della sezione in presenza o meno di sforzo assiale di compressione. Il calcolo si basa sull'assunzione dei diagrammi di calcolo a tensione-deformazione del calcestruzzo e dell'acciaio previsti dalla normativa. Tale verifica si eseguono in accordo con le prescrizioni riportate al paragrafo 4.1.2.3.4 delle NTC 2018. La suddetta verifica si ritiene soddisfatta se risulta rispettata la seguente disuguaglianza:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:  $N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;  $M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;  $M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

#### Verifica di resistenza a taglio allo SLU

La verifica di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti si esegue nel rispetto delle prescrizioni riportate al paragrafo 4.1.2.3.5 delle NTC 2018. Per prima cosa si valuta il soddisfacimento delle verifiche considerando elementi strutturali senza armature trasversali resistenti a taglio (paragrafo 4.1.2.3.5.1 delle NTC 2018). Qualora tale verifica non risultasse soddisfatta si procede con il calcolo del taglio resistente considerando il caso di elementi con armature trasversali resistenti al taglio (paragrafo 4.1.2.3.5.2 delle NTC 2018).

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

Se, sulla base del calcolo, non è richiesta armatura al taglio, è comunque necessario disporre un'armatura minima secondo quanto previsto al punto 4.1.6.1.1. E' consentito omettere tale armatura minima in elementi quali solai, piastre e membrature a comportamento analogo, purché sia garantita una ripartizione trasversale dei carichi.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad [4.1.22]$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

$f_{ck}$  espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

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

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{ba} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{ba}$  è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

**4.1.2.3.5.2 Elementi con armature trasversali resistenti al taglio**

La resistenza di progetto a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5 \quad [4.1.25]$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad [4.1.26]$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di progetto a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha \quad [4.1.27]$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di progetto a "taglio compressione" si calcola con

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v \cdot f_{cd} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad [4.1.28]$$

La resistenza di progetto a taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad [4.1.29]$$

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato indicato in § 4.1.2.3.5.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$  area dell'armatura trasversale;

$s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$v f_{cd}$  resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $v = 0,5$ );

$\alpha_c$  coefficiente maggiorativo pari a 1 per membrature non compresse

$$1 + \sigma_{cp} / f_{cd} \quad \text{per } 0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$$

$$1,25 \quad \text{per } 0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$$

$$2,5 (1 - \sigma_{cp} / f_{cd}) \quad \text{per } 0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$$

Le armature longitudinali devono essere dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali ottenute traslando il diagramma dei momenti flettenti di

$$a_1 = (0,9 \cdot d \cdot \text{ctg } \theta) / 2 \quad [4.1.30]$$

lungo l'asse della trave, nel verso meno favorevole.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

### Verifica allo stato limite di fessurazione allo SLE

La verifica allo stato limite di fessurazione si effettua prendendo a riferimento le sollecitazioni associate alla combinazione di carico allo SLE. Tale verifica si effettua in accordo con le prescrizioni riportate al paragrafo 4.1.2.2.4 delle NTC 2018.

#### 4.1.2.2.4 Stato limite di fessurazione

In ordine di severità decrescente, per la combinazione di azioni prescelta, si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione, nel quale la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2} \quad [4.1.13]$$

dove  $f_{ctm}$  è definito nel § 11.2.10.2;

- stato limite di apertura delle fessure, nel quale il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm} \qquad w_2 = 0,3 \text{ mm} \qquad w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

##### 4.1.2.2.4.1 Combinazioni di azioni

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni:

- combinazioni quasi permanenti;
- combinazioni frequenti.

##### 4.1.2.2.4.2 Condizioni ambientali

Ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche e della protezione contro il degrado del calcestruzzo, le condizioni ambientali possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III con riferimento alle classi di esposizione definite nelle *Linee Guida per il calcestruzzo strutturale* emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nonché nella UNI EN 206:2016 .

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

#### 4.1.2.2.4.3 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso.

Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili, si può tener conto della loro minor sensibilità alla corrosione sulla base di documenti di comprovata validità.

#### 4.1.2.2.4.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite		Poco sensibile Stato limite	
				$w_k$		$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

$w_1, w_2, w_3$  sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore  $w_k$  è definito al § 4.1.2.2.4.5.

#### 4.1.2.2.4.5 Verifica dello stato limite di fessurazione

##### Stato limite di decompressione e di formazione delle fessure

Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

##### Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di apertura delle fessure ( $w_k$ ) non deve superare i valori nominali  $w_1, w_2, w_3$  secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.IV.

L'ampiezza caratteristica delle fessure  $w_k$  è calcolata come 1,7 volte il prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_k = 1,7 \epsilon_{sm} \Delta_{sm} \quad [4.1.14]$$

Per il calcolo di  $\epsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati in documenti di comprovata validità.

La verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura.

### Verifica allo stato limite delle tensioni allo SLE

La verifica allo stato limite delle tensioni si effettua prendendo a riferimento le sollecitazioni associate alla combinazione di carico allo SLE. Tale verifica si effettua in accordo con le prescrizioni riportate al paragrafo 4.1.2.2.5 delle NTC 2018.

4.1.2.2.5 Stato limite di limitazione delle tensioni

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

4.1.2.2.5.1 *Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio*

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_{c,max}$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{c,max} \leq 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica} \quad [4.1.15]$$

$$\sigma_{c,max} \leq 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad [4.1.16]$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra prescritti vanno ridotti del 20%.

4.1.2.2.5.2 *Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio*

La tensione massima,  $\sigma_{s,max}$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_{s,max} \leq 0,8 f_{yk} \quad [4.1.17]$$

## 5.6. Risultati

### 5.6.1. Geometria muro e fondazione

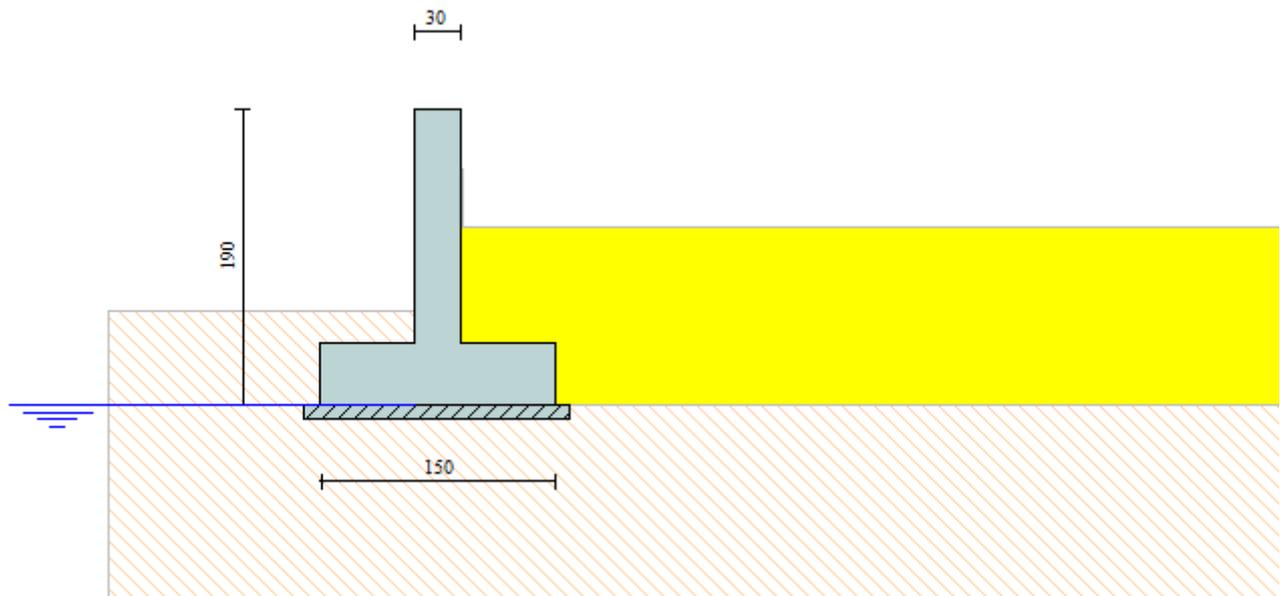


Figura 5-2 – Modello di calcolo

Descrizione	Muro a mensola in c.a.
Altezza del paramento	1.50 [m]
Spessore in sommità	0.30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	0.30 [m]
Inclinazione paramento esterno	0.00 [°]
Inclinazione paramento interno	0.00 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]
<u>Fondazione</u>	
Lunghezza mensola fondazione di valle	0.60 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.60 [m]
Lunghezza totale fondazione	1.50 [m]

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	163 di 187

Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.40 [m]
Spessore magrone	0.10 [m]

### 5.6.2. Modello geotecnico

#### Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
$\gamma_s$	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
$\phi$	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
$\delta$	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
<i>c</i>	Coesione espressa in [kPa]
<i>c<sub>a</sub></i>	Adesione terra-muro espressa in [kPa]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_s$	$\phi$	$\delta$	<i>c</i>	<i>c<sub>a</sub></i>
Rilevato	19.00	19.00	35.00	0.00	0.0	0.0
UG2	19.50	19.50	26.00	26.00	0.0	0.0
UG1	20.00	20.00	35.00	0.00	0.0	0.0

### 5.6.3. Elenco delle condizioni di carico

#### Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

<i>X</i>	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
<i>F<sub>x</sub></i>	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
<i>F<sub>y</sub></i>	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
<i>M</i>	Momento espresso in [kNm]

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	164 di 187

$X_i$  Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]

$X_f$  Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]

$Q_i$  Intensità del carico per  $x=X_i$  espressa in [kN/m]

$Q_f$  Intensità del carico per  $x=X_f$  espressa in [kN/m]

$D / C$  Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (carico traffico)

D Profilo  $X_i=0.60$   $X_f=13.36$   $Q_i=20.0000$   $Q_f=20.0000$

*5.6.4. Elenco delle combinazioni di calcolo*

*Simbologia adottata*

$F/S$  Effetto dell'azione (FAV: Favorevole, SFAV: Sfavorevole)

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	165 di 187

Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 6 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - Caso A1-M1 (STR)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	166 di 187

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
carico traffico	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 8 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
carico traffico	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 9 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
carico traffico	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 10 - Caso A1-M1 (STR)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.30	1.00	1.30
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
carico traffico	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 11 - Caso EQU (SLU)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.30	1.00	1.30
carico traffico	SFAV	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 12 - Caso A2-M2 (GEO-STAB)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 13 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 14 - Caso A1-M1 (STR) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 15 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. positivo

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	168 di 187

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 16 - Caso EQU (SLU) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	FAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	FAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 17 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. positivo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 18 - Caso A2-M2 (GEO-STAB) - Sisma Vert. negativo

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	SFAV	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	SFAV	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	SFAV	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 19 - Quasi Permanente (SLE)

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	169 di 187

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 20 - Frequente (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 21 - Rara (SLE)

	S/F	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma * \Psi$
Peso proprio muro	--	1.00	1.00	1.00
Peso proprio terrapieno	--	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	--	1.00	1.00	1.00
carico traffico	SFAV	1.00	1.00	1.00

Si evidenzia che l'azione di sisma è stata applicata solo per l'analisi non drenata.

## 5.7. Verifiche geotecniche

### 5.7.1. Condizione Drenata

*Simbologia adottata*

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	170 di 187

*C* Identificativo della combinazione

*Tipo* Tipo combinazione

*Sisma* Combinazione sismica

$CS_{SCO}$  Coeff. di sicurezza allo scorrimento

$CS_{RIB}$  Coeff. di sicurezza al ribaltamento

$CS_{QLIM}$  Coeff. di sicurezza a carico limite

$CS_{STAB}$  Coeff. di sicurezza a stabilità globale

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b><math>CS_{SCO}</math></b>	<b><math>CS_{RIB}</math></b>	<b><math>CS_{QLIM}</math></b>	<b><math>CS_{STAB}</math></b>
1	A1-M1 - [1]	--	3.84	--	5.96	--
2	A1-M1 - [1]	--	5.00	--	4.91	--
3	A1-M1 - [1]	--	4.13	--	5.47	--
4	A1-M1 - [1]	--	4.71	--	5.29	--
5	EQU - [1]	--	--	17.85	--	--
6	STAB - [1]	--	--	--	--	2.25
7	A1-M1 - [2]	--	1.32	--	2.61	--
8	A1-M1 - [2]	--	1.50	--	2.58	--
9	A1-M1 - [2]	--	1.23	--	2.42	--
10	A1-M1 - [2]	--	1.60	--	2.70	--
11	EQU - [2]	--	--	4.26	--	--
12	STAB - [2]	--	--	--	--	1.22
13	SLEQ - [1]	--	1.76	--	3.93	--
14	SLEF - [1]	--	1.76	--	3.93	--
15	SLER - [1]	--	1.76	--	3.93	--

5.7.2. *Condizione Non drenata*

<b>C</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sisma</b>	<b><math>CS_{SCO}</math></b>	<b><math>CS_{RIB}</math></b>	<b><math>CS_{QLIM}</math></b>	<b><math>CS_{STAB}</math></b>
----------	-------------	--------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	171 di 187

1	A1-M1 - [1]	--	5.18	--	7.30	--
2	A1-M1 - [1]	--	5.18	--	5.52	--
3	A1-M1 - [1]	--	5.18	--	6.52	--
4	A1-M1 - [1]	--	5.18	--	6.06	--
5	EQU - [1]	--	--	17.85	--	--
6	STAB - [1]	--	--	--	--	5.42
7	A1-M1 - [2]	--	1.65	--	6.02	--
8	A1-M1 - [2]	--	1.65	--	5.08	--
9	A1-M1 - [2]	--	1.65	--	6.02	--
10	A1-M1 - [2]	--	1.65	--	5.06	--
11	EQU - [2]	--	--	4.26	--	--
12	STAB - [2]	--	--	--	--	2.01
13	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	2.69	--	7.27	--
14	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	2.82	--	7.87	--
15	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	5.85	--	--
16	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	4.25	--	--
17	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	4.04
18	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	4.18
19	SLEQ - [1]	--	2.36	--	7.21	--
20	SLEF - [1]	--	2.36	--	7.21	--
21	SLER - [1]	--	2.36	--	7.21	--

### 5.7.3. Stima dei cedimenti

Come noto, il problema dei cedimenti può essere diviso in cedimento immediato, cedimento di consolidazione primario e cedimento dovuto alla deformazione differita nel tempo dopo il termine del processo di consolidazione primario, detto anche cedimento secondario. La consolidazione primaria è associata ai processi di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e si esaurisce in tempi relativamente brevi, mentre la consolidazione secondaria, legata a fenomeni di origine viscosa, si sviluppa in tempi molto più lunghi.

Dato che l'opera in esame è fondata sui terreni di natura incoerente, i cedimenti di consolidazione non assumono alcuna rilevanza e sarà l'oggetto di studio soltanto il cedimento immediato e quindi, si è tenuto conto dei moduli di elasticità delle formazioni presenti.

È da tener conto che la costruzione di un rilevato stradale tra i muri comporta un incremento di tensione sul terreno che si trasferisce in profondità con un progressivo decremento fino ad annullarsi. Prima di procedere nella stima dei cedimenti è dunque necessario calcolare l'incremento di tensione a tali profondità indotto dai lavori.

Con riferimento allo schema riportato, il calcolo dello stato tensionale in profondità deriva dalla seguente relazione di applicazione della teoria del semispazio elastico:

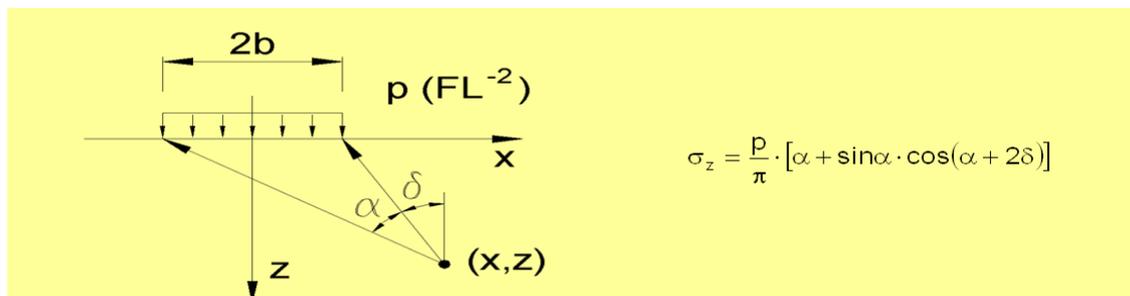


Figura 5-3 Incremento di tensione indotto dal carico sul terreno

La stima del cedimento immediato in terreni stratificati è valutata mediante la formula seguente:

$$w = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_i \cdot \Delta \sigma_{zi}}{E_i}$$

dove:

- $n$  = numero degli strati di terreno;
- $\Delta H_i$  = altezza dello strato  $i$ -esimo;
- $\Delta \sigma_{zi}$  = incremento medio della pressione verticale indotto dall'area di carico nello strato  $i$ -esimo;
- $E_i$  = modulo elastico dello strato  $i$ -esimo.

La stima del cedimento considererà sia il contributo derivante dal muro che quello del nuovo rilevato autostradale.

Lo schema tipico di calcolo per fronte di scavo libero è rappresentato nella seguente figura:

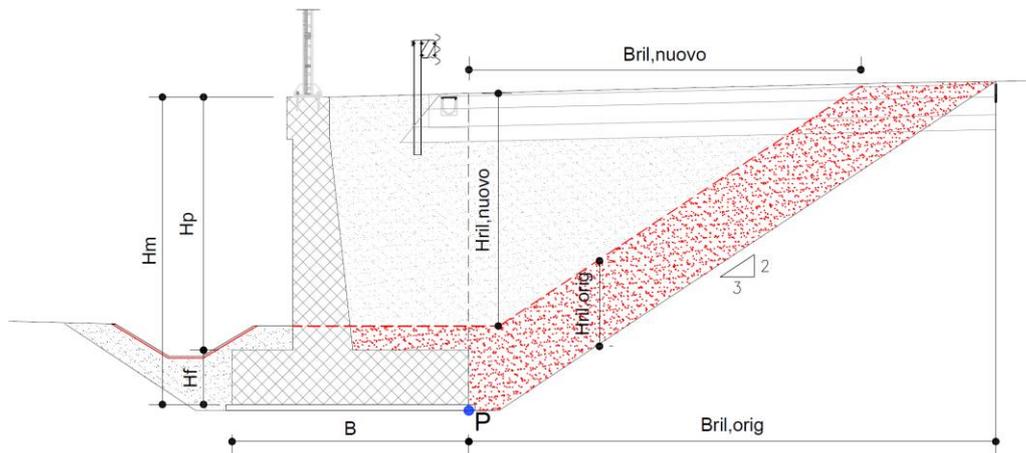


Figura 5-4 Schema di calcolo per fronte di scavo libero

Dati input:

Fondazione muro di sostegno		
<b>2b_fond</b>	1.50	m
<b>γ_terreno</b>	19.50	kN/mc
<b>Hw</b>	0.00	m fondaz
<b>q_fond_vc</b>	24.85	kN/m <sup>2</sup>
<b>q_fond_ur</b>	13.65	kN/m <sup>2</sup>
<b>Evc</b>	4.00	Mpa
<b>Eur</b>	6.50	Mpa

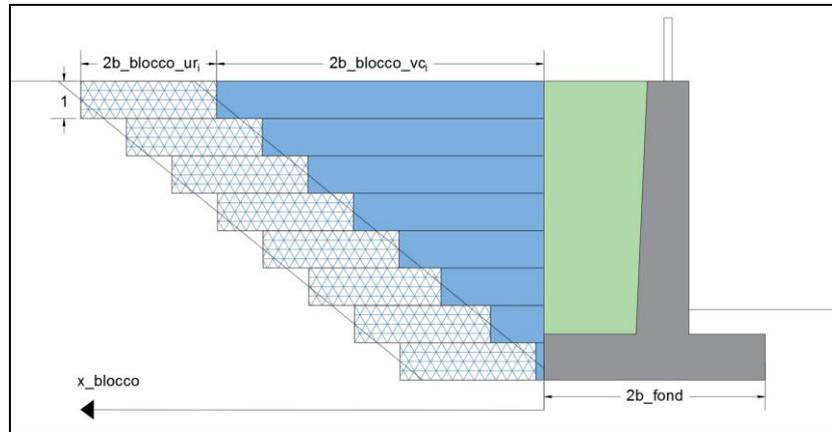


Figura 5-5 Schema di calcolo dei cedimenti

$H_w$ : altezza di falda

$q_{fond\_vc}$ : il contributo della pressione dovuto dal pre-scavo

$q_{fond\_ur}$ : il contributo della pressione dovuto dal ricarico-scarico

$E_{vc}$ : il modulo elastico (compressione vergine)

$E_{ur}$ : il modulo elastico (scarico-ricarico)

$q_{fond\_vc} + q_{fond\_ur} = q_{tot}$  (=38.5 kPa); la pressione massima del terreno (Vedasi 5.8.2)

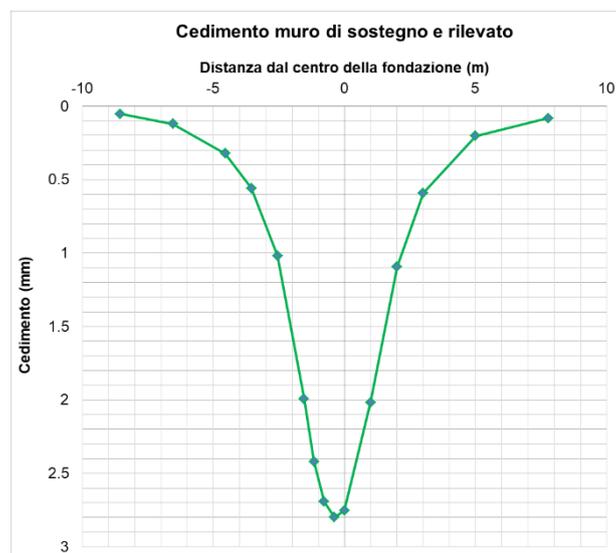


Figura 5-6 – Stima dei cedimenti

Il cedimento massimo risulta pari a 28.48 mm.

## 5.8. Verifiche strutturali

Nelle figure seguenti si mostrano le sollecitazioni agenti sul paramento e fondazione in entrambi condizioni drenate e non drenate.

### 5.8.1. Paramento

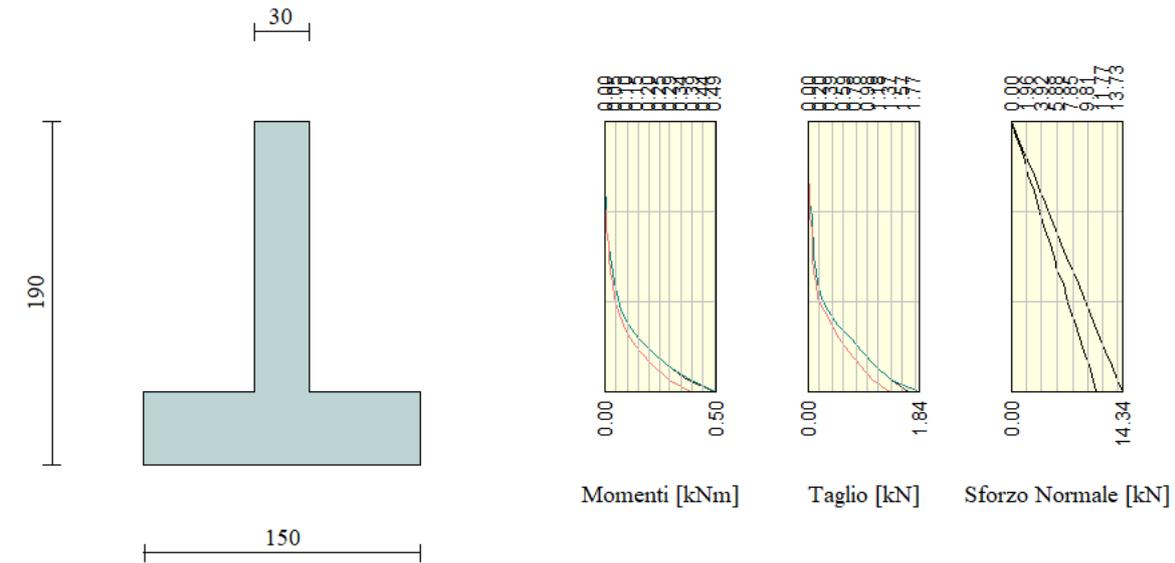


Figura 5-7 – Sollecitazioni massime sul paramento (SLU) – condizione drenata

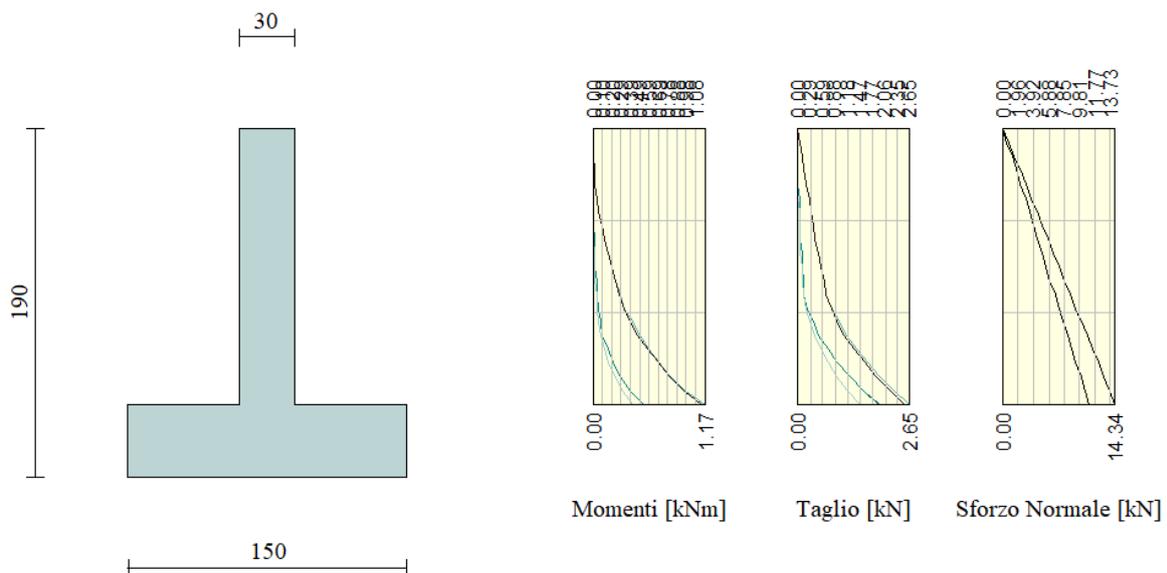


Figura 5-8 – Sollecitazioni massime sul paramento (SLU) – condizione non drenata

la sezione del paramento viene verificata a pressoflessione (**SLU**) tenendo conto di tali azioni:

M (kNm)	BxH (cm)	As	$\delta$ [cm]	A's	$\delta'$ [cm]	$M_{resistente}/$ $M_{agente}$
1.17	100 x 30	4 $\phi$ 10	7.5	4 $\phi$ 10	7.5	>1

$\delta$ : copriferro

Verifica a Taglio:

T (kN)	BxH (cm)	As	$T_{resistente}/$ $T_{agente}$
2.65	100 x 30	$\phi$ 10 / 10 cm	>1

Verifica a **SLE**:

M (kNm)	BxH (cm)	As	$\delta$ [cm]	A's	$\delta'$ [cm]	$\sigma_s$ [MPa]	$\sigma_s$ lim [MPa]	$\sigma_c$ [MPa]	$\sigma_c$ lim [MPa]	wk [mm]	wlim [mm]
0.53	100 x 30	4 $\phi$ 10	7.5	4 $\phi$ 10	7.5	7.66	360	0.13	14.94	0.016	0.2

5.8.2. Fondazione

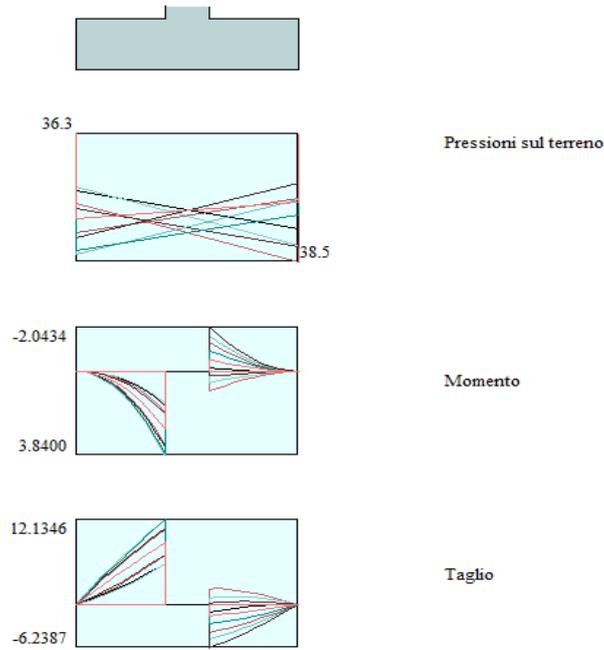


Figura 5-9 – Sollecitazioni massime sulla fondazione (SLU) – condizione drenata

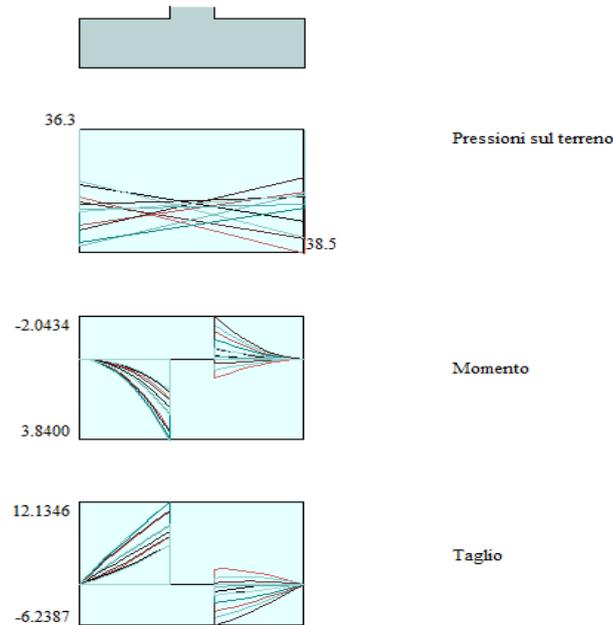


Figura 5-10 – Sollecitazioni massime sulla fondazione (SLU) – condizione non drenata

la sezione della fondazione viene verificata a pressoflessione (**SLU**) tenendo conto di tali azioni:

M	BxH	As	$\delta$	A's	$\delta'$	$M_{resistente}/$ $M_{agente}$
(kNm)	(cm)		[cm]		[cm]	
3.84	100 x 40	4 $\phi$ 12	7.5	4 $\phi$ 12	7.5	>1

$\delta$ : copriferro

Verifica a Taglio:

T	BxH	As	$T_{resistente}/$ $T_{agente}$
(kN)	(cm)		
12.14	100 x 40	$\phi$ 10 / 10 cm	>1

Verifica a **SLE**:

M	BxH	As	$\delta$	A's	$\delta'$	$\sigma_s$	$\sigma_s \text{ lim}$	$\sigma_c$	$\sigma_c \text{ lim}$	wk	wlim
(kNm)	(cm)		[cm]		[cm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
2.7	100 x 40	4 $\phi$ 12	7.5	4 $\phi$ 12	7.5	19.42	360	0.3	11.25	0.043	0.2

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> <b>APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA</b> <b>BERGAMO E MONTELLO</b> <b>SL03 – NUOVO SOTTOVIA KM 31+085 LS (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0300002	REV. A

## 5.9. Conclusione

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura risulta rispondere a tutti i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza. La struttura oggetto della presente relazione è conforme ai criteri di progettazione e di resistenza indicati della normativa vigente, prendendo in considerazione anche le azioni sismiche.

L'analisi critica dei risultati e dei parametri di controllo associata al confronto con verifiche di massima eseguite manualmente porta a confermare la validità dei risultati.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

La struttura a collaudo dovrà essere conforme alle tolleranze dimensionali prescritte nella presente relazione, inoltre relativamente alle prestazioni attese esse dovranno essere quelle di cui al § 9 del D.M. 17.01.2018.

Per il muro di sostegno si riporta un riepilogo delle armature, riportando inoltre il valore dell'incidenza associato.

Il paramento del muro è armato con:

- Armatura verticale: 4 $\phi$ /10 nel lato di monte del muro
- Armatura verticale: 4 $\phi$ /10 nel lato di valle del muro
- Staffe:  $\phi$ 10 /10 cm

La soletta di fondazione del muro è armata con:

- Armatura principale: 4 $\phi$ /12 teso
- Armatura principale: 4 $\phi$ /12 compresso
- Staffe:  $\phi$ 10/10 cm.

Da cui l'incidenza del paramento è **75** kg/mc e l'incidenza della fondazione pari a **65** kg/mc.

## 5.10. Allegati

### 5.10.1. Paramento

#### Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Trave
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resistenza compress. di progetto fcd:	18.81 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	9.405 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.920 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	19.920 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	14.940 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.00 MPa	

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	100.0	cm
Altezza:	30.0	cm
Barre inferiori:	4Ø10	(3.1 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	4Ø10	(3.1 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.5	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.5	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	181 di 187

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione  
VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale  
MT Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	1.17	2.65	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	0.53

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	0.53 (47.60)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	0.53 (47.60)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 14.0 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X, Y, O sez.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.2.1.2.1 NTC: deve essere  $< 0.45$   
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.
--------	-----	---	----	------	-------	----------	----	-----	--------

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	182 di 187

1 S 0.00 1.17 -0.05 35.21 30.092 28.4 0.07 0.70 6.3 (4.0)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	30.0	-0.01291	22.5	-0.04573	7.5

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe: 10 mm  
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 10.5 cm]  
N.Bracci staffe: 2  
Area staffe/m : 15.7 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm<sup>2</sup>/m]

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]  
bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	AST
1	S	2.65	122.88	952.27	124.47	100.0 22.5	1.000	1.000	0.3

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.13	30.0	0.00	25.5	-7.7	22.5	8.5	851	3.1	28.3

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	183 di 187

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compressione: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00005	0.00001	0.50	0.60	0.000023 (0.000023)	699	0.016 (990.00)	47.60

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.13	30.0	0.00	25.5	-7.7	22.5	8.5	851	3.1	28.3

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00005	0.00001	0.50	0.60	0.000023 (0.000023)	699	0.016 (0.30)	47.60

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.13	30.0	0.00	25.5	-7.7	22.5	8.5	851	3.1	28.3

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00005	0.00001	0.50	0.40	0.000023 (0.000023)	699	0.016 (0.20)	47.60

**5.10.2. Fondazione**

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di trave di fondazione in combinazione sismica
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
	Sezione appartenente a trave di fondazione (arm.minima ex §7.2.5NTC)

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resistenza compress. di progetto fcd:	14.16 MPa

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	184 di 187

Resistenza compress. ridotta fcd':	7.080	MPa
Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	15.000	MPa
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	15.000	MPa
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	11.250	MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm

**ACCIAIO -**

Tipo:	B450C	
Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base:	100.0	cm
Altezza:	40.0	cm
Barre inferiori:	4Ø12	(4.5 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	4Ø12	(4.5 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	7.5	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	7.5	cm
Coprif.Lat. (dal baric.barre):	10.0	cm

**CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	3.84	12.14	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	2.70

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
---	---

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	185 di 187

Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	2.70 (70.98)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)  
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	0.00	2.70 (70.98)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.9 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 23.8 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 5.9 cm

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.2.1.2.1 NTC: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	
1	S	0.00	3.84	0.11	66.26	17.255	36.9	0.09	0.70	9.0 (8.0)

**DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	40.0	-0.00502	32.5	-0.03342	7.5

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe: 10 mm  
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 10.5 cm]

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	186 di 187

N.Bracci staffe: 2  
Area staffe/m : 15.7 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima NTC = 15.0 cm<sup>2</sup>/m]

**VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata  
Ved Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)  
Vrd Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]  
Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
Vwd Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]  
bw|d Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro | Altezza utile sezione  
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm<sup>2</sup>/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vrd	Vcd	Vwd	bw d	Ctg	Acw	ASt
1	S	12.14	135.58	1035.46	179.79	100.0 32.5	1.000	1.000	1.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa])  
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre  
Ac eff. Area di congl. [cm<sup>2</sup>] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)  
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm<sup>2</sup>] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)  
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.  
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.30	40.0	0.00	33.8	-19.4	32.5	11.3	1129	4.5	28.3

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver Esito verifica  
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata  
K2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e2)$  in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC  
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2  
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es  
srm Distanza massima in mm tra le fessure  
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.  
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00012	0.00002	0.50	0.60	0.000058 (0.000058)	744	0.043 (990.00)	70.98

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.30	40.0	0.00	33.8	-19.4	32.5	11.3	1129	4.5	28.3

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

**RELAZIONE DI CALCOLO RAMPE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0300002	A	187 di 187

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00012	0.00002	0.50	0.60	0.000058 (0.000058)	744	0.043 (0.30)	70.98

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.30	40.0	0.00	33.8	-19.4	32.5	11.3	1129	4.5	28.3

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

N°Comb	Ver	e1	e2	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	-0.00012	0.00002	0.50	0.40	0.000058 (0.000058)	744	0.043 (0.20)	70.98