

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

SL02 – Nuovo sottovia km 7+741 (tratta Bergamo-Montello)

Relazione di calcolo vasca per impianto di sollevamento acque

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 2 0 0 0 0 3 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



### *INDICE*

1.	INTRODUZIONE .....	4
1.1.	MURO AD U CON VASCA .....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
3.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	7
4.	MATERIALI .....	9
4.1.	CALCESTRUZZO .....	9
4.2.	ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA .....	9
5.	CODICE DI CALCOLO .....	10
6.	MODELLO DI CALCOLO .....	11
6.1.1.	<i>Modellazione dell'interazione suolo-struttura del 1^ modello di calcolo</i> .....	13
6.1.2.	<i>CONDIZIONI DI VINCOLO AGGIUNTIVE</i> .....	13
6.1.3.	<i>ANALISI DEI CARICHI</i> .....	14
6.1.4.	<i>COMBINAZIONI DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI</i> .....	21
6.1.5.	<i>Verifiche</i> .....	34
6.1.6.	<i>Verifiche a flessione</i> .....	34
6.1.7.	<i>Verifiche a deformazione</i> .....	53
6.1.8.	<i>Riepilogo armature – muro vasca</i> .....	54
6.2.	SOLETTA DI COPERTURA VASCA .....	55
6.2.1.	<i>Geometria soletta</i> .....	55
6.2.2.	<i>ANALISI DEI CARICHI</i> .....	56
6.2.3.	<i>COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI</i> .....	59
6.2.4.	<i>Verifiche strutturali</i> .....	63
6.2.4.1.	<i>Sezione 1 - Soletta in mezzaria</i> .....	64
6.2.4.2.	<i>Sezione 2 - Soletta estremità</i> .....	69
6.2.1.	<i>Riepilogo armature – soletta di copertura vasca</i> .....	74

6.3.	SOLETTA E MURO DI RIFODERA LOCALE POMPE.....	75
6.3.1.	<i>Geometria murodi rifodera "1" e soletta.....</i>	75
6.3.1.	<i>Schemi di Vincolo.....</i>	76
6.3.2.	<i>ANALISI DEI CARICHI.....</i>	76
6.3.3.	<i>COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI.....</i>	77
6.3.4.	<i>Verifiche strutturali.....</i>	82
6.3.4.1.	<i>Sezione 1 - Soletta in mezzeria.....</i>	83
6.3.4.2.	<i>Sezione 2 - Soletta estremità.....</i>	88
6.3.4.3.	<i>Sezione 1 - Muro in mezzeria.....</i>	93
6.3.4.4.	<i>Sezione 2 - Muro estremità.....</i>	98

## 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, contenente la vasca per impianto sollevamento acque, in prosecuzione del sottopasso SL02.

### 1.1. MURO AD U CON VASCA

La struttura della vasca è formata da un muro ad U gettato in opera, ha uno sviluppo longitudinale pari a 23 m circa e una larghezza variabile di 11.5÷13.0 m circa.

Il muro in esame ha un'altezza massima 10.20 m, ed è appoggiato appoggiato superiormente dal cordolo di coronamento dei diaframmi.

La soletta inferiore ha uno spessore di 1.50m, mentre i piedritti hanno uno spessore di 0.60m.

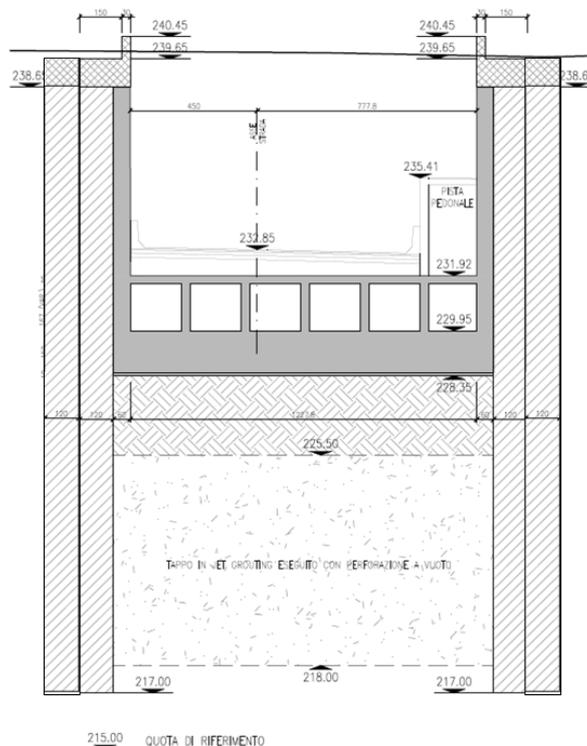


Figura 1: Sezione trasversale muro contenente la vasca

 <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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

## 2. 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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	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 stabiliti nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

### 3. 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-S2 e PNBGF1C012.

Strato	Profondità media	Profondità media	Descrizione	
	Da [m da p.c.]	A [m da p.c.]		
Ug1	0	21.5	S(G), S,G	Sabbia ghiaiosa e sabbia con ghiaia
A_M	21.5	-	ARE,MAR	Arenarie/Marne alternanze

Strato	Parametri di resistenza					Parametri di deformabilità					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\phi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
Ug1	20	0.38	38	0	-	50 - 200	125 - 500	10 - 60	15 - 80	0.25	1.00E-06
A_M	-	-	-	-	250	300	750	100	200	0.20	1.00E-9

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
R03	462	21	B

	<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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A



Figura 2: 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)
SL02/NV02	Prog. 29+650 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 +238 m e che comprende l'intradosso della soletta superiore.

## 4. MATERIALI

### 4.1. 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

- **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 = 40 mm

- **MAGRONE:**

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

### 4.2. Acciaio da armatura ordinaria

Acciaio tipo B450 C

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

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

	<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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

## 5. 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>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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

## 6. 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, vale  $N = 1062 \text{ kN/m}$ ;  $K = 100 \text{ GPa/m}$  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,  $n = 24 \times 1,5 \text{ kN/mq}$ ;  $k_w = 10 \text{ MPa/m}$  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>	13.50	m
Larghezza utile	L <sub>int</sub>	12.30	m
Larghezza interasse	L <sub>a*</sub>	12.90	m
Spessore piedritti	S <sub>p*</sub>	0.60	m
Spessore fondazione	S <sub>f</sub>	1.50	m
Altezza totale	H <sub>tot</sub>	10.20	m
Altezza libera	H <sub>int</sub>	8.70	m

La \* = B= si fa presente che, a favore di sicurezza, si è deciso di tenere una larghezza interasse di 15 m in tutti i modelli di calcolo dei muri (essendo questa la larghezza maggiore presente in tutto lo sviluppo della viabilità del sottopasso). Varia solo l’altezza dei muri, in analogia con le sezioni di calcolo investigate.

$Sp^*$  = 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.

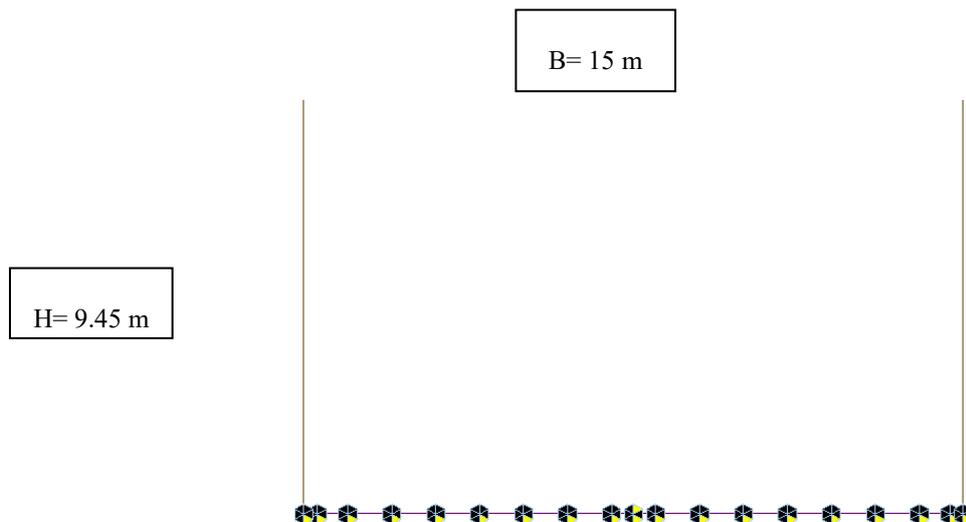


Figura 3: Geometria 1<sup>a</sup> modello strutturale su letto di molle con vincolo centrale allo spostamento orizzontale

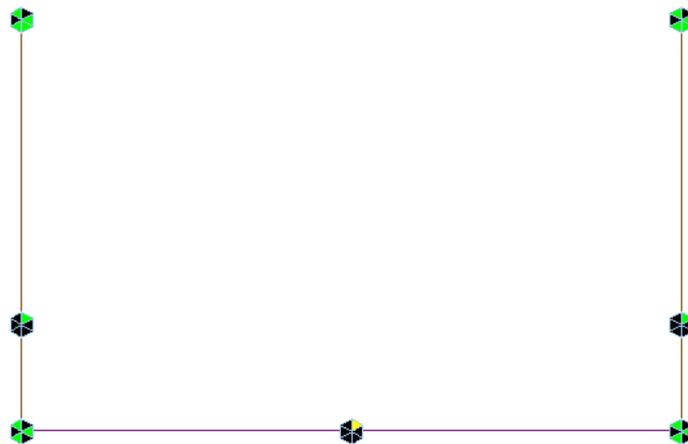


Figura 4: Geometria e vincoli 2<sup>a</sup> modello strutturale con vincolo superiore ai piedritti che blocca lo spostamento verticale, un vincolo agli spostamenti orizzontali posto ad un'altezza di 1.70 m (a simulare la soletta della vasca) e un vincolo nella mezzaria della fondazione che blocca lo spostamento orizzontale

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

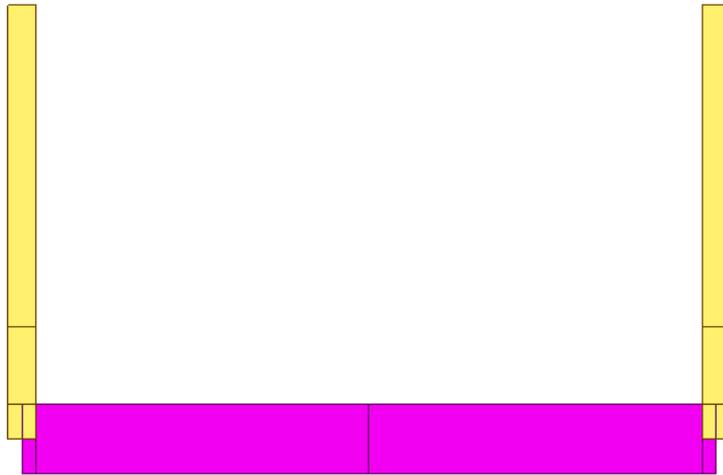


Figura 5: Vista estrusa del 1° modello strutturale

### 6.1.1. 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:

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

### 6.1.2. CONDIZIONI DI VINCOLO AGGIUNTIVE

Nel caso in esame è stato aggiunto un vincolo che simula il puntone realizzato dalla soletta su piedritti della vasca.

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

### 6.1.3. ANALISI DEI CARICHI

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

#### 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.

#### Carichi permanenti portati

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

#### 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.

#### Spinta idrostatica (SPW)

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

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

$$P2 = q_w(z_2) = 81.00 \text{ kN/m} \quad (\text{quota falda estradosso della soletta di fondazione})$$

$$P3 = q_w(z_3) = 89.00 \text{ kN/m} \quad (\text{quota falda in asse della soletta di fondazione})$$

Ed una sottospinta idraulica costante pari a:

$$P4 = q_w(z_4) = 96.00 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{quota falda intradosso della soletta di fondazione})$$

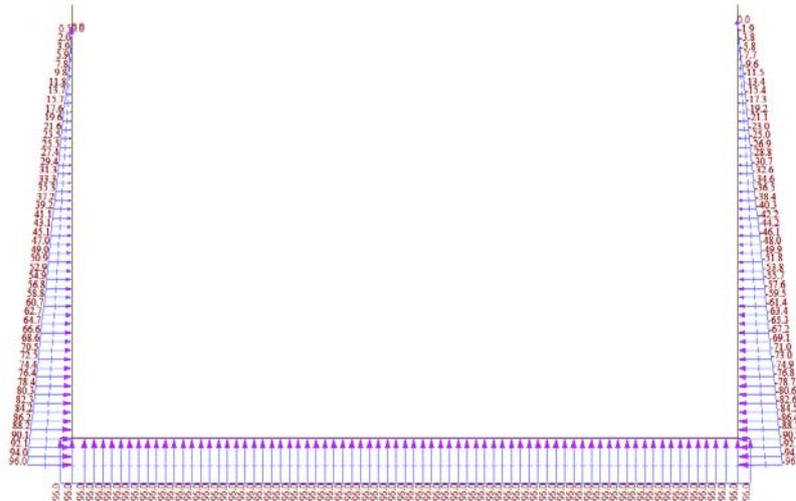


Figura 6 – Spinta idrostatica sui piedritti e sottospinta idraulica

## Azioni indotte dagli spostamenti della paratia di diaframmi Tipo T

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 risente degli spostamenti della paratia di diaframmi di Tipo T.

Il valore della reazione offerta dalla soletta di fondazione nel calcolo delle paratie è pari a - 1062 KN in comb. quasi permanente. Di tale valore si tiene conto ai fini del calcolo.

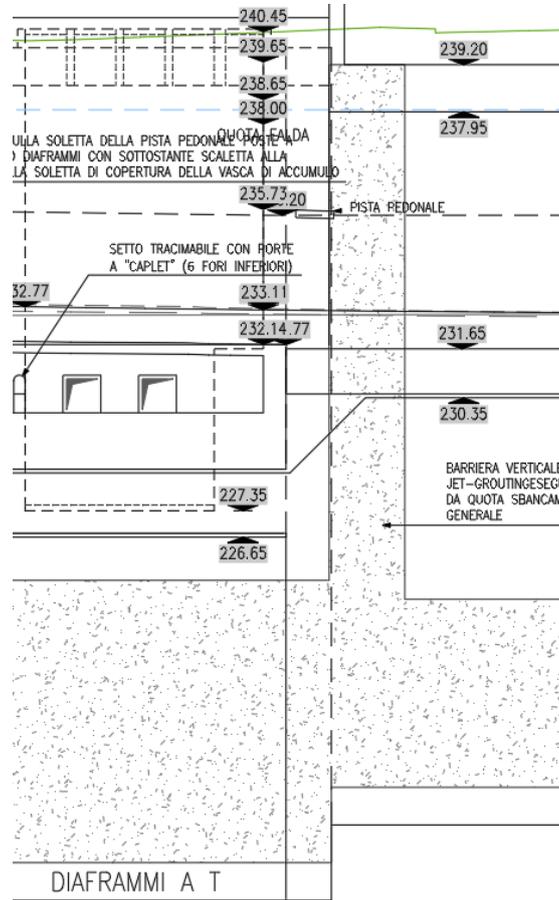


Figura 7 – Spostamenti indotti dalla paratia di diaframmi T

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

Z m	SPDPX $\Delta x$ permanenti	SPDAX $\Delta x$ accidentali	SPDSX $\Delta x$ sisma
Z m	mm	mm	mm
0	5.666	0.285	7.207
-0.2	5.461	0.275	6.958
-0.4	5.255	0.266	6.710
-0.6	5.051	0.256	6.463
-0.8	4.847	0.246	6.218
-1	4.644	0.236	5.974
-1.2	4.441	0.227	5.732
-1.4	4.241	0.217	5.491
-1.6	4.041	0.207	5.253
-1.8	3.843	0.198	5.016
-2	3.646	0.189	4.783
-2.2	3.451	0.179	4.551
-2.4	3.258	0.169	4.321
-2.6	3.067	0.161	4.095
-2.8	2.879	0.151	3.872
-3	2.692	0.143	3.652
-3.2	2.508	0.135	3.436
-3.4	2.328	0.126	3.224
-3.6	2.150	0.118	3.016
-3.8	1.976	0.109	2.811
-4	1.806	0.101	2.612
-4.2	1.639	0.093	2.417
-4.4	1.478	0.086	2.228
-4.6	1.320	0.079	2.044
-4.8	1.168	0.072	1.865
-5	1.021	0.065	1.693
-5.2	0.879	0.058	1.527
-5.4	0.744	0.052	1.368
-5.6	0.615	0.046	1.216
-5.8	0.494	0.040	1.072
-6	0.379	0.034	0.935
-6.2	0.272	0.029	0.807
-6.4	0.175	0.024	0.687
-6.6	0.086	0.020	0.577
-6.8	0.044	0.018	0.525



Figura 8 – Spostamenti applicati ai piedritti del Muro

## Azioni indotte dalle variazioni termiche

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

## 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. =  $9.767658^\circ$ )

		$a_g$	$F_o$	$T^*c$
$T_R$	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

**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 9: Forza inerziale orizzontale



Figura 19: Forza inerziale verticale

#### 6.1.4. 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 10: Involuppo N – SLU (modello 1)

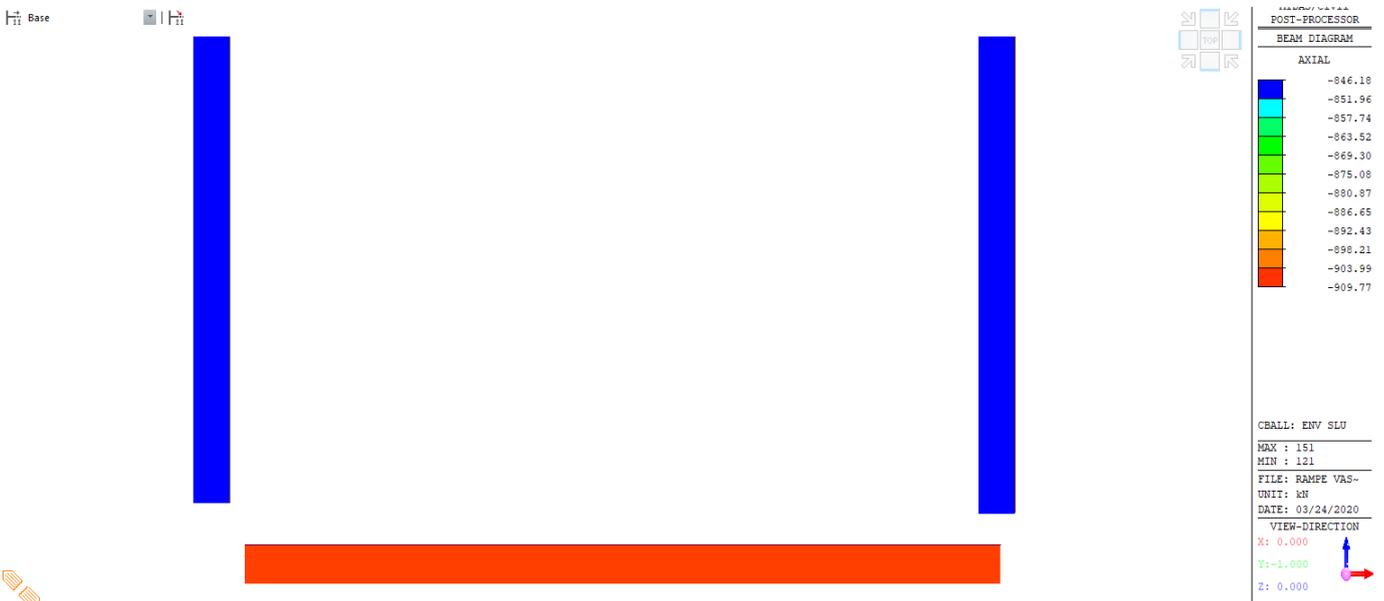


Figura 11: Involuppo N – SLU (modello 2)

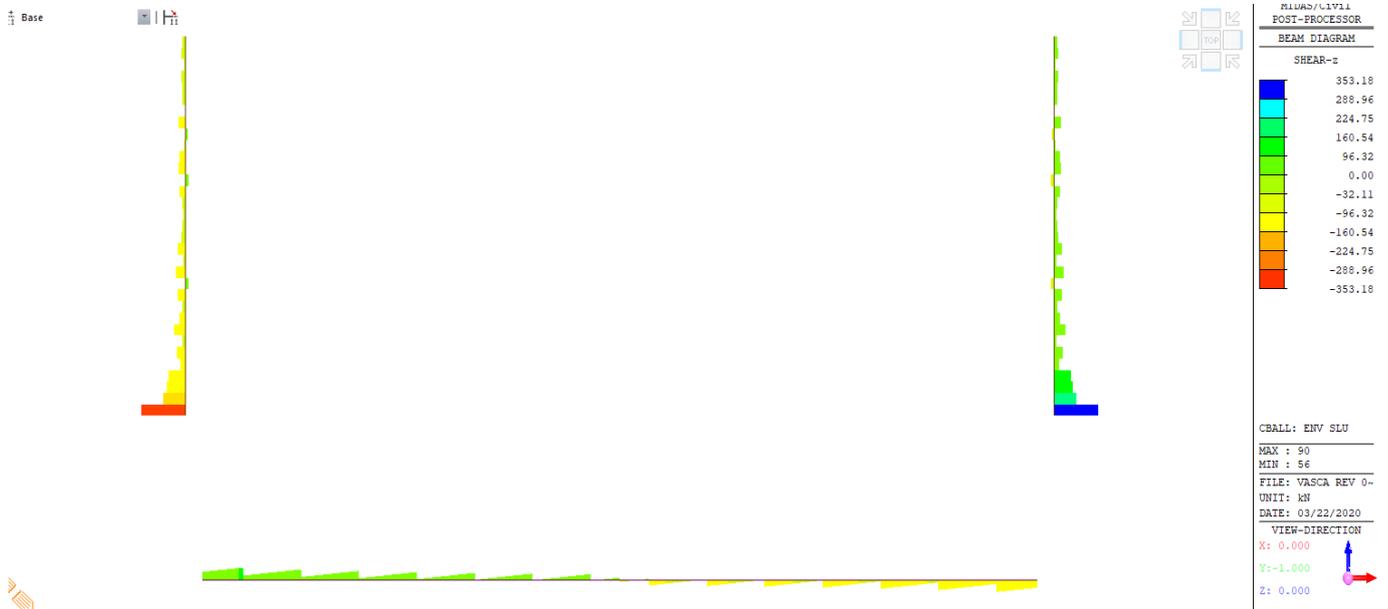


Figura 12: Involuppo T – SLU (modello 1)

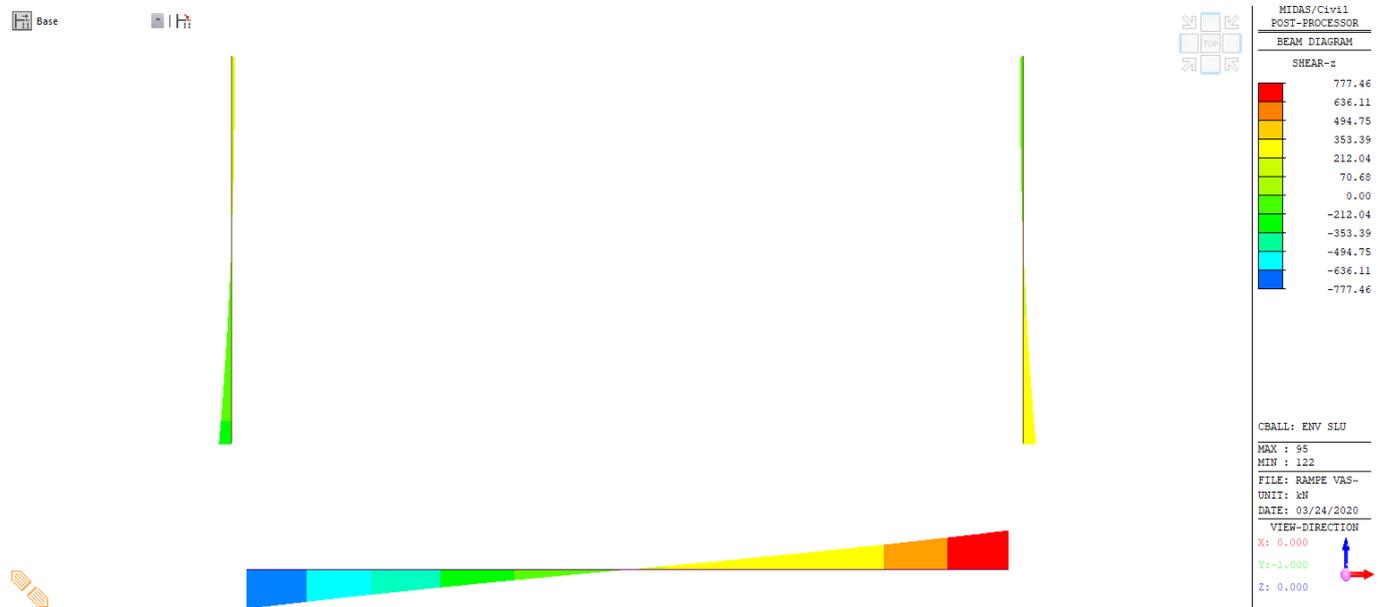


Figura 13: Involuppo T – SLU (modello 2)

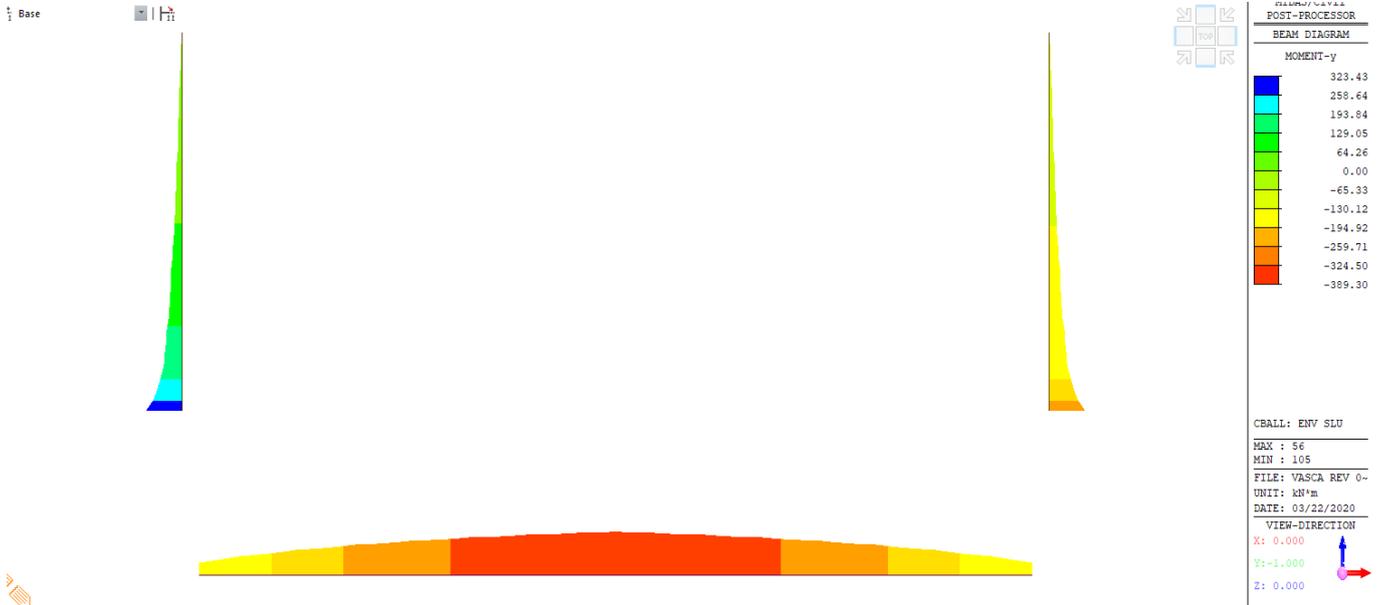


Figura 14: Involuppo M – SLU (modello 1)

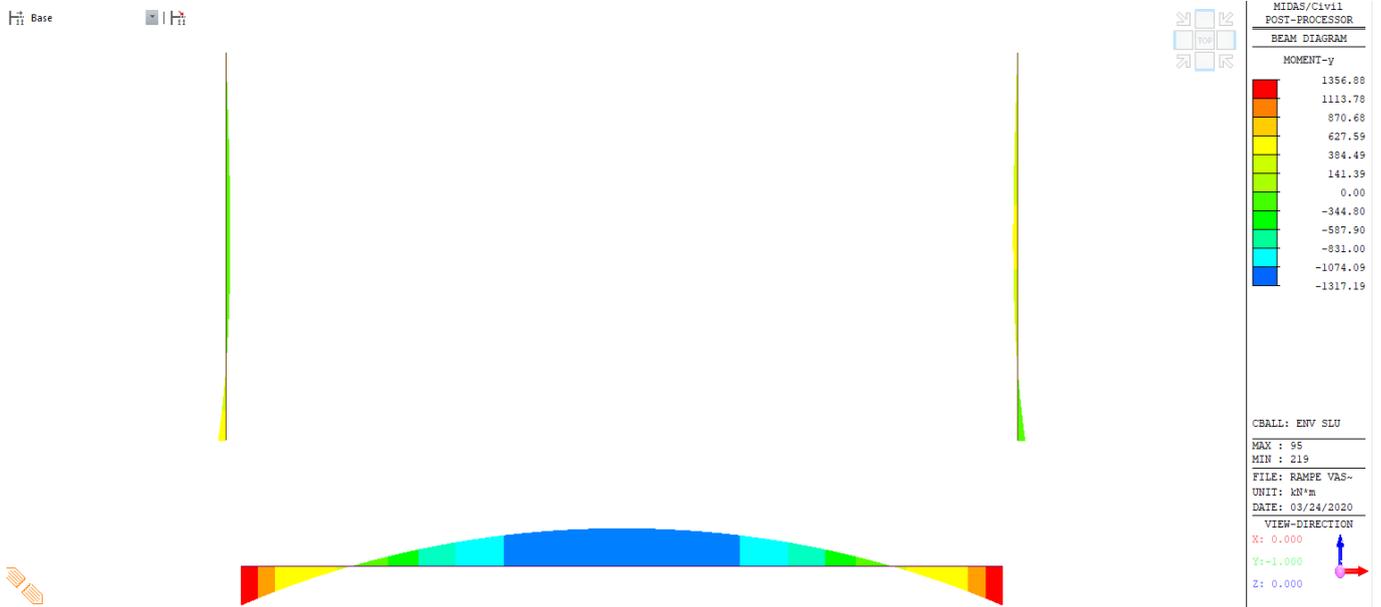


Figura 15: Involuppo M – SLU (modello 2)



Figura 16: Inviluppo N – SLV (modello 1)



Figura 17: Inviluppo N – SLV (modello 2)

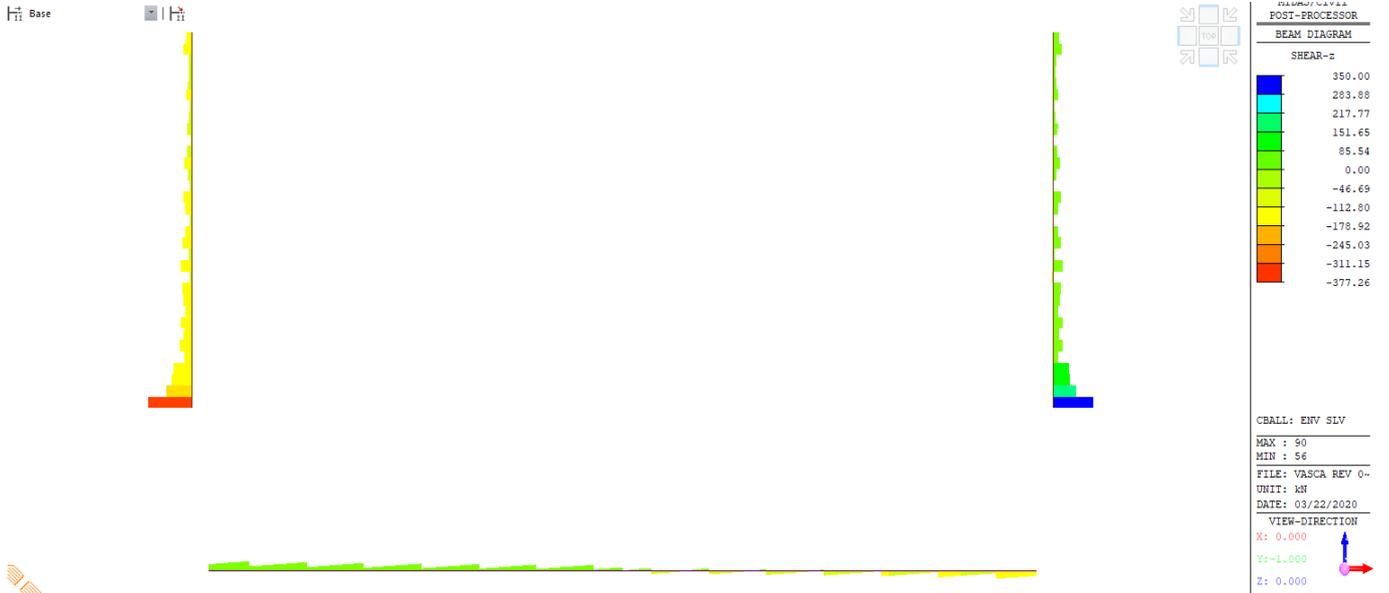


Figura 18: Inviluppo T – SLV (modello 1)

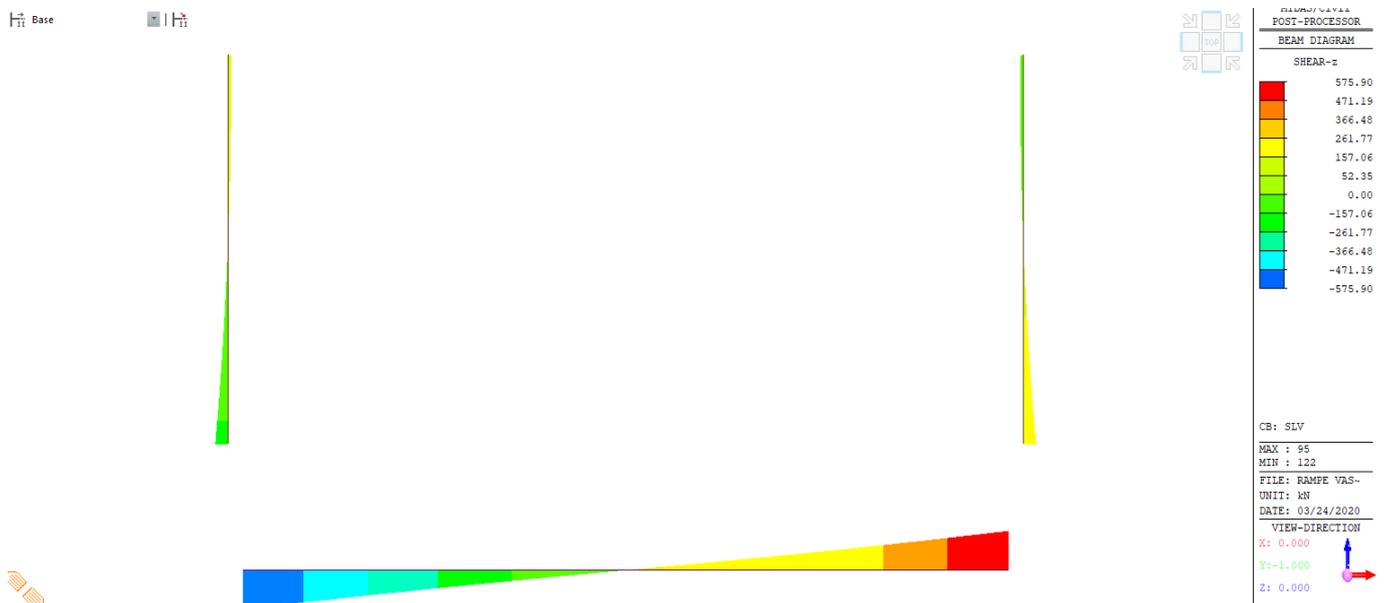


Figura 19: Inviluppo T – SLV (modello 2)



Figura 20: Involuppo M– SLV (modello 1)

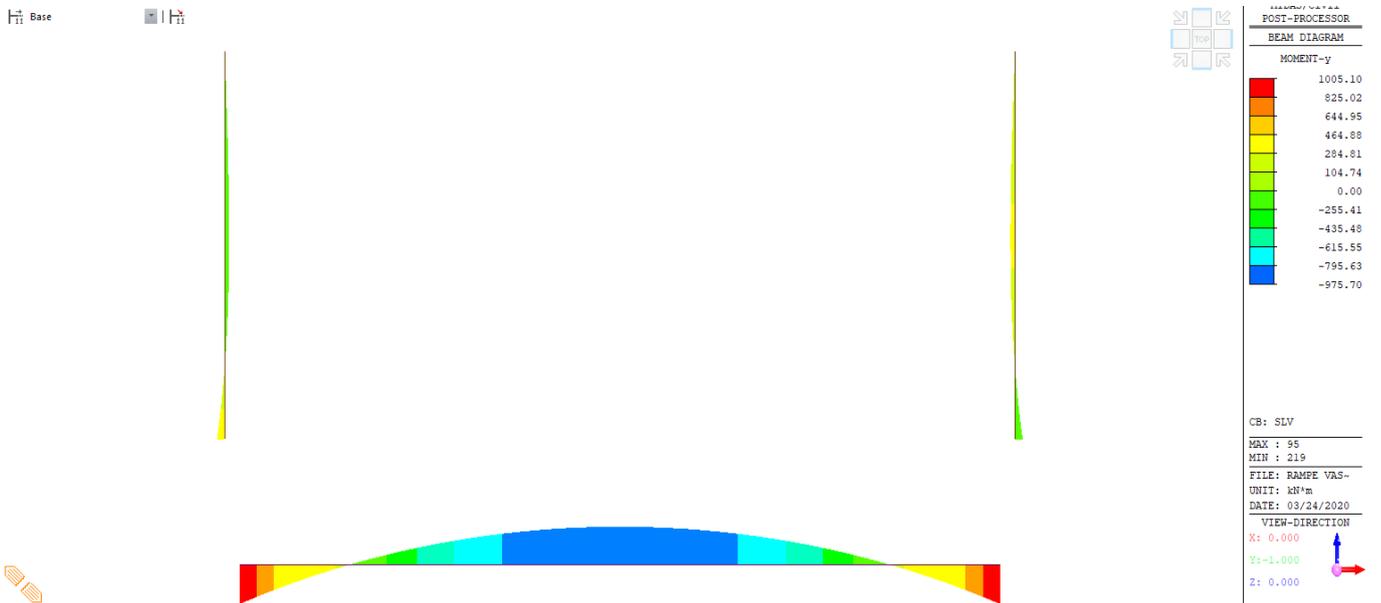


Figura 21: Involuppo M– SLV (modello 2)



Figura 22: Involuppo N – SLE RARA(modello 1)



Figura 23: Involuppo N – SLE RARA(modello 2)

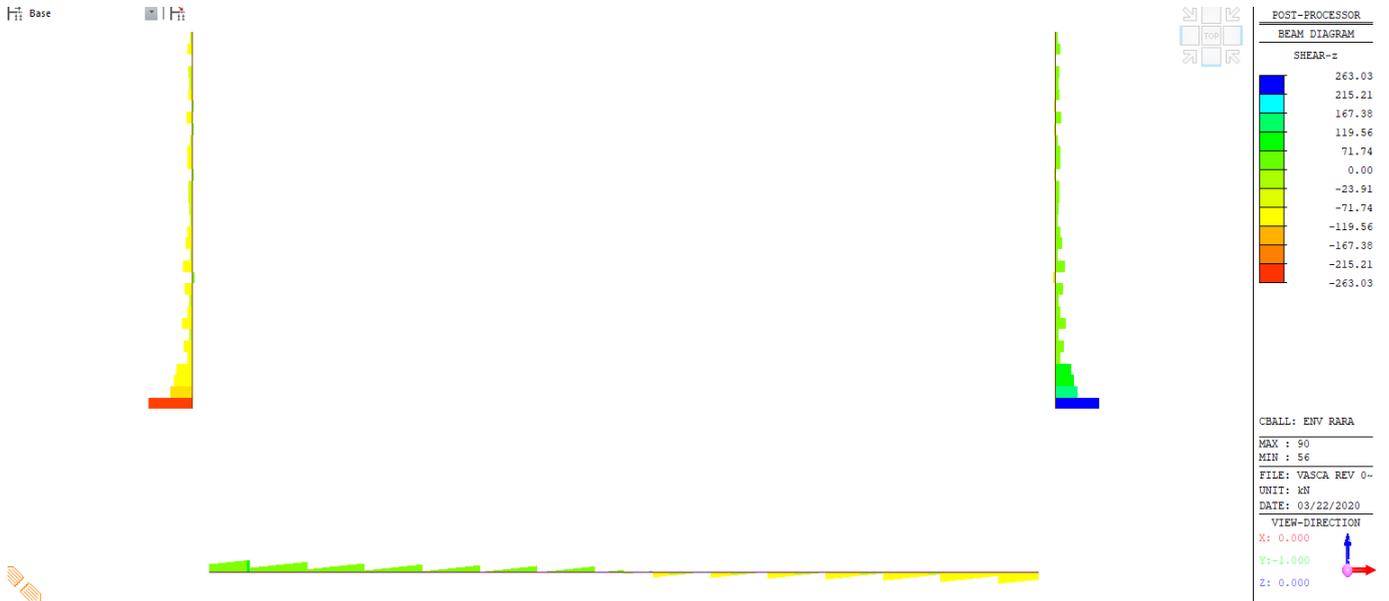


Figura 24: Inviluppo V – SLE RARA(modello 1)

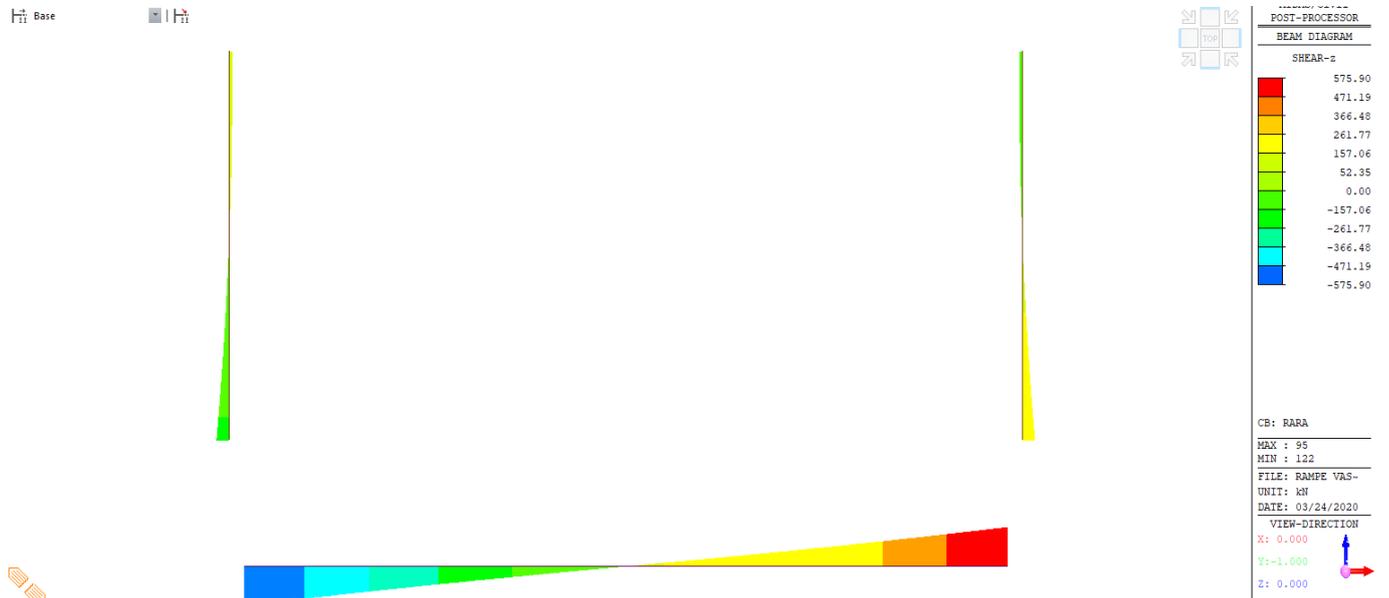


Figura 25: Inviluppo V – SLE RARA(modello 2)

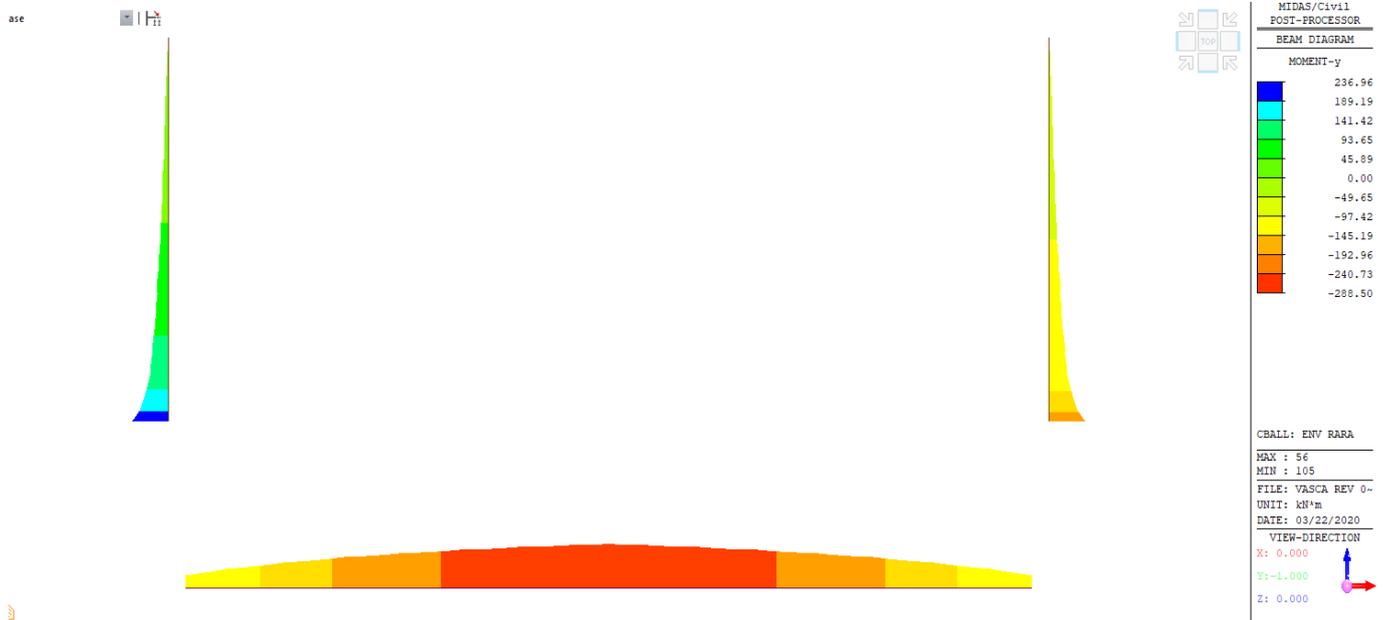


Figura 26: Involuppo M – SLE RARA (modello 1)

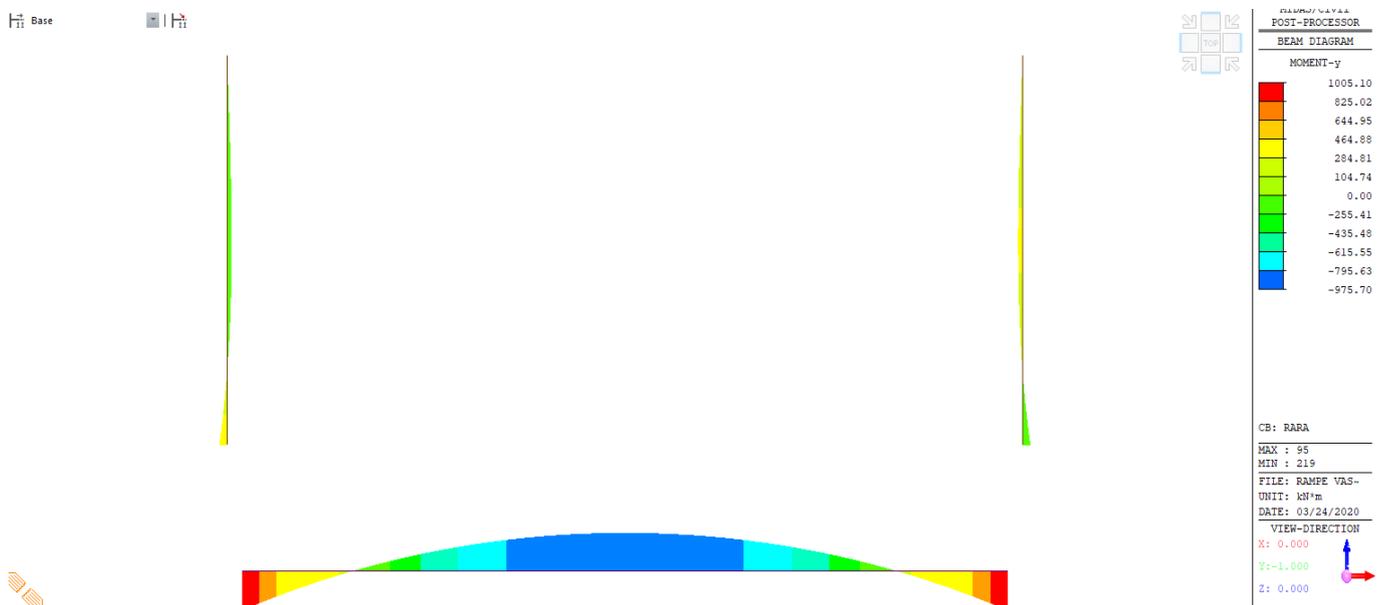


Figura 27: Involuppo M – SLE RARA (modello 2)

Le sezioni verificate sono le seguenti:

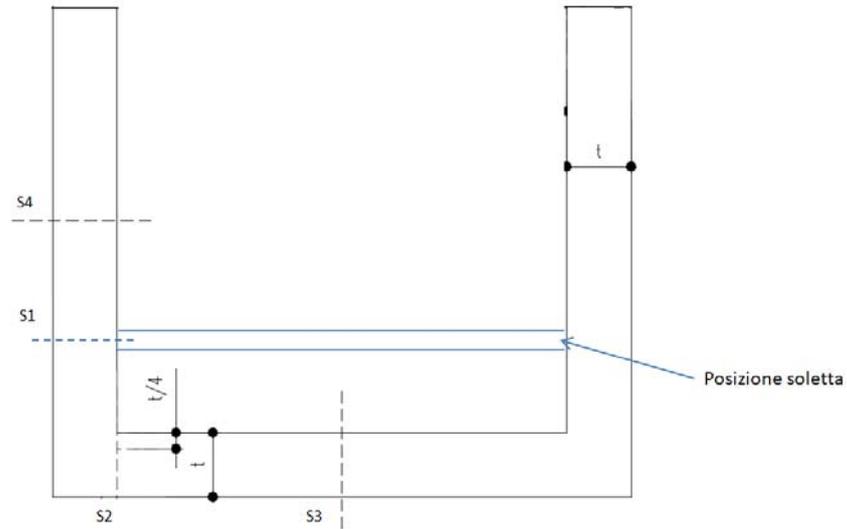


Figura 28: Sezioni di verifica (si fa presente che la sezione di verifica S1 è stata volutamente spostata in corrispondenza della soletta)

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	-137	-353	323	ENV SLU	-846	-250	425
ENV SLV	-102	-263	472	ENV SLV	-626	-185	200
ENV RARA	-102	-377	289	ENV RARA	-626	-185	200
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-983	-603	748				
ENV SLV	-728	-448	672				
ENV RARA	-728	-562	489				

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	139	132	-111	ENV SLU	-909*	-777	1356
ENV SLV	146	102	40	ENV SLV	-673*	-575	1005
ENV RARA	146	99	-82	ENV RARA	-673*	-575	1005
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1832	-645	1245				
ENV SLV	-1589	-473	1045				
ENV RARA	-1589	-476	923				

\*si somma -1062 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	139	0	-389	ENV SLU	-909*	0	-1317
ENV SLV	146	0	-264	ENV SLV	-673*	0	-975
ENV RARA	146	0	-288	ENV RARA	-673*	0	-975
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-1832	0	-1706				
ENV SLV	-1589	0	-1239				
ENV RARA	-1589	0	-1263				

\*si somma -1062 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	-52	65	ENV SLU	-846	12	-83
ENV SLV	-51	-74	124	ENV SLV	-626	18	-55
ENV RARA	-51	-33	48	ENV RARA	-626	18	-55
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale							
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]				
ENV SLU	-914	-40	-18				
ENV SLV	-677	-56	69				
ENV RARA	-677	-15	-7				

### 6.1.5. Verifiche

### 6.1.6. Verifiche a flessione

#### 6.1.6.1. Sezione 1 - base piedritto (parete verticale)

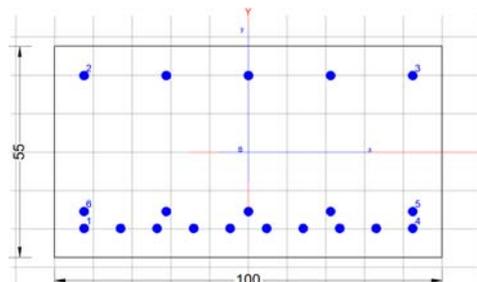
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU-SLV) Totale

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-983	-603	748
ENV SLV	-728	-448	672
rec	-728	-562	489

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

Armatura lato interno  $\Phi$  24/20

Armatura a taglio  $\Phi$  14/(20x40)



#### 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
	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	-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	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	1081.00	649.00	0.00	0.00	0.00
2	731.00	689.00	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	731.00	506.00	0.00

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione erificata

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	1081.00	649.00	0.00	1080.90	1227.59	0.00	1.86	67.9(9.9)
2	N	731.00	689.00	0.00	731.20	1180.90	0.00	1.70	67.9(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	0.395	-50.0	27.5	0.00208	-42.4	19.9	-0.00536	-42.4	-19.9
2	0.00350	0.350	-50.0	27.5	0.00190	-42.4	19.9	-0.00649	-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 VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	37 di 102

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000186893	-0.001639545	0.395	0.934
2	0.000000000	0.000210835	-0.002297955	0.350	0.878

**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		11.37	50.0	27.5	-152.0	33.0	-19.9	1000	45.2

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.144 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 308 mm
Area efficace = 1000 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

### 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	$A_{sl,1} = 10$	$\emptyset 24$	$= 45.24 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 5$	$\emptyset 24$	$= 22.62 \text{ cm}^2$
$d = 476$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$67.86 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -983.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 603.0 \text{ kN}$$

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

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

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

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

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -1.79 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 464.0 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 327.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 464.0 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

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

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 14 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.192 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 798.4 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_c = 1.099 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1482.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 798.4 > 603.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.3$$

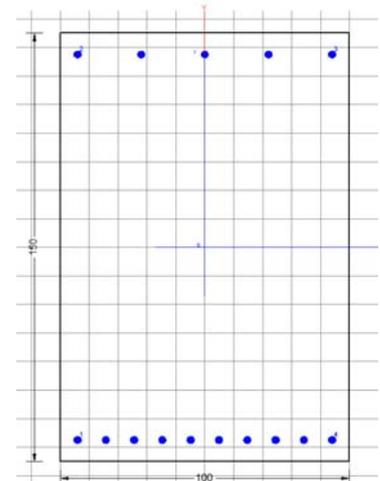
la sezione armata a taglio risulta verificata.

## 6.1.6.2. 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	-1832	-645	1245
ENV SLV	-1589	-473	1045
ENV RARA	-1589	-476	923

Armatura inferiore	$\Phi$ 26/10
Armatura superiore	$\Phi$ 26/20
Armatura a taglio	$\Phi$ 12/(40x40)



### 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
	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	-75.0
2	-50.0	75.0
3	50.0	75.0
4	50.0	-75.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-67.5	26
2	-44.0	67.5	26
3	44.0	67.5	26
4	44.0	-67.5	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	1832.00	1245.00	0.00	0.00	0.00
2	1589.00	1045.00	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	1589.00	923.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

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	1832.00	1245.00	0.00	1831.83	3957.39	0.00	3.09	53.1(30.0)
2	S	1589.00	1045.00	0.00	1589.28	3823.88	0.00	3.55	53.1(30.0)

**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	0.176	50.0	75.0	0.00245	44.0	67.5	-0.01642	-44.0	-67.5
2	0.00350	0.161	50.0	75.0	0.00235	44.0	67.5	-0.01826	-44.0	-67.5

**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	0.000139771	-0.006982861	0.176	0.700
2	0.000000000	0.000152670	-0.007950280	0.161	0.700

**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	3.57	-50.0	75.0	-30.6	34.2	-67.5	1900	53.1

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

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.034 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 369 mm
Area efficace = 1900 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
$h = 1500$	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	$A_{sl,2} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 1425$	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)

$$N_{ed} = -1832.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 645.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.375 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.282$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.004 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -1.22 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 755.6 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 663.0 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 755.6 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 5 \text{ passo } 40 \text{ cm} = 0.141 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 1687.8 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_c = 1.086 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 3525.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1687.8 > 645.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 2.6$$

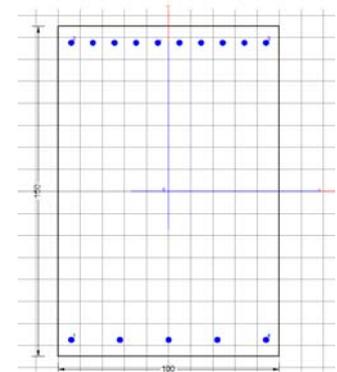
la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 6.1.6.3. 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	-1832	0	-1706
ENV SLV	-1589	0	-1239
ENV RARA	-1589	0	-1263

 Armatura superiore  $\Phi$  26/10

 Armatura inferiore  $\Phi$  26/20


#### 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 $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		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

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	45 di 102

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-75.0
2	-50.0	75.0
3	50.0	75.0
4	50.0	-75.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-67.5	26
2	-44.0	67.5	26
3	44.0	67.5	26
4	44.0	-67.5	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	8	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	1495.00	-1706.00	0.00	0.00	0.00
2	1589.00	-1239.00	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	1589.00	-1263.00	0.00
---	---------	----------	------

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

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	1495.00	-1706.00	0.00	1494.95	-3770.80	0.00	2.18	53.1(30.0)
2	S	1589.00	-1239.00	0.00	1589.28	-3823.88	0.00	3.01	53.1(30.0)

**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	0.155	-50.0	-75.0	0.00231	-44.0	-67.5	-0.01907	-44.0	67.5
2	0.00350	0.161	-50.0	-75.0	0.00235	-44.0	-67.5	-0.01826	-44.0	67.5

**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	-0.000158352	-0.008376380	0.155	0.700
2	0.000000000	-0.000152670	-0.007950280	0.161	0.700

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

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	47 di 102

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	4.85	-50.0	-75.0	-68.7	4.9	67.5	1850	53.1

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.075 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 365 mm
Area efficace = 1850 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

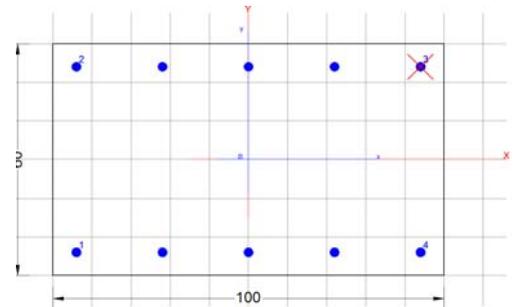
Condizione soddisfatta

### 6.1.6.4. Sezione 4 - mezzeria piedritto

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

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-914	-40	-18
ENV SLV	-677	-56	69
ENV RARA	-677	-15	-7

Armatura lato interno	Φ 24/20
Armatura lato esterno	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
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:	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.:	Billineare 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	

**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

**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	914.00	-18.00	0.00	0.00	0.00
2	677.00	69.00	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	677.00	-7.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	18.8 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	914.00	-18.00	0.00	913.82	-586.81	0.00	32.60	22.6(9.9)
2	N	677.00	69.00	0.00	677.23	539.82	0.00	7.82	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	0.203	-50.0	-27.5	0.00074	-42.4	-19.9	-0.01374	42.4	19.9
2	0.00350	0.186	-50.0	27.5	0.00048	-42.4	19.9	-0.01530	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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000363636	-0.006499980	0.203	0.700
2	0.000000000	0.000396726	-0.007409958	0.186	0.700

**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	1.21	-50.0	-27.5	15.2	21.2	19.9	----	----

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W2<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)

$$N_{ed} = -918.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 40.0 \text{ kN}$$

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

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

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

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

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -1.67 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 352.4 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 318.6 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 352.4 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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):

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

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

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

$$\alpha_c = 1.092 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1515.3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 281.9 > 40.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 7.0$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

	<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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

### 6.1.7. 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:

$$L = 2 * H = 2 * 9450 = 18900 \text{ mm}$$

Per cui si ricava il valore di inflessione massimo ammissibile:

$$f_{max} = L / 250 = 18900 / 250 = 75.6 \text{ mm}$$

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

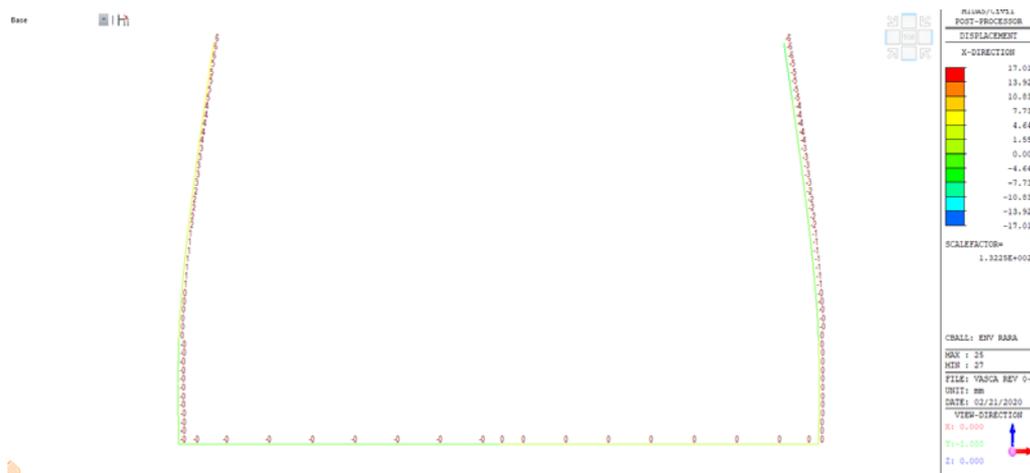


Figura 6-29: Deformazione muro ad “U”-Modello 1

Il seguente valore totale della deformazione estratta dal modello 1 e dal modello 2 viene moltiplicato per 3 per tenere conto delle deformazioni a tempo infinito.

$$f_u = 3 * (6 + 17) = 69 \text{ mm} < 75.6 \text{ mm} = f_{max}$$

**Verificato**

### 6.1.8. Riepilogo armature – muro vasca

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 26/10 sup.	Φ 20/20 est.	75 kg/m <sup>3*</sup>
		Φ 26/20 inf.	Φ 20/20 int.	
	nodo	Φ 26/20 sup. Φ 26/10 inf.	Φ 20/20 est. Φ 20/10 int.	

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

## 6.2. SOLETTA DI COPERTURA VASCA

### 6.2.1. Geometria soletta

La soletta della vasca è realizzata su muretti di spina, posti ad interasse di circa 2 m, gettata in opera su cassero a perdere. Viene a realizzare un puntello tra i piedritti che formano il muro ad U precedentemente calcolato.

Gli schemi statici ai quali faremo riferimento per la sua progettazione (con una luce di una campata di circa 2 m), sono due:

- quello di trave in semplice appoggio;
  - quello di trave incastrata ai lati;
- e di questi si considera l'involuppo delle sollecitazioni.

La soletta viene progettata per i soli carichi verticali.

Figura 30:

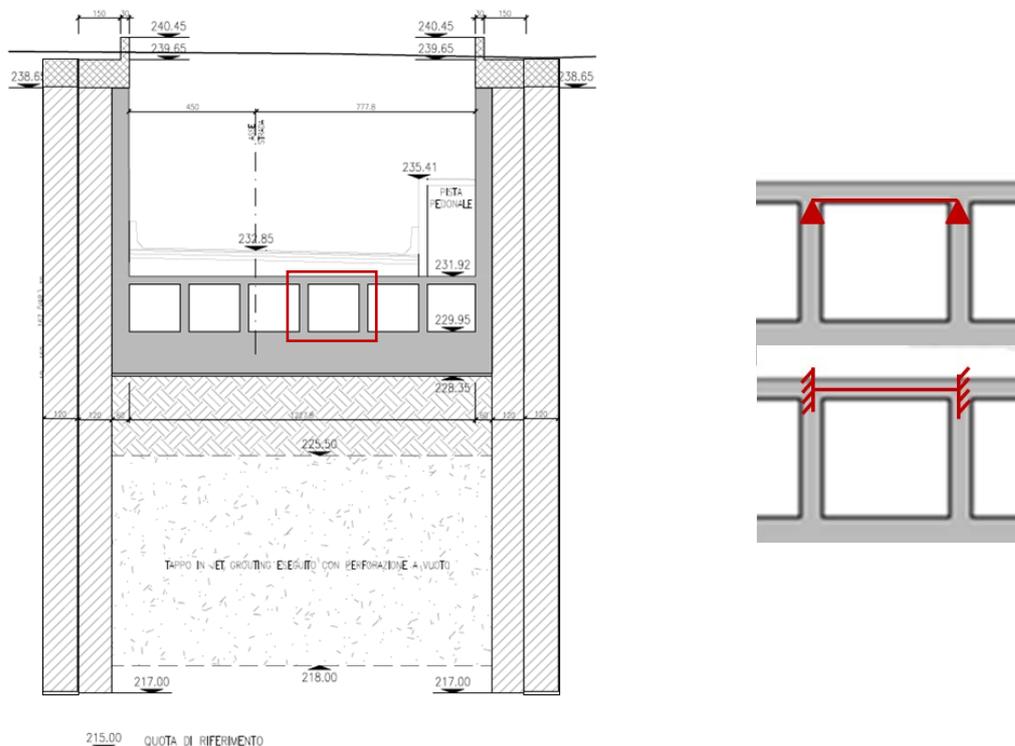


Figura 31: Sezione trasversale muro contenente la vasca, ecidenza della soletta calcolata e Schemi di vincolo considerati

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

### 6.2.2. ANALISI DEI CARICHI

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

#### 6.2.2.1. Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio della soletta viene calcolata considerando come peso specifico del calcestruzzo armato  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio in base alle dimensioni della sezione dell'elemento, ovvero spessore 30cm e 100cm di profondità:

$$G1 = 25 \times 0.30 \times 1.00 = 7.5 \text{ kN/m.}$$

#### 6.2.2.2. Carichi permanenti portati

I carichi permanenti portati equivalgono al pacchetto della pavimentazione:

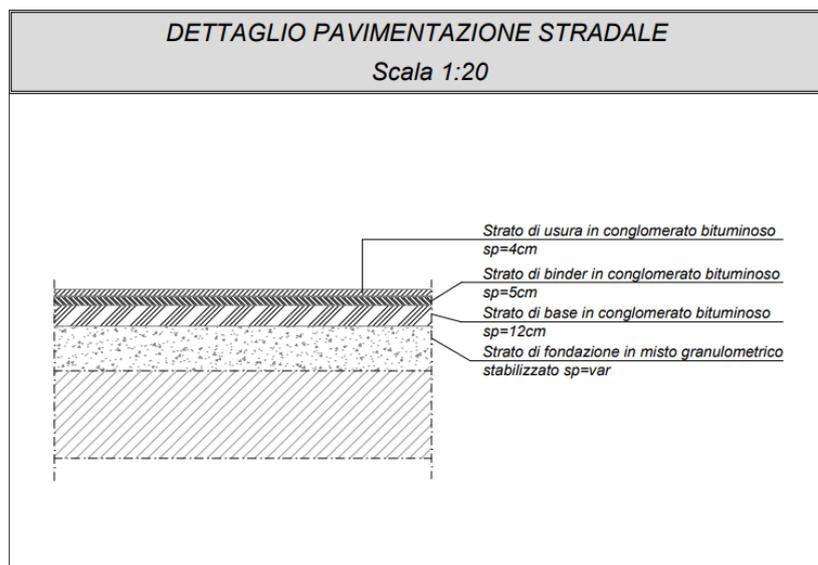


Figura 6-32: Particolare pavimentazione ciclo pedonale

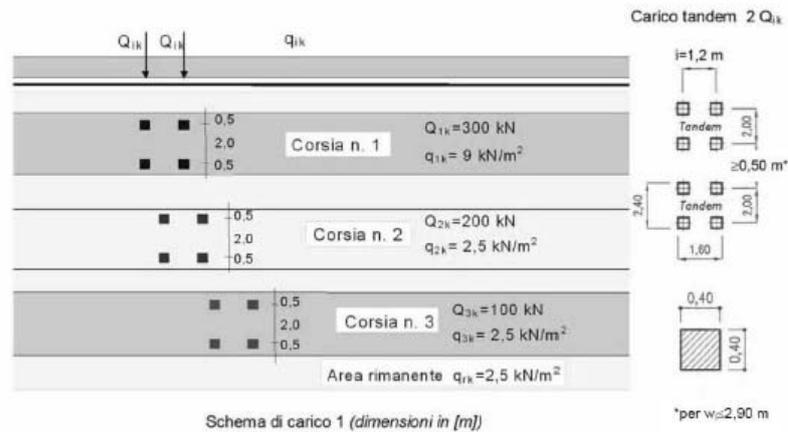
$$G2 = (0.04 \times 21 + 0.05 \times 18 + 0.12 \times 21 + 0.60 \times 18) \times 1.00 = 15 \text{ kN/m}$$

#### 6.2.2.3. Carichi Accidentali per sovraccarico stradale

Il dimensionamento viene eseguito per sovraccarico stradale di I° categoria.

Carico di esercizio  $Q_k + q_k$ :

con riferimento alle prescrizioni normative (D.M. 14-01-2008) si adotta il seguente schema previsto per le opere stradali:



Il carico mobile individuato viene diffuso in riferimento all'asse della soletta (vedasi schema grafico) e disposto sull'impalcato in maniera che massimizzi il carico agente.

A seguire degli schemi che rappresentano la determinazione del carico agente:

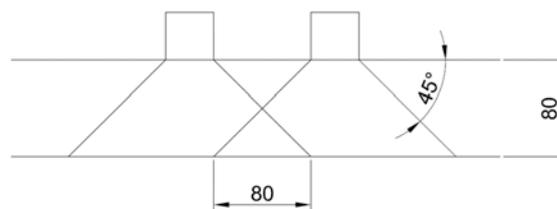


Figura 6-33: Diffusione del carico cooncentrato in senso trasversale per uno spessore a metà soletta di 80 cm.

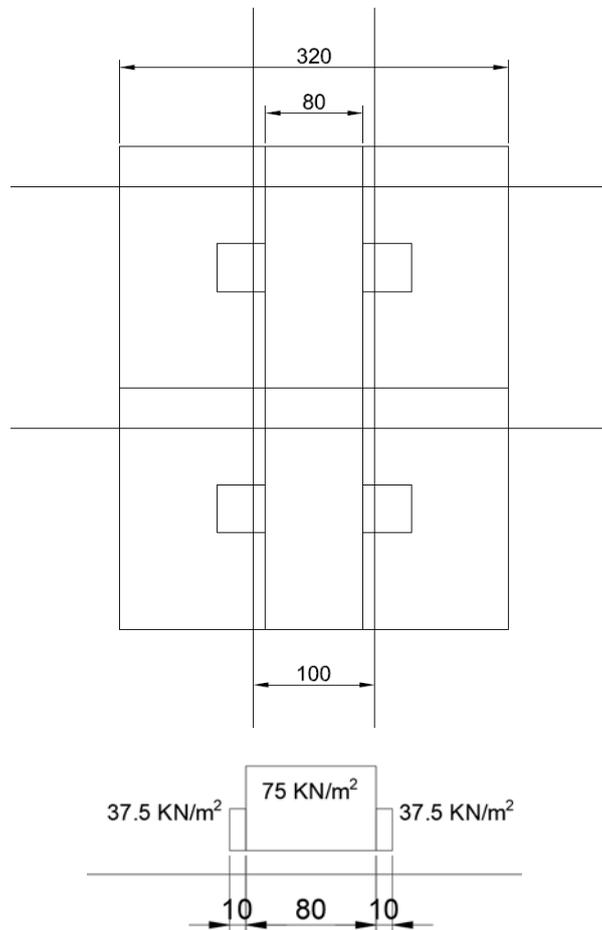


Figura 6-34: Diffusione del carico in senso longitudinale e determinazione del carico agente su soletta in esame.

$Q_{\text{in senso trasversale per area di diffusione}} = 150 \text{ KN} / 4 \text{ m}^2 \text{ (singola area diffusione)} = 37.5 \text{ KN/m}^2 \rightarrow \times 2 \text{ (zona sovrapposizione dove vale doppio)} = 75 \text{ KN/m}^2$  altrimenti vale  $37.5 \text{ KN/m}^2$

$Q_{\text{in senso longitudinale}}$  (vedi immagine precedente su fascio di 1m)

$Q_{\text{agente su soletta}} = 0.1 \text{ m} \times 37.5 \text{ KN/m}^2 \times 2 + 0.8 \text{ m} \times 75 \text{ KN/m}^2 = 67.5 \text{ KN/m}$

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

#### 6.2.2.4. Sollecitazione trasmesse dal Muro ad U

Poiché la soletta funziona tipo puntone sul muro ad U, esso trasmette delle forze di compressione alla soletta.

Poiché lo sforzo è di compressione, esso risulta essere favore ai fini della verifica strutturale, a tal proposito si è deciso di trascurare tali azioni.

#### 6.2.3. COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

Per le verifiche si adotta la combinazione delle azioni fondamentale SLU tratta dal § 2.5.3 NTC 2008:

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

I valori dei coefficienti da utilizzare sono stati adottati seguendo il vigente D.M. 2008 §5.1.3.12 secondo le tabelle 5.1.IV, 5.1.V, 5.1.VI., §6.2.3.1.1 secondo le tabelle 6.2.I, 6.2.II e §6.4.2.1 secondo la tabella 6.4.I.

In particolare, sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.
  - STR)  $\rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni:

- Rara)  $\rightarrow G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$
- Frequente)  $\rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
- Quasi permanente)  $\rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Le azioni, vengono moltiplicati per i coefficienti parziali di sicurezza che sono indicati in tabella.

 <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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

Tabella 1: Valori dei coefficienti di combinazione

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

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

SLU/SLE.

Ai fini cautelativi, per la combinazione di esercizio quasi permanente, non si applica il fattore di riduzione  $\Psi_{0,2}$  per il carico accidentale.

	SLU	SLE (rara)	SLE (freq)	SLE (Q.P.)
G1	1.35	1	1	1
G2	1.50	1	1	1
Q	1,50	1	1	1

Di seguito si riportano lo schema statico adottato e le sollecitazioni.

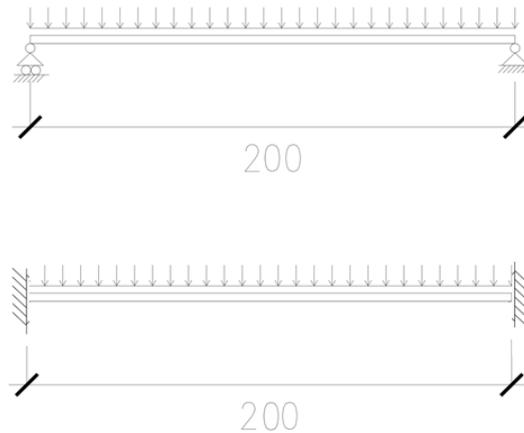


Figura 6-35: Schema statici

-Schema di carico di trave in semplice appoggio:

Calcolo momenti:

$$M_1 \text{ (SLU)} = qL^2/8 = (1.35 \times 7.50 + 1.5 \times 15 + 1.5 \times 67.5) \times 2.00^2 / 8 = 66.9 \text{ kNm}$$

$$M_1 \text{ (SLE)} = qL^2/8 = (1.00 \times 7.50 + 1.0 \times 15 + 1.0 \times 67.5) \times 2.00^2 / 8 = 45 \text{ kNm}$$

Calcolo Taglio

$$T_1 = qL/2 = (1.35 \times 7.50 + 1.5 \times 15 + 1.5 \times 67.5) \times 2.00 / 2 = 131.3 \text{ kN}$$

Si calcola la deformazione in mezzzeria:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = bxh^3/12 = 1000 \times 300^4/12 = 6.75 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$f_1 = 5/384 \times (qL^4)/EI = 5/384 \times [(1.00 \times 7.50 + 1.0 \times 15.0 + 1.0 \times 67.5) \times 1000] \times 2000^4 / (210000 \times 6.75 \times 10^{11}) = 0.132 \text{ mm}$$

-Schema di trave incastrata ai lati:

$$M_2 \text{ (SLU)} = -qL^2/12 = (1.35 \times 7.50 + 1.5 \times 15 + 1.5 \times 67.5) \times 2.00^2 / 12 = -44.6 \text{ kNm}$$

$$M_2 \text{ (SLE)} = -qL^2/12 = (1.00 \times 7.50 + 1.0 \times 15 + 1.0 \times 67.5) \times 2.00^2 / 12 = -30 \text{ kNm}$$

Calcolo Taglio

$$T_2 = qL/2 = (1.35 \times 7.50 + 1.5 \times 15 + 1.5 \times 67.5) \times 2.00 / 2 = 131.3 \text{ kN}$$

Si calcola la deformazione in mezzzeria:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = bxh^3/12 = 1000 \times 300^4/12 = 6.75 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$f_2 = 1/384 \times (qL^4)/EI = 1/384 \times [(1.00 \times 7.50 + 1.0 \times 15.0 + 1.0 \times 67.50) \times 1000] \times 2000^4 / (210000 \times 6.75 \times 10^{11}) = 0.0264$$

Inviluppo sollecitazioni:

$$M_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLU}) = M_1 = 66.9 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot estremità}} (\text{SLU}) = M_2 = -44.6 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLE}) = M_1 = 45 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot estremità}} (\text{SLE}) = M_2 = -30 \text{ kNm}$$

$$T_1 = T_2 = 131.3 \text{ kN}$$

$$\text{Limite deformazione ammissibile } f_{\text{max}} = L/300 = 2000/300 = 6.67 \text{ mm}$$

$$f_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLE}) = f_1 + f_2 = 0.132 + 0.0264 = 0.1584 \text{ mm} < 6.67 \text{ mm} = f_{\text{max}}$$

#### 6.2.4. Verifiche strutturali

Le verifiche strutturali sono state svolte in RC-Sec si riportano gli output delle verifiche nelle sezioni S1 ed S2.

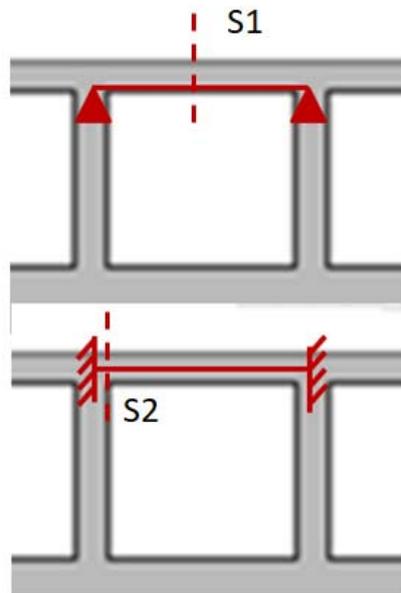
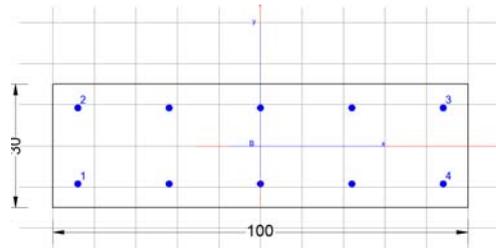


Figura 6-36: sezioni di verifica

### 6.2.4.1. Sezione 1 - Soletta in mezzaria

Armatura inferiore	Φ 16/20
Armatura superiore	Φ 16/20
Armatura a taglio	Spilli φ10/20x20



### 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:	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
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	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	-15.0

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	65 di 102

2	-50.0	15.0
3	50.0	15.0
4	50.0	-15.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-9.2	16
2	-44.0	9.2	16
3	44.0	9.2	16
4	44.0	-9.2	16

**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	16
2	1	4	3	16

**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	0.00	66.90	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	0.00	45.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm

Interferro netto minimo barre longitudinali: 16.8 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  $\geq 1.000$   
 As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] 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	0.00	66.90	0.00	0.00	93.22	0.00	1.39	20.1(6.0)

**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	0.197	-50.0	15.0	-0.00076	-44.0	9.2	-0.01425	-44.0	-9.2

**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	0.000733621	-0.007504312	0.197	0.700

**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	5.57	-50.0	15.0	-206.8	0.0	-9.2	732	10.1

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.228 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 368 mm
Area efficace = 732 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedono spilli  $\phi 10/20 \times 20$

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
$h = 300$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 60$	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	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 240$	mm altezza utile	$A_{sl,3} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$10.05 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = \quad \text{kN} \quad \quad \quad V_{ed} = 131.5 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad \quad \quad k = 1.913 < 2$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad \quad \quad v_{\min} = 0.463$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \quad \quad \rho_1 = 0.004 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \quad \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

$$V_{Rd} = (0.18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d > (v_{\min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd} = 120.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 111.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 120.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

**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):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 10 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.098 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad \quad \quad V_{Rsd} = 197.4 \text{ kN}$$

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

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

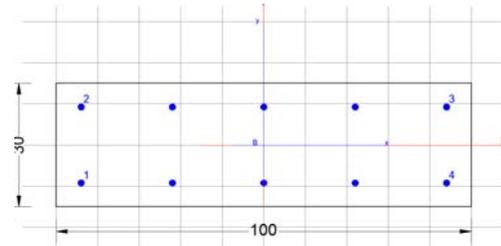
$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad \quad \quad V_{Rcd} = 546.6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad \quad \quad V_{Rd} = 197.4 > 131.5 \text{ kN} \quad \quad \quad \text{c.s.} = 1.5$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 6.2.4.2. Sezione 2 - Soletta estremità

Armatura inferiore	Φ 16/20
Armatura superiore	Φ 16/20
Armatura a taglio	Spilli φ10/20x20



#### 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 fid:		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	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-15.0
2	-50.0	15.0
3	50.0	15.0
4	50.0	-15.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-44.0	-9.2	16
2	-44.0	9.2	16
3	44.0	9.2	16
4	44.0	-9.2	16

**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	16
2	1	4	3	16

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

	N	Mx	My	Vy	Vx
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	0.00	-44.60	0.00	0.00	0.00

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

	N	Mx	My
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	0.00	-33.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8 cm

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

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	71 di 102

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 $\geq 1.000$
As Tesa	Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] 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	0.00	-44.60	0.00	0.00	-93.22	0.00	2.09	20.1(6.0)

**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	0.197	-50.0	-15.0	-0.00076	-44.0	-9.2	-0.01425	44.0	9.2

**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	-0.000733621	-0.007504312	0.197	0.700

**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	4.08	-50.0	-15.0	-151.7	22.0	9.2	732	10.1

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

Apertura fessure

Apert. fessure = 0.167 mm

Apert. limite = 990.000 mm

Dist. fessure = 368 mm

Area efficace = 732 cm<sup>2</sup>

Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedono spilli  $\phi 10/20 \times 20$

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
$h = 300$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 60$	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	$A_{sl,1} = 5$	$\emptyset 16$	$= 10.05 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 240$	mm altezza utile	$A_{sl,3} =$	$\emptyset$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$10.05 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} =$	kN	$V_{ed} =$	131.5 kN
------------	----	------------	----------

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.913$	$< 2$
$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$v_{min} = 0.463$	
$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$\rho_1 = 0.004$	$< 0.02$
$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa $< 0.2 f_{cd}$

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

$$V_{Rd} = 120.5 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 111.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 120.5 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 10 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \quad \text{passo } 20 \text{ cm} = 0.098 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 197.4 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 546.6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 197.4 > 131.5 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.5$$

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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

6.2.1. Riepilogo armature – soletta di copertura vasca

Elemento	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
Soletta di copertura vasca	mezzeria	Φ 16/20 sup.	Φ 12/20 est.	125 kg/m <sup>3</sup> *
		Φ 16/20 inf.	Φ 12/20 int.	
	nodo	Φ 16/20 sup.	Φ 12/20 est.	
		Φ 16/10 inf.	Φ 12/10 int.	

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

### 6.3. SOLETTA E MURO DI RIFODERA LOCALE POMPE

#### 6.3.1. Geometria muro di rifodera "1" e soletta

La soletta di fondo e il muro di rifodera del locale pompe risultano essere sollecitati prevalentemente dalla spinta idrostatica.

La soletta e il muro di rifodera "1" sono incastrati tra i due muri di rifodera "2" e "3" ed sono "contenuti" tra i diaframmi a T.

Gli schemi statici ai quali faremo riferimento per la loro progettazione, sono due:

- quello di trave in semplice appoggio;

- quello di trave incastrata ai lati;

e di questi considerare alla fine l'involuppo delle sollecitazioni.

Le luci di calcolo e gli spessori considerati sono rispettivamente:

- per il muro di rifodera "1" del locale pompe:

Luce=6.90 m  $S_p=0.60$ m;

- soletta del locale pompe:

Luce=3.8 m  $S_p=0.60$ m.

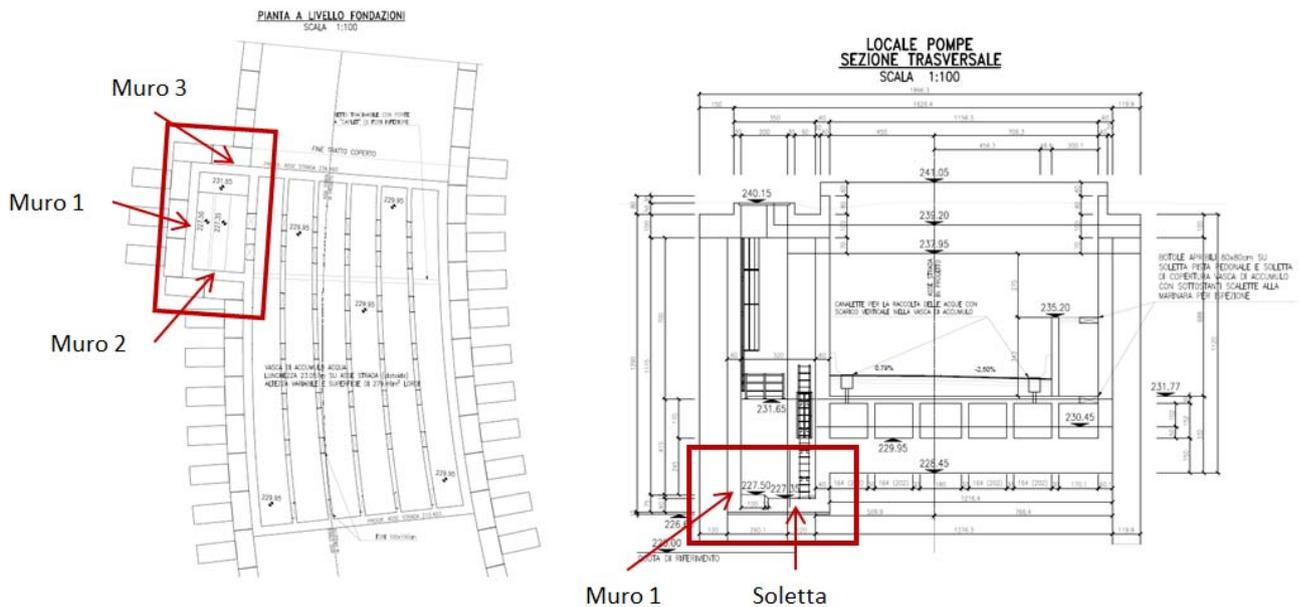


Figura 37: Pianta e Sezione trasversale muro di rifodera "1" e soletta del locale pompe

### 6.3.1. Schemi di Vincolo

A seguire un'immagine che descrive gli schemi di vincolo considerati:



Figura 38: Schemi di vincolo

### 6.3.2. ANALISI DEI CARICHI

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

#### 6.2.2.1. Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio della soletta viene calcolata considerando come peso specifico del calcestruzzo armato  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio in base alle dimensioni della sezione dell'elemento, ovvero spessore 60cm e 100cm di profondità per la soletta.

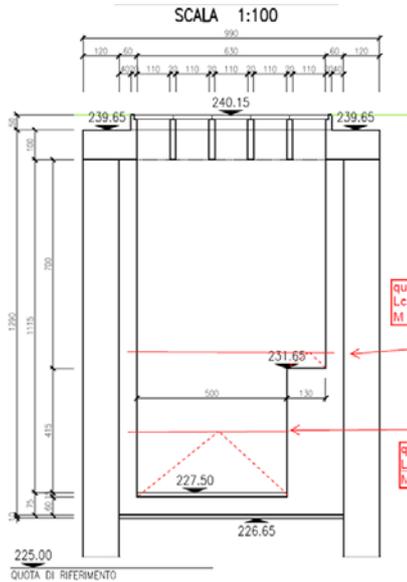
$$G1 = 25 \times 0.60 \times 1.00 = 15 \text{ kN/m.}$$

Non sarà considerato questo carico a favore di sicurezza.

#### 6.2.2.2. Spinta idrostatica (SPW)

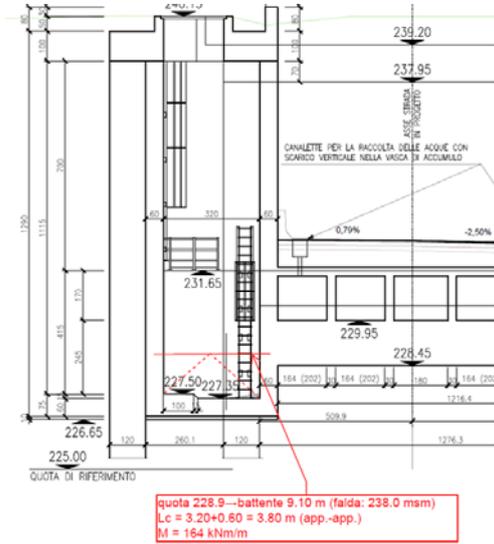
Visto la presenza della falda a quota +238 m, a partire dall'asse di fondazione, si ha un tirante idraulico che arriva ad un'altezza di circa 11.50 m.

Per il dimensionamento della muro di rifodera è stata inserita la spinta idraulica  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$  e il battente considerato (circa 9.10m) è derivante dalle seguenti considerazioni:



quota 232.3—battente 5.70 m (falda: 238.0 msm)  
Lc = 6.30+0.60 = 6.90 m (app.-app.)  
M = 280 kNm/m

quota 229.8—battente 8.2 m  
Lc = 5.00+0.60/2 = 5.30 m (app.-inc.)  
M = 289 kNm/m



quota 228.9—battente 9.10 m (falda: 238.0 msm)  
Lc = 3.20+0.60 = 3.80 m (app.-app.)  
M = 164 kNm/m

I carichi considerati sono perciò:

$$P2=q_w(z_2)=91.00 \text{ kN/m} \quad (\text{quota falda al battente considerato})$$

Mentre per la soletta una sottospinta idraulica costante pari a:

$$P4=q_w(z_4)=119.00 \text{ kN/m} \quad (\text{quota falda intradosso della soletta di fondazione})$$

### 6.3.3. COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

Per le verifiche si adotta la combinazione delle azioni fondamentale SLU tratta dal § 2.5.3 NTC 2008:

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

I valori dei coefficienti da utilizzare sono stati adottati seguendo il vigente D.M. 2008 §5.1.3.12 secondo le tabelle 5.1.IV, 5.1.V, 5.1.VI., §6.2.3.1.1 secondo le tabelle 6.2.I, 6.2.II e §6.4.2.1 secondo la tabella 6.4.I.

In particolare, sono state effettuate le verifiche con riferimento ai seguenti stati limite:

#### - SLU di tipo strutturale (STR)

raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

- STR)  $\rightarrow \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni:

- Rara)  $\rightarrow G_1 + G_2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$
- Frequente)  $\rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$
- Quasi permanente)  $\rightarrow G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$

Le azioni, vengono moltiplicati per i coefficienti parziali di sicurezza che sono indicati in tabella.

	<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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

Tabella 2: Valori dei coefficienti di combinazione

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

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

SLU/SLE.

 <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 SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

Ai fini cautelativi, per la combinazione di esercizio quasi permanente, non si applica il fattore di riduzione  $\Psi_{0,2}$  per il carico accidentale.

	SLU	SLE (rara)	SLE (freq)	SLE (Q.P.)
G1	1.35	1	1	1
G2	1.50	1	1	1
Q	1,50	1	1	1

### 6.3.3.1. Soletta di fondo

-Schema di carico di trave in semplice appoggio:

Calcolo momenti:

$$M_1 \text{ (SLU)} = -qL^2/8 = -(1.5 \times 119) \times 3.80^2 / 8 = -322.20 \text{ kNm}$$

$$M_1 \text{ (SLE)} = qL^2/8 = (1.0 \times 119) \times 3.80^2 / 8 = -214.80 \text{ kNm}$$

Calcolo Taglio

$$T_1 = qL/2 = (1.5 \times 119) \times 3.8 / 2 = 339 \text{ kN}$$

Si calcola la deformazione in mezzera:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = bxh^3/12 = 1000 \times 600^4/12 = 1.08 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$f_1 = 5/384 \times (qL^4)/EI = 5/384 \times [(1.0 \times 119.0) \times 1000] \times 3800^4 / (210000 \times 1.08 \times 10^{13}) = 0.142 \text{ mm}$$

-Schema di trave incastrata ai lati:

$$M_2 \text{ (SLU)} = qL^2/12 = (1.5 \times 119) \times 3.80^2 / 12 = 214.8 \text{ kNm}$$

$$M_2 \text{ (SLE)} = qL^2/12 = (1.0 \times 119) \times 3.80^2 / 12 = 143.20 \text{ kNm}$$

Calcolo Taglio

$$T_2 = qL/2 = (1.5 \times 119) \times 3.80 / 2 = 339.2 \text{ kN}$$

Si calcola la deformazione in mezzera:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = bxh^3/12 = 1000 \times 600^4/12 = 1.08 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$f_2 = 1/384 \times (qL^4)/EI = 1/384 \times [(1.0 \times 119) \times 1000] \times 3800^4 / (210000 \times 1.08 \times 10^{13}) = 0.0285 \text{ mm}$$

Inviluppo sollecitazioni:

$$M_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLU}) = M_1 = -322.20 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot estremità}} (\text{SLU}) = M_2 = 214.8 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLE}) = M_1 = -214.8 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot estremità}} (\text{SLE}) = M_2 = 143.20 \text{ kNm}$$

$$T_1 = T_2 = 339.2 \text{ kN}$$

$$\text{Limite deformazione ammissibile } f_{\text{max}} = L/300 = 3800/300 = 12.67 \text{ mm}$$

$$f_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLE}) = f_1 + f_2 = 0.142 + 0.0285 = 0.1705 \text{ mm} < 12.67 \text{ mm} = f_{\text{max}}$$

### 6.3.3.1. Muro di rifodera

-Schema di carico di trave in semplice appoggio (considero Luce di calcolo massima a favore di sicurezza):

Calcolo momenti:

$$M_1 (\text{SLU}) = -qL^2/8 = -(1.5 \times 91) \times 6.90^2 / 8 = -812.3 \text{ kNm}$$

$$M_1 (\text{SLE}) = -qL^2/8 = (1.0 \times 91) \times 6.90^2 / 8 = -541.5 \text{ kNm}$$

Calcolo Taglio

$$T_1 = qL/2 = (1.5 \times 91) \times 6.9 / 2 = 470.9 \text{ kN}$$

Si calcola la deformazione in mezzaria:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = bxh^3/12 = 1000 \times 600^4/12 = 1.08 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$f_1 = 5/384 \times (qL^4)/EI = 5/384 \times [(1.0 \times 91.0) \times 1000] \times 6900^4 / (210000 \times 1.08 \times 10^{13}) = 1.20 \text{ mm}$$

-Schema di trave incastrata ai lati:

$$M_2 (\text{SLU}) = qL^2/12 = (1.5 \times 91) \times 6.90^2 / 12 = 541.6 \text{ kNm}$$

$$M_2 (\text{SLE}) = qL^2/12 = (1.0 \times 91) \times 6.90^2 / 12 = 361.04 \text{ kNm}$$

Calcolo Taglio

$$T_2 = qL/2 = (1.5 \times 113) \times 6.90 / 2 = 470.91 \text{ kN}$$

Si calcola la deformazione in mezzaria:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$I = bxh^3/12 = 1000 \times 600^4/12 = 1.08 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$f_2 = 1/384 \times (qL^4)/EI = 1/384 \times [(1.0 \times 91) \times 1000] \times 6900^4 / (210000 \times 1.08 \times 10^{13}) = 0.236 \text{ mm}$$

Inviluppo sollecitazioni:

$$M_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLU}) = M_1 = -812.3 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot estremità}} (\text{SLU}) = M_2 = 541.6 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLE}) = M_1 = -541.5 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{tot estremità}} (\text{SLE}) = M_2 = 361 \text{ kNm}$$

$$T_1 = T_2 = 470.91 \text{ kN}$$

$$\text{Limite deformazione ammissibile } f_{\text{max}} = L/300 = 6900/300 = 23 \text{ mm}$$

$$f_{\text{tot mezzaria}} (\text{SLE}) = f_1 + f_2 = 1.20 + 0.236 = 1.436 \text{ mm} < 23 \text{ mm} = f_{\text{max}}$$

	<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>SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO VASCA</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200003	REV. A

#### 6.3.4. Verifiche strutturali

Le verifiche strutturali sono state svolte in RC-Sec si riportano gli output delle verifiche nelle sezioni S1 ed S2.

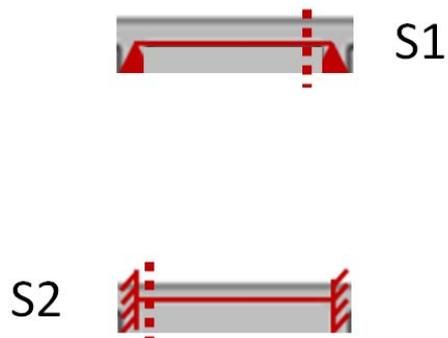
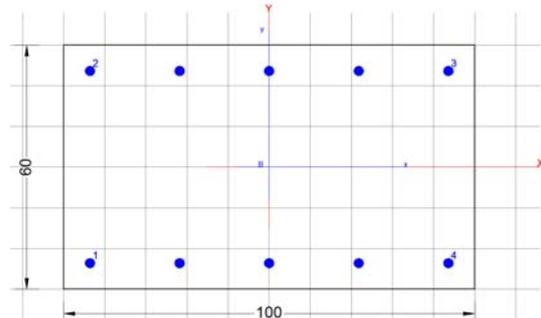


Figura 6-39: sezioni di verifica

### 6.3.3.1. Soletta di fondo

#### 6.3.4.1. Sezione 1 - Soletta in mezzeria

Armatura inferiore	Φ 24/20
Armatura superiore	Φ 24/20
Armatura a taglio	Spilli φ10/20x20



#### 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
Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :		1.00
Coeff. Aderenza differito β1*β2 :		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	-30.0

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	84 di 102

2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.6	-23.6	24
2	-43.6	23.6	24
3	43.6	23.6	24
4	43.6	-23.6	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	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.				
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	0.00	-322.20	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	0.00	-214.80	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 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  $\geq 1.000$   
 As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] 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	0.00	-322.20	0.00	0.00	-445.59	0.00	1.38	22.6(12.0)

**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	0.128	-50.0	-30.0	0.00022	-43.6	-23.6	-0.02394	43.6	23.6

**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	-0.000511862	-0.011855854	0.128	0.700

**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	4.85	50.0	-30.0	-196.0	21.8	23.6	1500	22.6

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.263 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 447 mm
Area efficace = 1500 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedono spilli  $\phi 10/20 \times 20$

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
$h = 600$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 64$	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	$A_{sl,1} = 5 \quad \emptyset \quad 24$		$= 22.62 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = \quad \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 536$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = \quad \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$22.62 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = \quad \text{kN} \quad V_{ed} = 339.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.611 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.358$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.004 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 227.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 191.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 227.2 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

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

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \quad 10 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.098 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 440.9 \text{ kN}$$

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

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

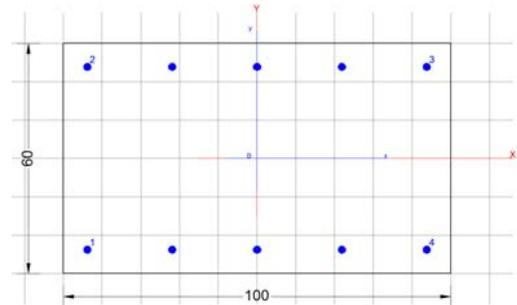
$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1220.7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 440.9 > 339.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.3$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 6.3.4.2. Sezione 2 - Soletta estremità

Armatura inferiore	Φ 20/20
Armatura superiore	Φ 20/20
Armatura a taglio	Spilli φ10/20x20



#### 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:	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
Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	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	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-43.8	-23.8	20
2	-43.8	23.8	20
3	43.8	23.8	20
4	43.8	-23.8	20

**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	20
2	1	4	3	20

**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	0.00	214.80	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	0.00	143.20	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**
**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	19.9 cm

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

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
-----	--

**PROGETTO DEFINITIVO**
**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO**  
**APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA**  
**BERGAMO E MONTELLO**  
**SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)**
**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	90 di 102

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	0.00	214.80	0.00	0.00	317.93	0.00	1.48	15.7(12.0)

**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	0.109	-50.0	30.0	-0.00019	43.8	23.8	-0.02852	-43.8	-23.8

**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	0.000595093	-0.014352783	0.109	0.700

**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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm²] 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	3.83	-50.0	30.0	-185.1	-43.8	-23.8	1549	15.7

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.284 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 512 mm
Area efficace = 1549 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedono spilli  $\phi 10/20 \times 20$

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
$h = 600$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 62$	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	$A_{sl,1} = 5 \quad \emptyset \quad 20$		$= 15.71 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = \quad \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 538$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = \quad \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$15.71 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = \quad \text{kN} \quad V_{ed} = 339.2 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.610 < 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{\min} = 0.357$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.003 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 201.6 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{\min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 192.3 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 201.6 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

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

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \quad 10 \text{ mm con n}^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.098 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 442.5 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1225.2 \text{ kN}$$

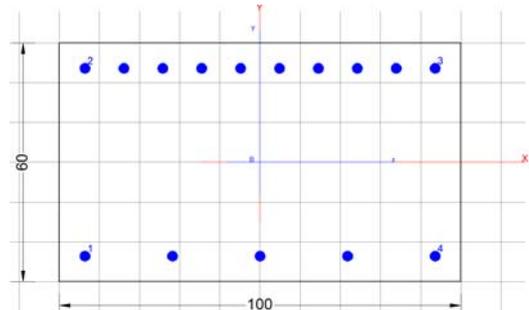
$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 442.5 > 339.2 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.3$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 6.3.3.1. Muro di rifodera

#### 6.3.4.3. Sezione 1 - Muro in mezzeria

Armatura lato esterno	Φ 26/10
Armatura lato interno	Φ 26/20
Armatura a taglio	staffe φ12/20x20



#### 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:	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
	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	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C32/40

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

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	94 di 102

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	-42.5	-21.0	26
2	-42.5	20.0	26
3	42.5	20.0	26
4	42.5	-21.0	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	2	3	8	26
2	1	4	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	0.00	-812.30	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	0.00	-541.50	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm

Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 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  $\geq 1.000$   
 As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] 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	0.00	-812.30	0.00	0.00	-888.32	0.00	1.09	53.1(11.0)

**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	0.203	-50.0	-27.5	0.00114	-42.5	-21.0	-0.01372	42.5	20.0

**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	-0.000362452	-0.006467429	0.203	0.700

**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	10.91	-50.0	-27.5	-247.8	33.1	20.0	1200	53.1

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

**Apertura fessure**

Apert. fessure = 0.300 mm

Apert. limite = 990.000 mm

Dist. fessure = 311 mm

Area efficace = 1200 cm<sup>2</sup>

Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedono staffe  $\phi 12/20 \times 20$

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
$c = 75$	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	$A_{s1,1} = 10 \quad \emptyset \quad 26$		$= 53.09 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = \quad \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 475$	mm altezza utile	$A_{s1,3} = \quad \emptyset$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$53.09 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = \quad \text{kN} \quad V_{ed} = 470.9 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.649 < 2$$

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

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.011 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = 0.00 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 309.7 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 199.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 309.7 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

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

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

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

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset \quad 12 \text{ mm con } n^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 2.5 \quad \text{passo } 20 \text{ cm} = 0.141 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha \quad V_{Rsd} = 562.6 \text{ kN}$$

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

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

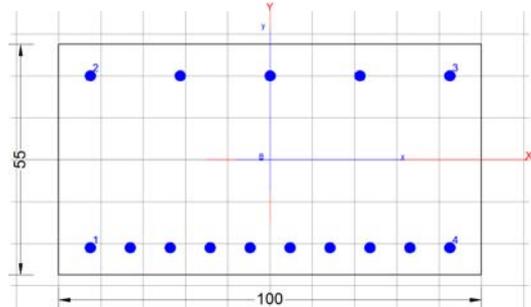
$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 1384.6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 562.6 > 470.9 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.2$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

#### 6.3.4.4. Sezione 2 - Muro estremità

Armatura inferiore	Φ 26/10
Armatura superiore	Φ 26/20
Armatura a taglio	staffe φ12/20x20



#### 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:	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
	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	

#### 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	-42.5	-21.0	26
2	-42.5	20.0	26
3	42.5	20.0	26
4	42.5	-21.0	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	2	3	3	26
2	1	4	8	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	0.00	541.60	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	0.00	361.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.8 cm

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

**RELAZIONE DI CALCOLO VASCA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200003	A	100 di 102

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	0.00	541.60	0.00	0.00	902.23	0.00	1.67	53.1(11.0)

**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	0.213	-50.0	27.5	0.00096	-42.5	20.0	-0.01295	-42.5	-21.0

**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	0.000339265	-0.005829800	0.213	0.706

**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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] 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	7.14	-50.0	27.5	-162.4	33.1	-21.0	1200	53.1

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

Apertura fessure

Apert. fessure = 0.151 mm

Apert. limite = 990.000 mm

Dist. fessure = 277 mm

Area efficace = 1200 cm<sup>2</sup>

Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### Verifica di resistenza a taglio

Si prevedono staffe  $\phi 12/20 \times 20$

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

$c = 75$  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  $A_{sl,1} = 10 \text{ } \emptyset \text{ } 26 = 53.09 \text{ cm}^2$

$\alpha_{cc} = 0.85$  coeff. riduttivo  $A_{sl,2} = \emptyset = 0.00 \text{ cm}^2$

$d = 475$  mm altezza utile  $A_{sl,3} = \emptyset = 0.00 \text{ cm}^2$

$f_{cd} = 18.13$  MPa resist. di calcolo  $53.09 \text{ cm}^2$

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

$N_{ed} =$  kN  $V_{ed} = 470.9$  kN

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$   $k = 1.649 < 2$

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

$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$   $\rho_1 = 0.011 < 0.02$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$   $\sigma_{cp} = 0.00$  MPa  $< 0.2 f_{cd}$

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

$V_{Rd} = 309.7$  kN; (con  $(v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 199.1$  kN)

$V_{Rd} = 309.7$  kN valore di calcolo

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

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

$\theta = 22.8$  ° 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  $20$  cm  $= 0.141 \text{ cm}^2/\text{cm}$

$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha$   $V_{Rsd} = 562.6$  kN

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

$\alpha_c = 1.000$  coeff. maggiorativo

$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha)$   $V_{Rcd} = 1384.6$  kN

$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$   $V_{Rd} = 562.6 > 470.9$  kN c.s. = 1.2

la sezione armata a taglio risulta verificata.