

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 29+660 LS (tratta Bergamo-Montello)

Relazione di calcolo scatolare

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 1 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
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	8
4.	MATERIALI .....	10
4.1.	CALCESTRUZZO .....	10
4.2.	ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA .....	10
5.	CODICE DI CALCOLO .....	11
6.	MODELLO DI CALCOLO .....	12
6.1.	GEOMETRIA .....	12
6.2.	MODELLAZIONE DELL'INTERAZIONE SUOLO-STRUTTURA .....	14
7.	ANALISI DEI CARICHI .....	16
7.1.	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA (PP).....	16
7.2.	CARICHI PERMANENTI PORTATI (PERM-BALLAST) .....	16
7.3.	SPINTA DEL BALLAST E SPINTA SULLE PARETI DOVUTA AL TERRENO E ALL'ACQUA (SPTSX E SPTDX) .....	17
7.4.	CARICHI FERROVIARI SOPRASTANTI (ACC1/ACC2) .....	18
7.5.	SPINTA SUI PIEDRITTI PRODOTTA DAL SOVRACCARICO LM71 (SASX E SADX / SASXLM71).....	20
7.6.	AZIONE DI FRENATURA E AVVIAMENTO (AVV) .....	22
7.7.	AZIONI INDOTTE DALLE VARIAZIONI TERMICHE (TERM) .....	22
7.8.	RITIRO (RITIRO).....	22
7.9.	AZIONI SISMICHE .....	24
7.9.1.	Sovrappinta sismica del terreno (SISX).....	26
7.9.2.	Forze inerziali (INERZIEH e SISVER).....	27
8.	COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI.....	30
9.	VERIFICHE .....	38
9.1.	VERIFICHE A FLESSIONE.....	38

9.1.1.	Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro.....	38
9.1.2.	Sezione 2 - soletta superiore mezzeria.....	43
9.1.3.	Sezione 3 - piedritto destro testa .....	47
9.1.4.	Sezione 4 - piedritto sinistro piede .....	52
9.1.5.	Sezione 5 - piedritto sinistro mezzeria.....	57
9.1.6.	Sezione 6 - soletta inferiore appoggio sinistro .....	61
9.1.7.	Sezione 7- soletta inferiore mezzeria.....	66
9.2.	VERIFICA A DEFORMAZIONE SOLETTA SUPERIORE .....	70
9.3.	VERIFICA DELLO SGHEMBO.....	72
10.	RIEPILOGO ARMATURE – SCATOLARE .....	73
11.	PLATEA DI VARO E MURO REGGISPINTA.....	74
11.1.	DESCRIZIONE DELL’OPERA.....	74
11.2.	MATERIALI.....	75
11.3.	AZIONI E SOLLECITAZIONI.....	76
11.4.	PLATEA DI VARO .....	80
11.4.1.	Riepilogo armature.....	85
11.5.	MURO REGGISPINTA.....	87
11.5.1.	Riepilogo armature.....	100
12.	SCATOLARE REALIZZATO IN OPERA NELLA CAMERA DI ARRIVO .....	101
1	TABULATI DI CALCOLO .....	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza del monolite che realizza la prima parte del sottopasso SL02 . La parte restante sarà un sottovia gettato in opera avente delle criticità realizzative, essendo interposto tra fabbricati esistenti. L’opera d’arte sarà estesa verso sud anche sotto a via Don G. Canini garantendo in questo modo la sua continuità a cavallo della nuova viabilità e sarà così in grado di eliminare il PL esistente al km 7+580 LS della tratta Bergamo – Montello (lotto1).

La sezione stradale di progetto è di tipologia F ambito urbano con le corsie aumentate a 3,50 m, banchine di 0,50 m e marciapiede dilivellato du 2,00 m e pertanto la larghezza complessiva della piattaforma sarà pari a 11,00 m.

Visto che l’andamento altimetrico della viabilità prevede un punto di minimo in corrispondenza del sottovia, è necessario prevedere un impianto di sollevamento per le acque di piattaforma.

Lo scatolare in esame ha uno sviluppo longitudinale complessivo pari a circa 17 m (tratto coperto) + 5.73 m (coda ad U) , verrà realizzato fuori sede e successivamente sarà spinto sotto binari.

Le dimensioni interne B x H = 6.30 x 11m. La soletta superiore e i piedritti hanno uno spessore di 1.10 m, mentre la soletta di fondazione ha uno spessore costante di 1.2 m.

Il ricoprimento dello scatolare è pari a circa 1.17 m, compatibile con l’inserimento del Ponte Guido.

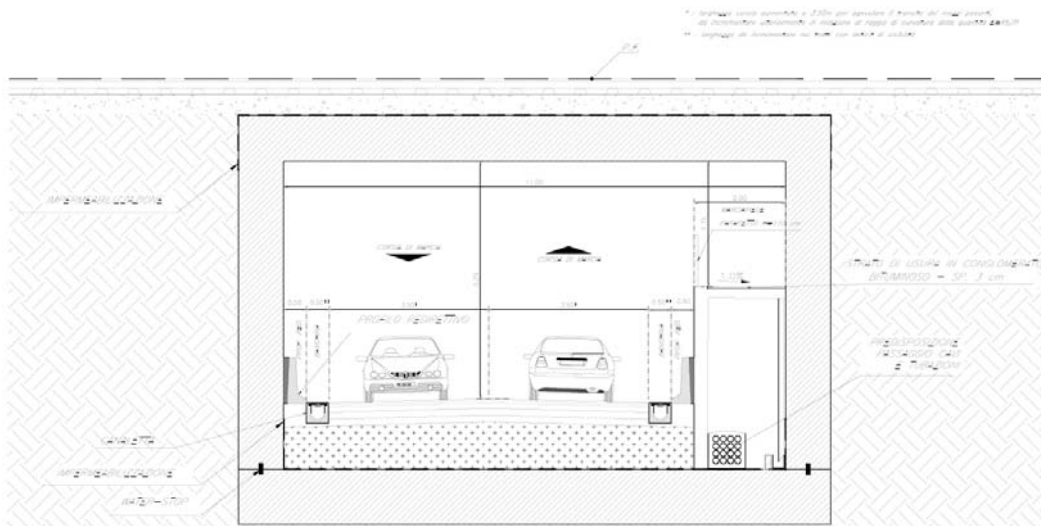


Figura 1: Sezione trasversale con arredo

SEZIONE TRASVERSALE TIPICA

SCALA 1:100

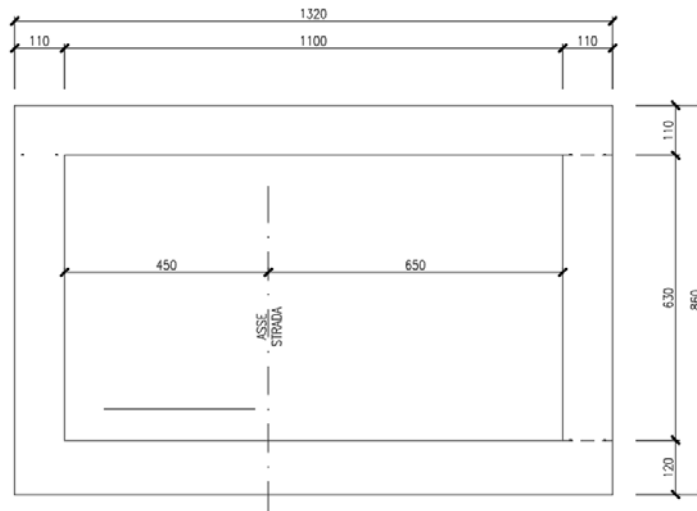




Figura 2: Sezione trasversale tipica dello scatolare con dimensioni "di calcolo"

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A




Figura 3: Localizzazione della MASW effettuata

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

Nome di Opera	Progressive	SL	$a_g$ (g)	S (-)	$a_{max}$ (g)
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.

 <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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

## 4. MATERIALI

### 4.1. Calcestruzzo

- SOLETTA SUPERIORE

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 C1

Copriferro minimo = 50mm

- 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-XF2-XD1

Calcestruzzo tipo C2

Copriferro minimo = 50mm

- FONDAZIONE

Classe C25/30

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

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

Classe di esposizione = XC2

Calcestruzzo tipo G2

Copriferro minimo = 50 mm

- MAGRONE:

Classe C12/15


Classe di esposizione = X0

### 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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	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.

## 6. MODELLO DI CALCOLO

### 6.1. Geometria



Figura 4: Geometria dell'opera

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L <sub>tot</sub>	13.20	m
Larghezza utile	L <sub>int</sub>	11.00	m
Larghezza interasse	L <sub>a</sub>	12.10	m
Spessore soletta superiore	S <sub>s</sub>	1.10	m
Spessore piedritti	S <sub>p</sub>	1.10	m
Spessore fondazione	S <sub>f</sub>	1.20	m
Altezza totale	H <sub>tot</sub>	8.60	m
Altezza libera	H <sub>int</sub>	6.30	m
Spessore pavimentazione stradale superiore	H <sub>p</sub>	0.00	m
Spessore medio del ballast (armamento ferroviario)	H <sub>b</sub>	1.10	m
Spessore rinterro superiore	H <sub>r</sub>	0	m

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

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello di telaio piano chiuso che poggia su un letto di molle alla Winkler.

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.

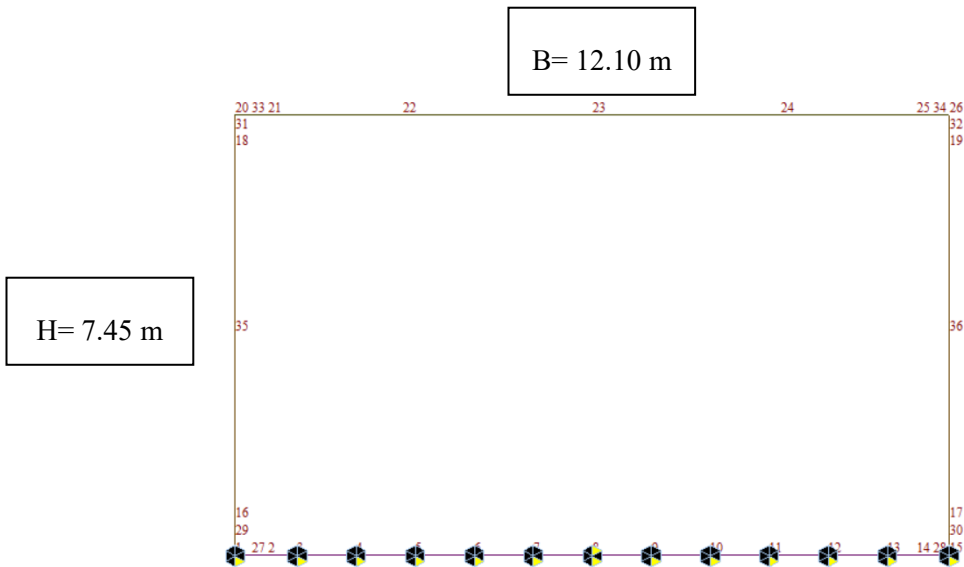


Figura 5: Numerazione dei nodi nel modello strutturale

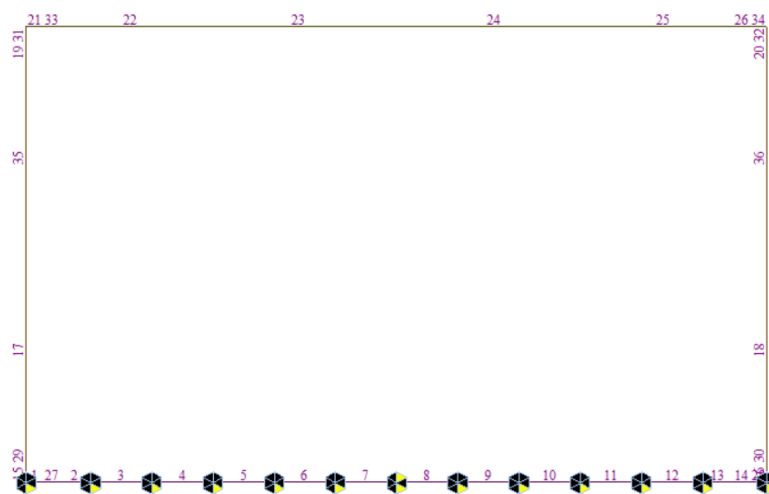


Figura 6: Numerazione dei frame nel modello strutturale

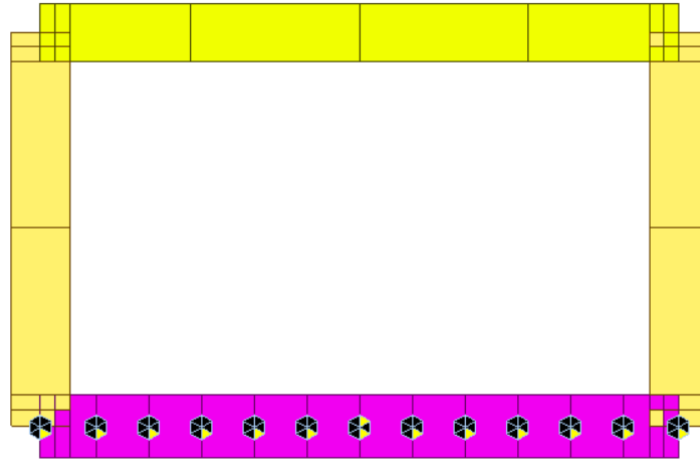


Figura 7: Vista estrusa del modello strutturale

## 6.2. Modellazione dell'interazione suolo-struttura

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 12 elementi di pari lunghezza, ossia 13 nodi ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello ( $B=1,0\text{m}$ ), si ha:

Molle centrali


$$K_{\text{centrale}} = K_s * (Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2) / 12 = 10083 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_{15} = 2 * K_s * [(Sp/2 + L_{\text{int}} + Sp/2) / 10/2 + (Sp/2)] = 21083 \text{ kN/m}$$

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

$$K_3 = K_4 = K_5 = K_6 = K_7 = K_9 = K_{10} = K_{11} = K_{12} = K_{13} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 15125 \text{ kN/m}$$

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

## 7. REQUISITI STI

Per quanto riguarda i requisiti della STI INFRA al §4.2.7.1, lo sghembo è verificato al §10.3, mentre la spinta di serpeggio non viene calcolato perché non dimensionante (§§ 4.2.7.1.3 a 4.2.7.1.6 della STI).

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

## 8. ANALISI DEI CARICHI

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

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

### 8.2. Carichi permanenti portati (PERM-BALLAST)

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ballast compresa la traversina pari a  $s_{ball} = 1.10 \text{ m}$  con peso di unità di volume  $\gamma_{ball} = 18.00 \text{ kN/m}^3$ . Il carico uniformemente distribuito verticale agente sulla soletta superiore corrisponde a  $19.8 \text{ KN/m}$  ed in corrispondenza dei nodi 20 e 26, la parte di carico del ballast verticale esercitata su  $1/2$  spessore dei piedritti è pari a  $10.89 \text{ KN}$ .

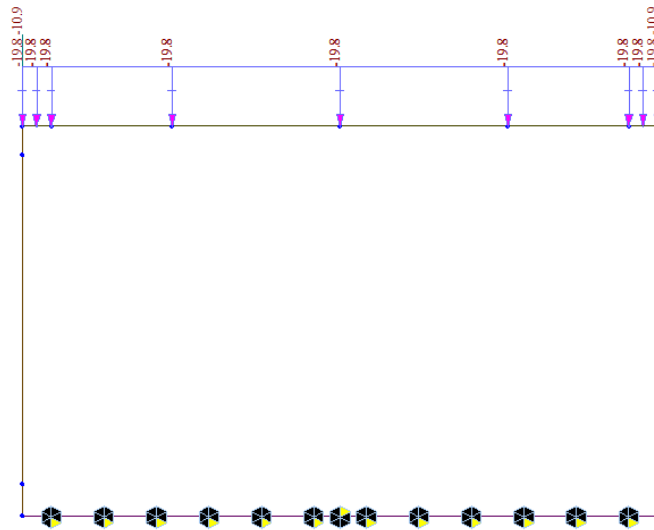


Figura 8: Carico permanente verticale ballast



### 8.3. Spinta del Ballast e Spinta sulle pareti dovuta al terreno e all'acqua (SPTSX e SPTDX)

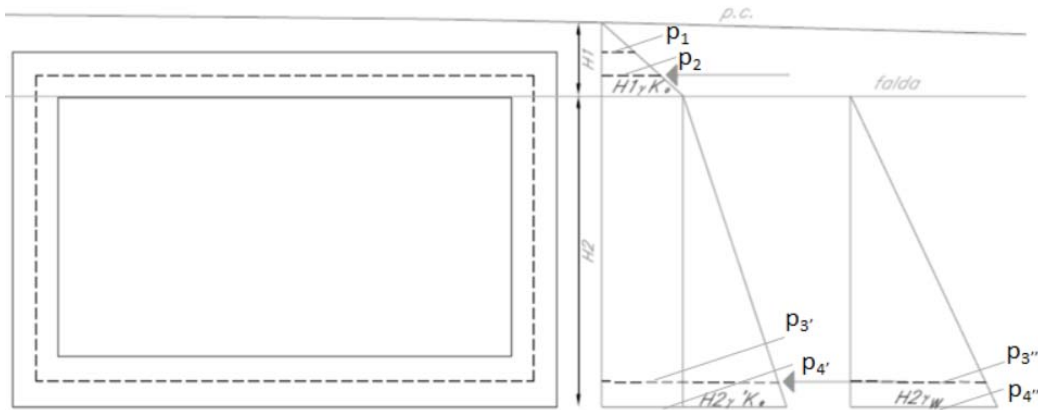


Figura 9: Spinte del terreno e dell'acqua

Le spinte aggiuntive ai lati del monolite sono dovute al terreno e all'acqua, per la presenza di falda rilevata a quota +238 m, corrispondente circa all'intradosso della soletta di copertura ( $H_1=2.10$  m).

Tali azioni vengono calcolate per i seguenti valori di peso specifico ed angolo di attrito:

$$\gamma_{\text{sat}} = 20.0 \text{ kN/m}^3; \quad \gamma' = 10.0 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi' = 38^\circ$$

$$C_u = 0.0 \text{ kN/mq}$$

$$\gamma_r = 20 \text{ kN/m}^3$$

Il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula della spinta a riposo:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi' = 0.38$$

Coerentemente con le quote assolute del p.c. e della falda di progetto, l'acqua di falda spinge sui piedritti con un peso specifico:

$$\gamma_w = 10.0 \text{ kN/m}^3$$

Perciò le spinte del terreno e della falda sulla parete verticale sono le seguenti:

Cond. STR		
$p_1 =$	7.52	kN/m   Pressione estradosso soletta superiore

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	18 di 106

$p_2 =$	11.70	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
$p_3 = p_3' + p_3''$	110.91	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
$p_4 = p_4' + p_4''$	113.2	kN/m	Pressione intradosso soletta inferiore

In più, viene aggiunto, come carico concentrato nei nodi di estremità del piedritto la parte di spinta del terreno esercitata su metà spessore della soletta superiore e quello agente su metà spessore della soletta inferiore.

Carico concentrato sui nodi 20,1 e 26,15				
Nodi sup.	$1/2 * (p_1 + p_2) * S_s/2$	5.29	kN	S <sub>pinta</sub> semispessore soletta superiore
Nodi inf.	$1/2 * (p_3 + p_4) * S_f/2$	67.23	kN	Spinta semispessore soletta inferiore

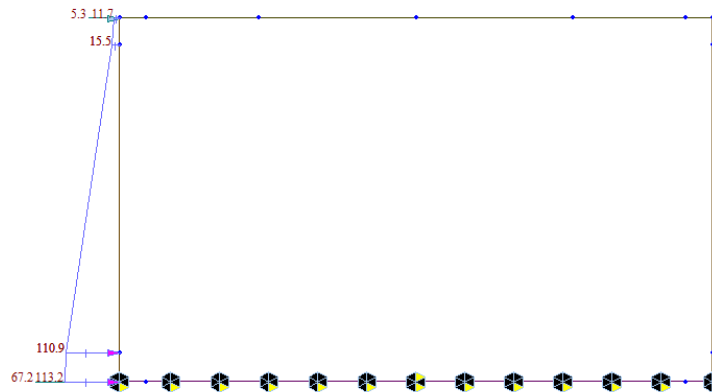
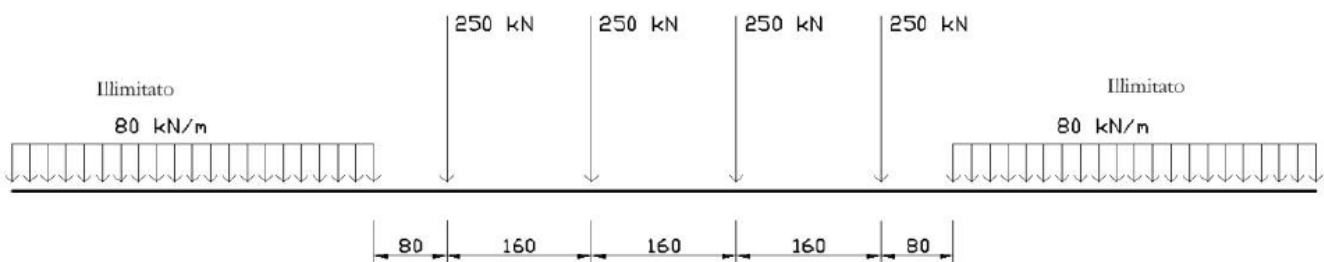


Figura 10: Spinte del ballast delle terre e dell'acqua sul piedritto sinistro (stesso per piedritto destro)


#### 8.4. Carichi ferroviari soprastanti (ACC1/ACC2)

I carichi da treno presi in considerazione nei calcoli sono il modello LM71 e SW/2.



$Q_{vk} = 250 \text{ kN}$      $q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$

Figura 11: Treno di carico LM71

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

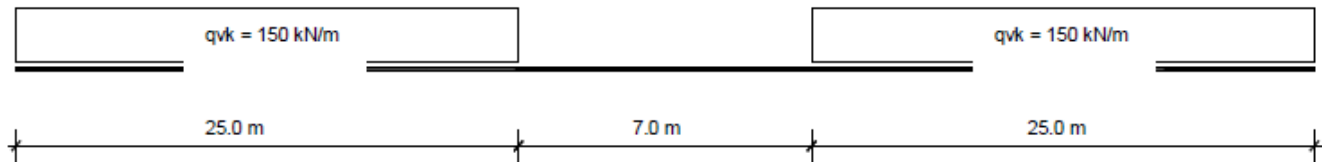


Figura 12: Treno di carico SW/2

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM71 rispetto al carico dovuto al treno SW/2.

I valori dei suddetti carichi devono essere amplificati mediante un coefficiente di adattamento “ $\alpha$ ”, variabile in funzione della tipologia di infrastruttura, e un coefficiente dinamico “ $\Phi$ ”, che tiene conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al paragrafo 5.2.2.3.3 “Effetti dinamici” del DM08. Per linea con ridotto standard manutentivo, si assume il coefficiente  $\Phi_3$ , e si applica il punto 5.4.

$$1.00 \leq \Phi_3 = 0.9 * \left[ \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.20} + 0.73 \right] \leq 2.00$$

$\Phi_3 =$	1.26	
$L_\Phi$	11.7	m

Il coefficiente di adattamento, invece, viene assunto pari a 1.10, in accordo alla tabella 2.5.1.4.1-1 del succitato Manuale di progettazione delle opere civili.

Si considera che i sovraccarichi ferroviari si distribuiscano attraverso il ricoprimento con una pendenza 1 a 4 all'interno del ballast, con un angolo di diffusione pari all'angolo di attrito interno del terreno nel sub-ballast, super compattato, rinterro e con la pendenza a 45° all'interno del CLS.

Nel caso in esame la diffusione trasversale del carico ferroviario interessa una larghezza pari a:

Diffusione del carico in senso trasversale		
$L_d = L_t + ((H_b - H_{tb})/4 + H_r * 2/3 + S_s/2) * 2$	3.86	m

dove  $L_t$  indica la lunghezza della traversa pari a 2,40 m,  $H_b = 1.10$  e  $H_r = 0.0$  m.

Pertanto il carico ripartito, dovuto al treno LM71 (considerando il coefficiente di adattamento  $\alpha = 1.10$ , il coefficiente dinamico  $\Phi_3 = 1.26$ ), risulta:

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate		
$Q_{vk} = (4 * 250 / 6.40) * \alpha * \Phi_3 / L_d$	56.2	kN/m <sup>2</sup>
Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		

$q_{vk} = (80 * \alpha * \Phi_3) / L_d$	28.76	kN/m <sup>2</sup>
---	-------	-------------------

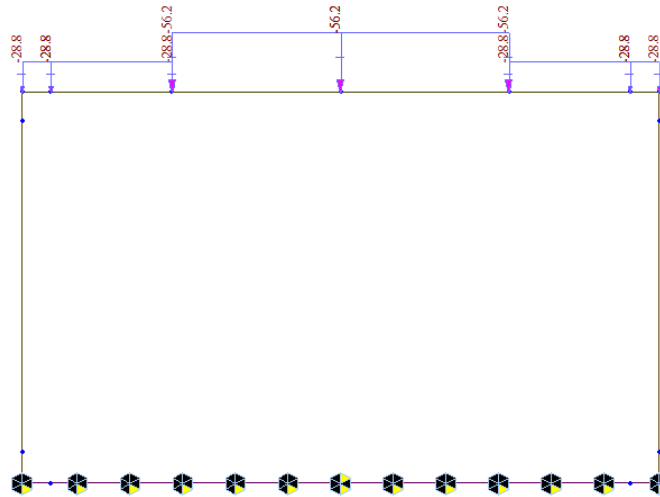


Figura 13: Carichi Treno LM71 condizione Momento massimo ACC1

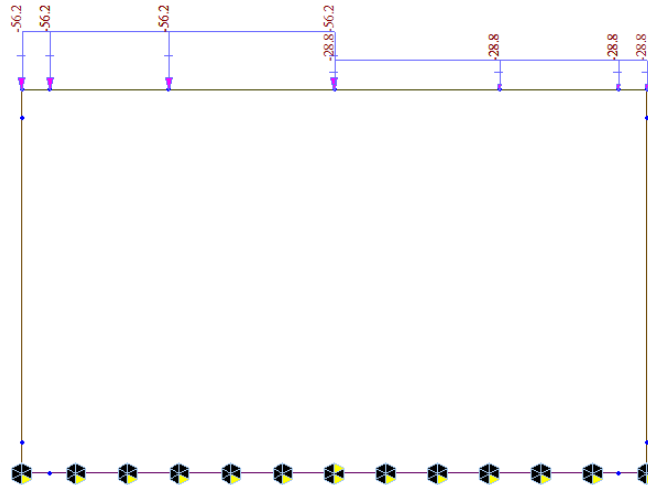


Figura 14: Carichi Treno LM71 condizione Taglio massimo ACC2

### 8.5. Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico LM71 (SASX e SADX / SASXLM71)

Carico distribuito (80 kN/m)-SASX , SADX		
$q_h = (80 * \alpha / L_d) * K_0$	8.7	kN/m
Carico puntuale ripartito (4*250/6.40 kN/m)-SASXLM71		
$Q_h = [4 * 250 * \alpha / (L_d * 6.40)] * K_0$	16.94	kN/m

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 25,27,28 e 29 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta superiore e inferiore:

<b>Nodi sup. (SASX , SADX) sui nodi 20 e 26</b>	
$q_h * S_s / 2$	4,7 kN
<b>Nodi sup. (SASXLM71) sui nodi 1 e 15</b>	
$Q_h * S_s / 2$	9.3 kN

<b>Nodi inf (SASX , SADX) sui nodi 20 e 26</b>	
$Q_h * S_s / 2$	4,95 kN
<b>Nodi inf (SASXLM71) sui nodi 1 e 15</b>	
$Q_h * S_f / 2$	10.16 kN

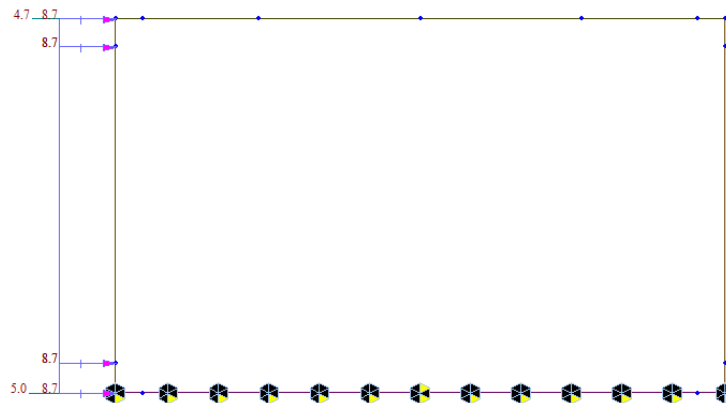



Figura 15: Spinta dal carico accidentale distribuito nel piedritto sinistra(stesso per piedritto destra)



Figura 16: Spinta dal carico accidentale puntuale nel piedritto sinistra

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

### 8.6. Azione di frenatura e avviamento (AVV)

La forza di frenatura del modello SW/2 agente su tutta la larghezza dello scatolare è pari a 35 kN/m, mentre quella di avviamento del modello LM71 è di 33 kN/m. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento. Distribuendo tale forza sulla larghezza di diffusione del carico si avrà:

$A_{vv}$	33	kN/m
$Q_{Av}=A_v/L_d$	8.6	kN/m

Il valore viene considerata in asse alla soletta superiore.

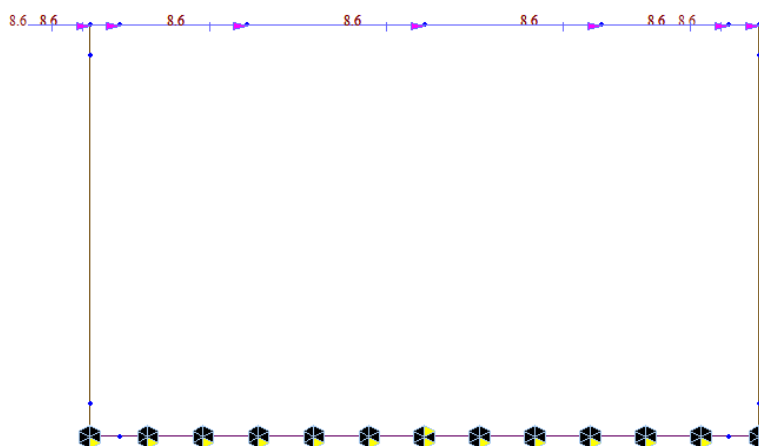


Figura 17: AVV

### 8.7. Azioni indotte dalle variazioni termiche (TERM)

La variazione termica uniforme applicata alla soletta di copertura è pari a  $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ .

La variazione termica a farfalla applicata alla soletta di copertura è pari a  $\Delta T = +5^\circ\text{C}$ .

L'azione è applicata alla soletta superiore dello scatolare.

### 8.8. Ritiro (RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 14-01-2008.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{rit} = 8.2^\circ\text{C}$$

Si riporta qui di seguito la determinazione dell'effetto di ritiro / fluage sulla sola soletta superiore:

**Dati:**

Resist. Carat. a compr. cilindrica a 28gg, $f_{ck}$ :	33.2	Mpa
Tempo "t" valutazione resistenza:	28	gg
Classe Cemento (Rapid, Normal, Slow):	N	"R,N,S"
Aggregati:(Quarzite,Calcare, Arenaria, Basalto):	Q	"Q,C,A,B"
Umidità relativa percentuale RH:	60	%
Area sezione trasversale di calcestruzzo $A_c$ :	11000	cm <sup>2</sup>
Perimetro a contatto con l'atmosfera "u":	100	cm
Altezza totale elemento:	13000	mm

**Valori calcolati:**

Res. Car. a compres. cubica $R_{ck}$ :	40.00	MPa
Resist. media a compr. cilindrica a 28gg, $f_{cm}$ :	41.20	Mpa
Resist. media a trazione a 28gg, $f_{ctm}$ :	3.10	MPa
$f_{ctk,0.05} =$	2.17	MPa
$f_{ctk,0.95} =$	4.03	MPa
Res. media a Comp. Cil. Al tempo "t": $f_{cm}(t)$	41.20	MPa
Res. media a Traz. Cil. Al tempo "t": $f_{ctm}(t)$	3.10	MPa
$E_{cm}$ (modulo secante tra 0 e 0,4 $f_{cm}$ ) a 28gg:	33642.78	MPa
$E_{cm}$ (modulo secante tra 0 e 0,4 $f_{cm}$ ) a "t" gg:	33642.78	MPa
Età "t <sub>0</sub> " corretta del cls al momento della messa in carico (da scheda specifica):	30.00	gg
$\varphi(t_0,inf):$	2.752	
Res. Media a traz. Per flessione: $f_{ctm,fl}$	3.10	MPa
ritiro totale $\varepsilon_{cs}(t_0,inf):$	2.981E-04	

Coefficiente di viscosità  $\varphi(t, t_0) = \varphi_0 * \beta_c(t, t_0)$ 

$f_{cm} = 41.20$	Mpa	$\alpha_1 = 0.8921$	$\alpha_2 = 0.9679$	$\alpha_3 = 0.9217$
$h_0 = 2A_c/u = 2200$	mm			
$t_0 = 1.00$	gg		$\varphi_{RH} = 1.2335$	
$t = 36500$	gg		$\beta(f_{cm}) = 2.6173$	
			$\beta(t_0) = 0.9091$	
		$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) =$	<b>2.9349</b>	$\beta_H = 1382.5$
		$\varphi_{0/1.05} =$	<b>2.7952</b>	
		$\varphi_0(t)/1.05 =$	<b>2.7642</b>	

$t_s$	<b>1</b>	
$h_0$	2200	mm
età corretta =	30.00	gg
$t_0$	1	gg
$t_{00}$	36500	gg
$\beta_{ds} =$	0.8984	
$\varepsilon_{ds} =$	<b>261.5</b>	e-6
$\beta_{as} =$	0.81873	
$\varepsilon_{as} =$	<b>47.5</b>	e-6
$\varepsilon_c =$	<b>309.0</b>	e-6
$\varphi_0(t)/1.05 =$	<b>2.7642</b>	
$\delta T_{eq} =$	<b>8.2</b>	°C

Dove la variazione termica equivalente è calcolata con


$$\Delta T_{eq} = \alpha \varepsilon_c / (1 + \varphi_0/1.05)$$

### 8.9. 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



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELO SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

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

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

dove:

$T_R \rightarrow$  tempo di ritorno;

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

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

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

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

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

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

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

dove :

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

$g =$  accelerazione di gravità;

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

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

		Kh	Kv
T <sub>R</sub>	45	0.061	0.031
T <sub>R</sub>	75	0.080	0.040
T <sub>R</sub>	712	0.214	0.107
T <sub>R</sub>	1462	0.271	0.135

### 8.9.1. Sovrappinta sismica del terreno (SISX)

In base alla teoria di Wood la risultante dell'incremento di spinta sismica su una parete di altezza H viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2$$

La risultante viene applicata ad un'altezza pari ad H/2 e considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

Pertanto allo SLV la sovrappinta sismica delle terre vale:

$$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2$$

l'incremento di spinta del terrapieno sulla parete risulta:

$$\Delta S_E = (\gamma_a + \gamma'_t) \times H_t^2 \times k_h / H_t \approx 40.66 \text{ kN/m al m}$$

Con:

$$\gamma_a = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma'_t = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$H_t = 9.5 \text{ m altezza totale della sovrastruttura}$$

$$k_h = \beta_m \times a_{max} / g = 0,214$$

$$\beta_m = 1 \text{ nel caso in esame (struttura che non subisce spostamenti)}$$

$$a_{max} = (S \times a_g)_{SLV} = 0,214 \text{ g}$$

Applico al modello di calcolo :  $\Delta S_E = 40.66 \text{ KN/m}$

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 20 e 1 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

Nodi sup. (SISX) sui nodo 20		
$Q_h \cdot S_s / 2$	22.40	kN

Nodi inf (SISX) sui nodo 1		
$Q_h \cdot S_i / 2$	24.40	kN

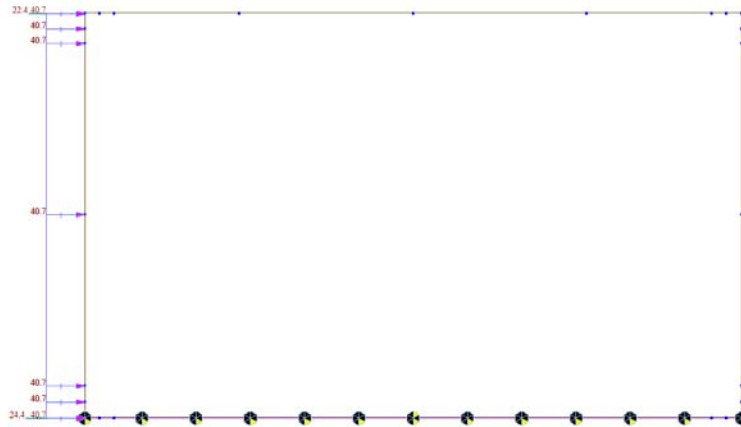


Figura 18: Sovrappinta sismica del terreno

### 8.9.2. 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. Le masse sismiche sono valutate considerando le azioni dovute al carico ferroviario con coefficiente pari a 0.20 (cfr tab.5.2.V).

Forze di inerzia orizzontali sullo scatolare e sul terreno di ricoprimento della soletta SLV			
F <sub>o,ballast</sub>	=	4.24	KN/m <sup>2</sup>
F <sub>o,soletta</sub>	=	5.885	KN/m <sup>2</sup>
F <sub>o,treno (LM71, c. concentrati)</sub>	=	12.02	KN/m <sup>2</sup>
F' <sub>h</sub> = F <sub>o,sol, sup,tot</sub>	=	12.527	KN/m <sup>2</sup>
F'' <sub>h</sub> = F <sub>o,piedritti</sub>	=	5.89	KN/m <sup>2</sup>

$$\text{Dove : } F'_h = F_{o,solettasup,tot} = F_{o,ballast} + F_{o,soletta} + 0.2 * F_{o,treno}$$

$$F''_h = F_{o,piedritti}$$

Forze di inerzia verticali sullo scatolare e sul terreno di ricoprimento della soletta SLV

F <sub>v,ballast</sub>	=	2.12	KN/m <sup>2</sup>
F <sub>v,soletta</sub>	=	2.94	KN/m <sup>2</sup>
F <sub>v,treno</sub>	=	6.01	KN/m <sup>2</sup>
F <sub>v,sol, sup,tot</sub>	=	6.26	KN/m <sup>2</sup>

Dove :  $F_{v,solettasup,tot} = F_{v,ballast} + F_{v,soletta} + 0.2 * F_{v,treno}$

- Per il peso del treno vedi il paragrafo 7.4 (56.2 kN/m; da LM71 - c.concentrati) .
- Le inerzie orizzontali e verticale per il treno (F<sub>v, treno</sub>; F<sub>o, treno</sub>) vengono come prodotto dei coefficienti sismici (verticali ed orizzontali) nel paragrafo 7.9 e il peso del treno.

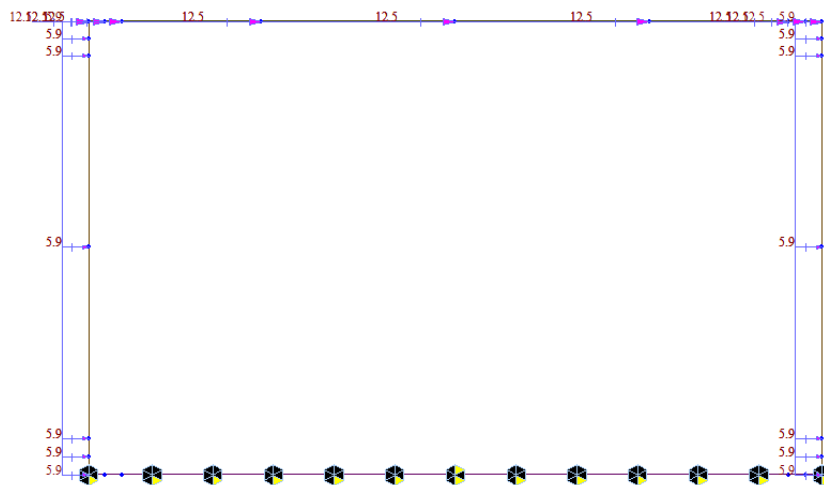


Figura 19: Forza inerziale orizzontale

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	29 di 106

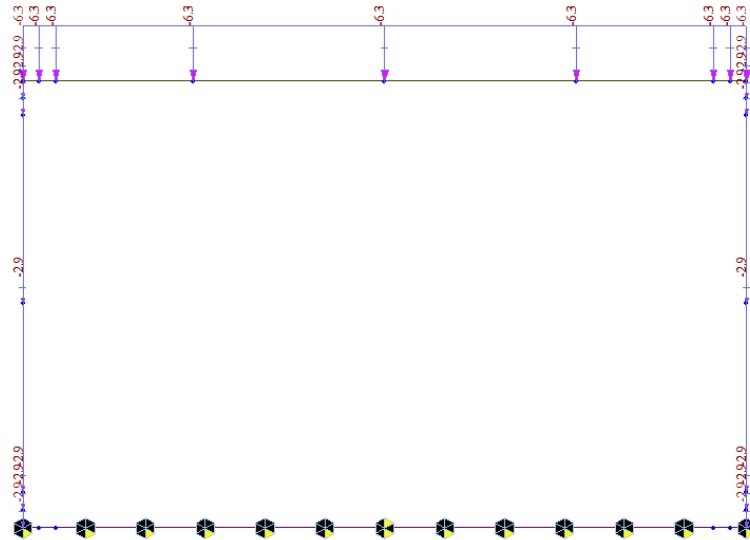


Figura 20: Forza inerziale verticale

## 9. COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

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

	SLU 1	SLU 2	SLU 3	SLU 4	SLU 5	SLU 6	SLU 7	SLU 8	SLU 9
PP	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
PERM-BALLAST	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SPBSX	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	1.5
SPBDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
STSX	1	1	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1	1.5
STDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SASX	1	1	1.45	1.45	0	0	0	0	0
SADX	1	1	1	1	0	0	0	0	0
SASXLM71	0	0	0	0	1.45	1.45	0	0	1.16
AVV	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	0	0	1.16
ACC1	1.45	1.45	1.45	1.45	0	0	0	0	0
ACC2	0	0	0	0	1.45	1.45	0	0	1.16
TF	0.9	-0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9	1.2
TU	-0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9	0.9	-1.2
RITIRO	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1.5

	RARA 1	RARA 2	RARA 3	RARA 4	RARA 5	RARA 6	RARA 7	RARA 8	RARA 9
PP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM-BALLAST	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
STSX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
STDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SASX	0.8	0.8	0	0	0.6	1	0	0	0
SADX	0.8	0.8	0	0	0.6	1	0	0	0
SASXLM71	0	0	0.8	0.8	0	0	0	0	0.6
AVV	0.8	0.8	0.8	0.8	0	0	0	0	0.6
ACC1	0.8	0.8	0	0	0.8	0.8	0	0	0
ACC2	0	0	0.8	0.8	0	0	0	0	0.6
TF	0.6	-0.6	0.9	-0.6	0.9	-0.6	0.9	-0.9	1
TU	-0.6	0.6	-0.9	0.6	-0.9	0.6	-0.9	0.9	-1
RITIRO	1	0	1.2	0	1.2	0	1.2	0	1

	SLV 1	SLV 2	SLV 3	SLV 4
PP	1	1	1	1
PERM-BALLAST	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1
STSX	1	1	1	1
STDX	1	1	1	1
SASX	0	0	0	0
SADX	0	0	0	0
SASXLM71	0.2	0	0.2	0
AVV	0.2	0.2	0.2	0
ACC1	0	0.2	0	0
ACC2	0.2	0	0.2	0
TF	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
TU	0.5	0.5	0.5	0.5
RITIRO	0	0	0	0
SISSX	1	0.3	1	0.3
INERZIEH	1	0.3	1	0.3
SISVER	0.3	1	-0.3	-1

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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	32 di 106

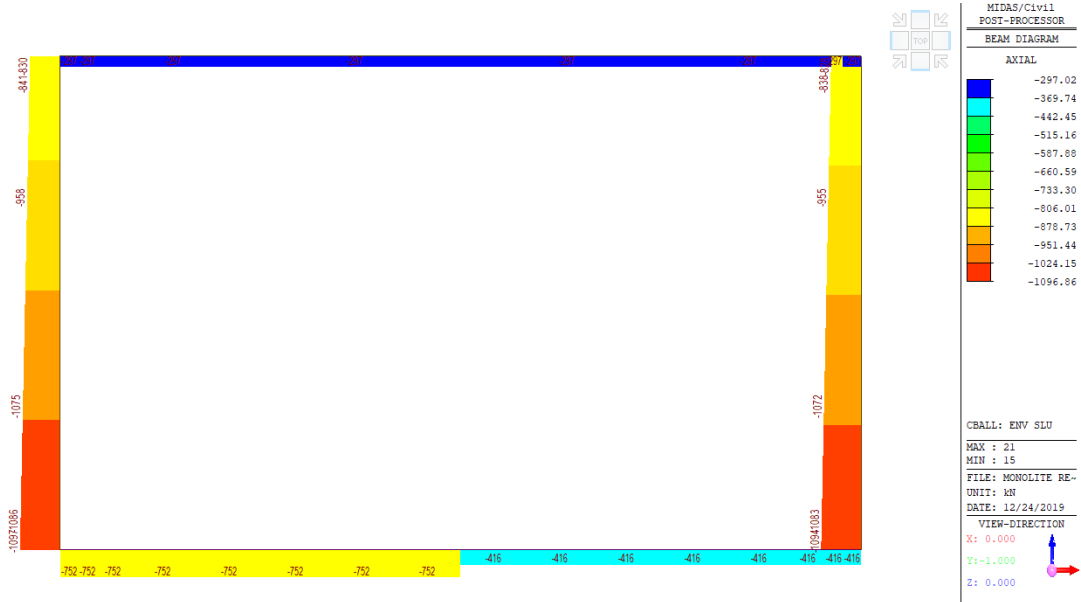


Figura 21: Involuppo N - SLU

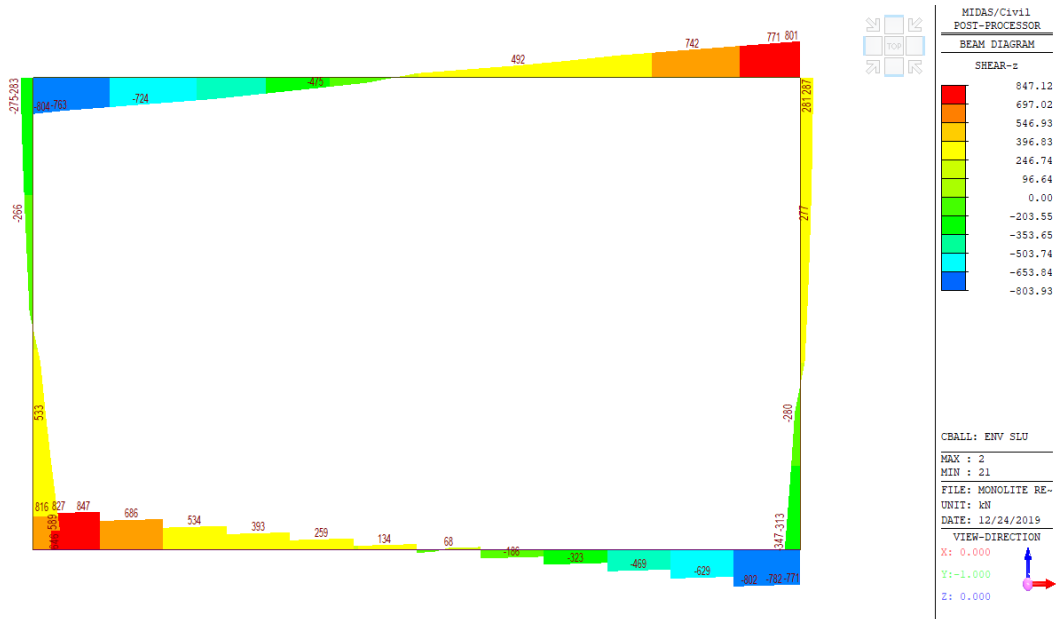


Figura 22: Involuppo T - SLU



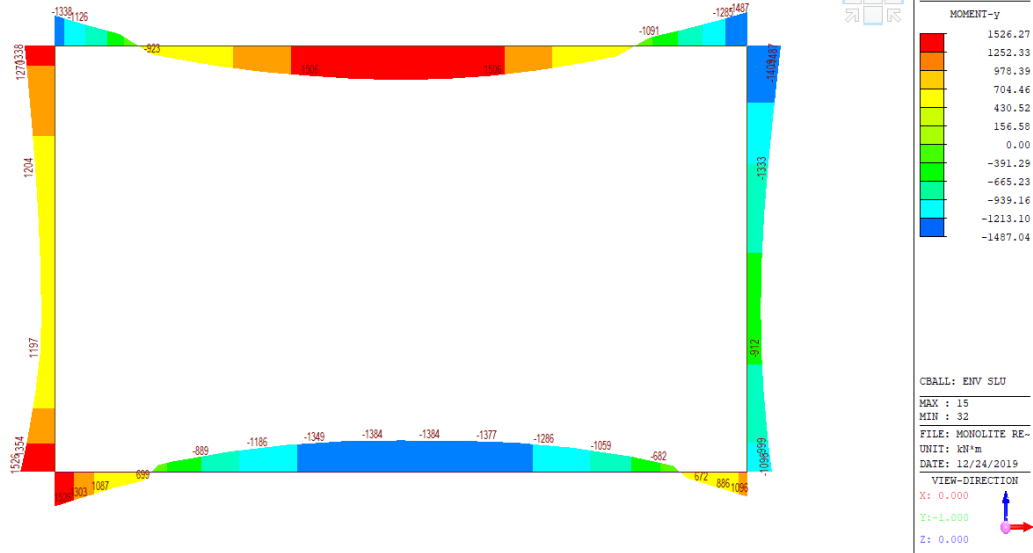


Figura 23: Involuppo M - SLU

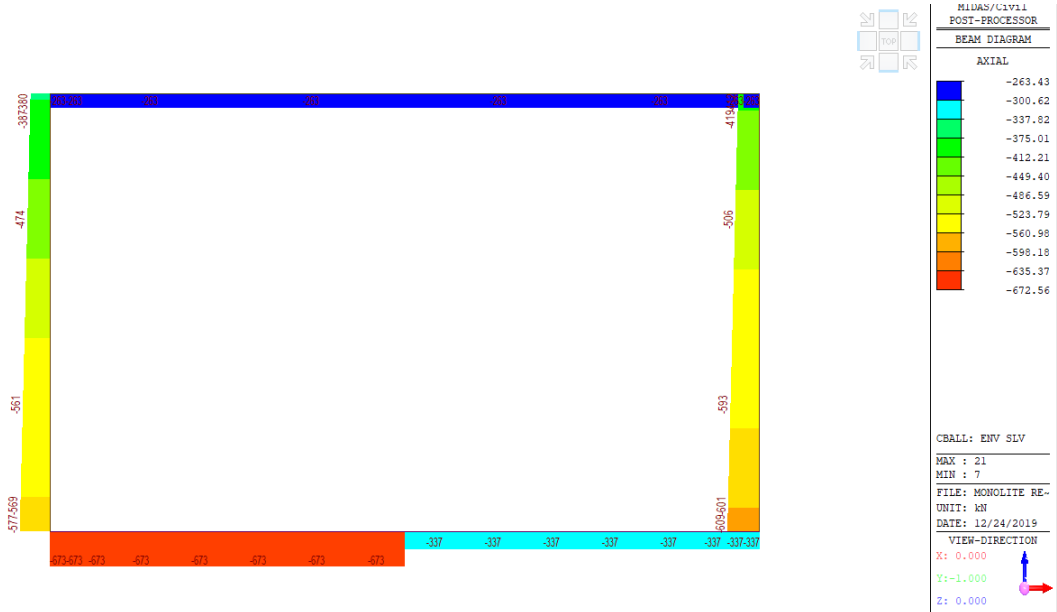


Figura 24: Involuppo N - SLV

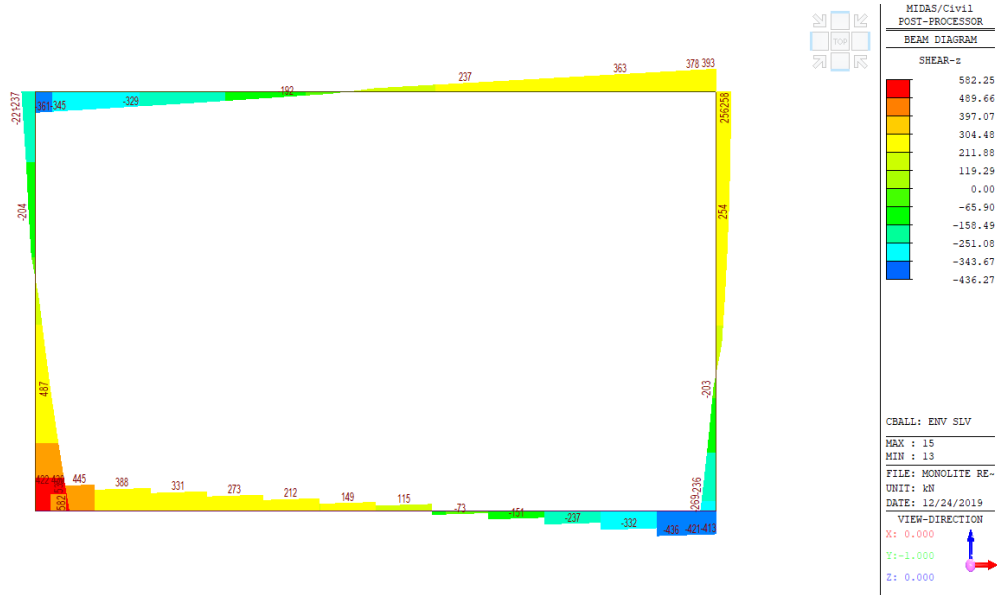


Figura 25: Involuppo T - SLV

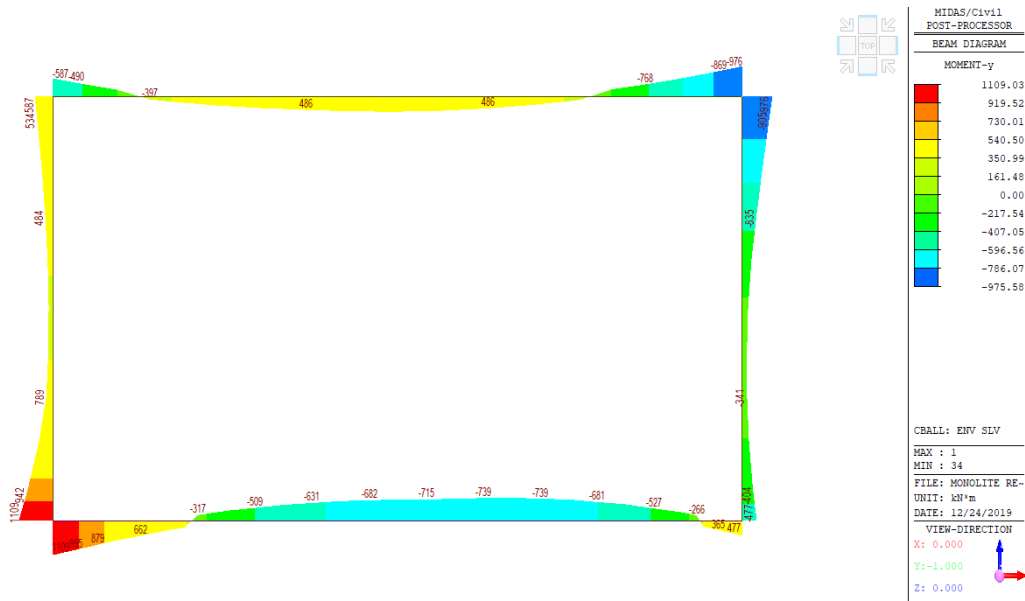


Figura 26: Involuppo M - SLV

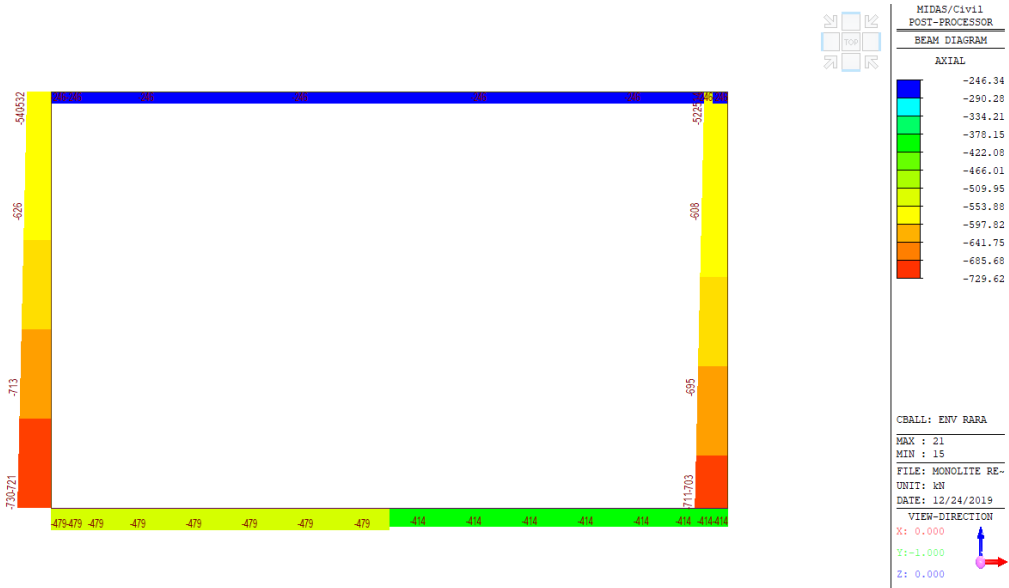


Figura 27: Involuppo N – SLE RARA

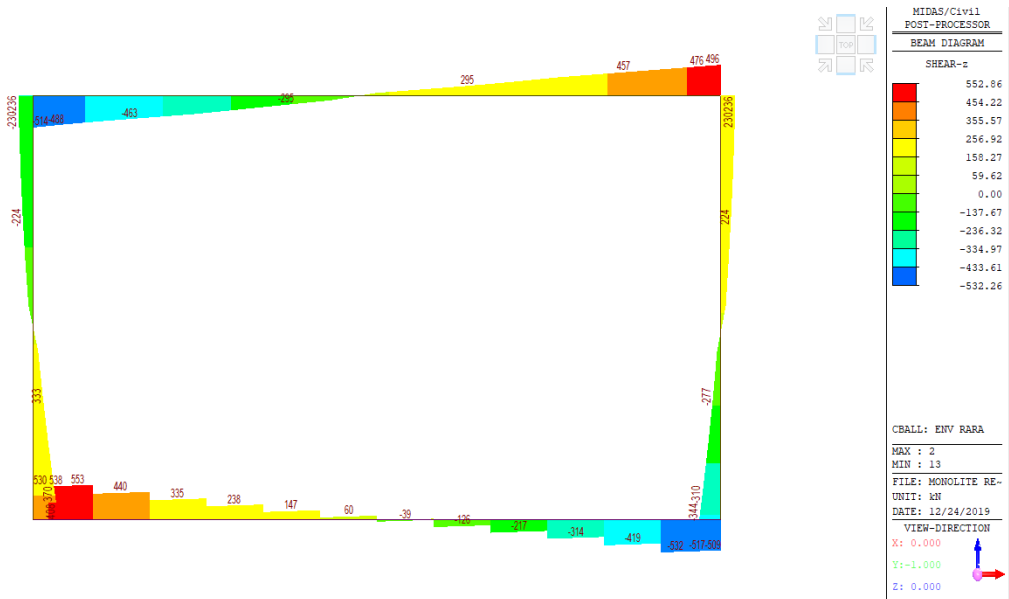


Figura 28: Involuppo V – SLE RARA

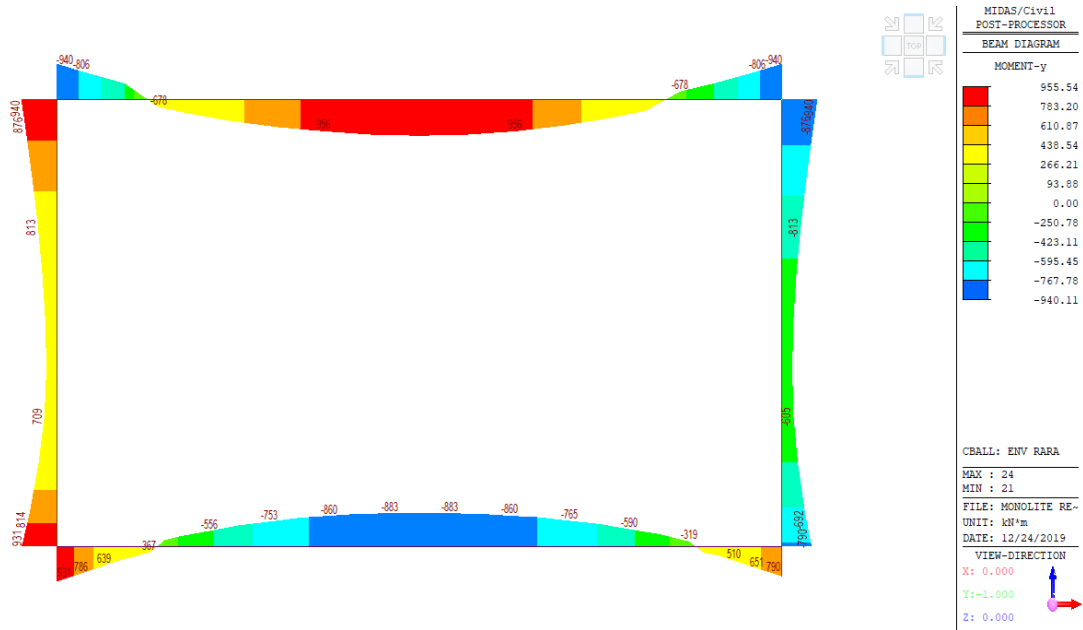


Figura 29: Involuppo M – SLE RARA

Le sezioni verificate sono le seguenti:

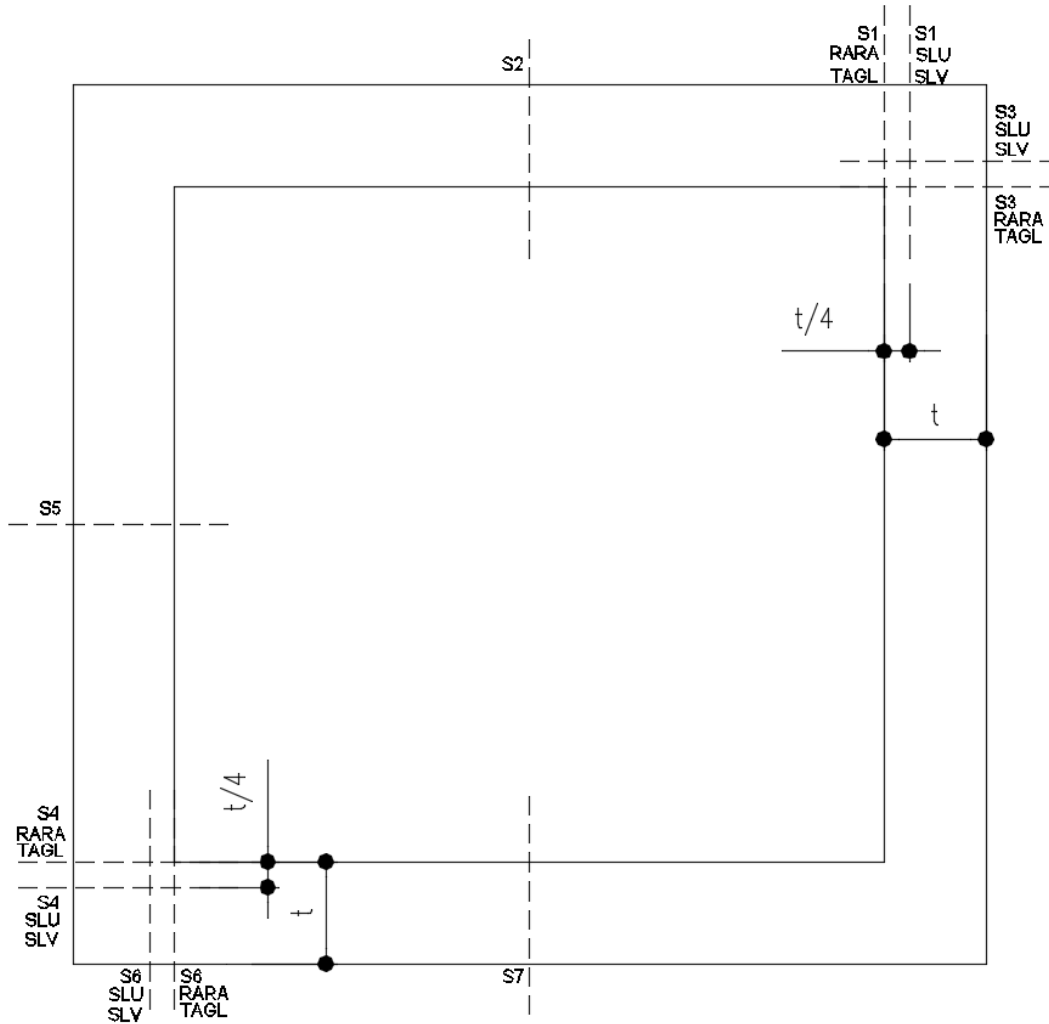


Figura 30: Sezioni di verifica

## 10. VERIFICHE

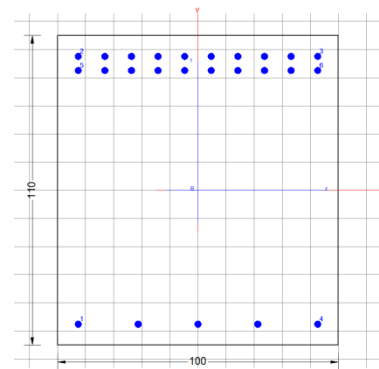
### 10.1. Verifiche a flessione

#### 10.1.1. Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro

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

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-297	742	-1285
ENV SLV	-263	378	-869
ENV RARA	-246	457	-678

Armatura tesa	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10
Armatura compressa	$\Phi$ 24/20
Armatura a taglio	$\Phi$ 12/20



#### DATI GENERALI

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

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	39 di 106

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	-55.0
2	-50.0	55.0
3	50.0	55.0
4	50.0	-55.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-46.6	24
2	-41.6	46.6	24
3	41.6	46.6	24
4	41.6	-46.6	24
5	41.6	40.2	24
6	-41.6	40.2	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	8	24
3	6	5	8	24

**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	-1285.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-869.00	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	0.00	-678.00	0.00

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

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 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 § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-1285.00	0.00	0.00	-3213.73	0.00	2.50	90.5(22.0)
2	S	0.00	-869.00	0.00	0.00	-3213.73	0.00	3.70	90.5(22.0)

**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	0.175	-50.0	-55.0	0.00185	-41.6	-46.6	-0.01651	41.6	46.6
2	0.00350	0.175	-50.0	-55.0	0.00185	-41.6	-46.6	-0.01651	41.6	46.6

**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



**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	41 di 106

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000196940	-0.007331697	0.175	0.700
2	0.000000000	-0.000196940	-0.007331697	0.175	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	3.63	50.0	-55.0	-91.3	32.4	46.6	2400	90.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.097 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 353 mm
Area efficace = 2400 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
$h = 1100$	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	$A_{sl,2} = 10$	$\emptyset 24$	$= 45.24 \text{ cm}^2$
$d = 1026$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$90.48 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -297.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 742.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.442 < 2$$

$$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.343$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.009 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.27 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 581.9 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 393.1 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 581.9 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

*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):

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

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 1264.3 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_c = 1.015 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 2951.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1264.3 > 742.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.7$$

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

### 10.1.2. Sezione 2 - soletta superiore mezzeria

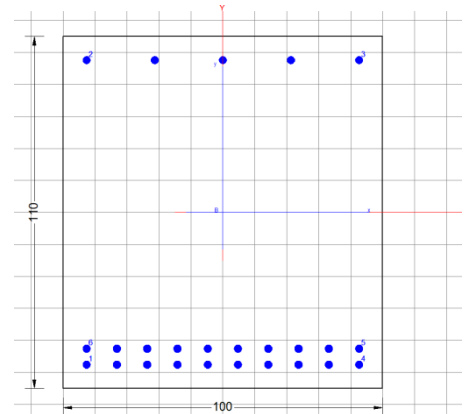
#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-297	93	1506
ENV SLV	-263	61	486
ENV RARA	-246	44	956

Armatura compressa	$\Phi$ 24/20
Armatura tesa	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10

#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### 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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	44 di 106

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-55.0
2	-50.0	55.0
3	50.0	55.0
4	50.0	-55.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-46.6	24
2	-41.6	46.6	24
3	41.6	46.6	24
4	41.6	-46.6	24
5	41.6	-40.2	24
6	-41.6	-40.2	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	6	5	8	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	1506.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	486.00	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)

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	45 di 106

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	956.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	4.0 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 § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1506.00	0.00	0.00	3213.73	0.00	2.13	90.5(22.0)
2	S	0.00	486.00	0.00	0.00	3213.73	0.00	6.61	90.5(22.0)

**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	0.175	-50.0	55.0	0.00185	-41.6	46.6	-0.01651	-41.6	-46.6
2	0.00350	0.175	-50.0	55.0	0.00185	-41.6	46.6	-0.01651	-41.6	-46.6

**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	0.000196940	-0.007331697	0.175	0.700
2	0.000000000	0.000196940	-0.007331697	0.175	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	5.12	50.0	55.0	-128.7	32.4	-46.6	2400	90.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.136 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 353 mm
Area efficace = 2400 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### 10.1.3. Sezione 3 - piedritto destro testa

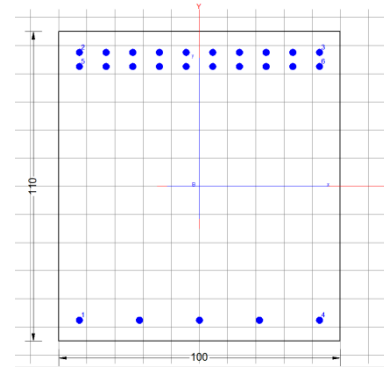
#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-828	277	-1409
ENV SLV	-412	256	-905
ENV RARA	-401	229	-740

Armatura tesa  $\Phi$  24/10+  $\Phi$  24/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/20

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



#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave 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 $\beta_1 \beta_2$ :	1.00	

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	48 di 106

Coef. Aderenza differito  $\beta_1 \beta_2$  : 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	-55.0
2	-50.0	55.0
3	50.0	55.0
4	50.0	-55.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-46.6	24
2	-41.6	46.6	24
3	41.6	46.6	24
4	41.6	-46.6	24
5	41.6	40.2	24
6	-41.6	40.2	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	8	24
3	6	5	8	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	828.00	-1409.00	0.00	0.00	0.00
2	412.00	-905.00	0.00	0.00	0.00

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



**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	49 di 106

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	401.00	-740.00	0.00

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

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 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 § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	828.00	-1409.00	0.00	827.80	-3533.26	0.00	2.47	90.5(22.0)
2	S	412.00	-905.00	0.00	412.30	-3379.09	0.00	3.68	90.5(22.0)

**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	0.225	-50.0	-55.0	0.00221	-41.6	-46.6	-0.01205	41.6	46.6
2	0.00350	0.198	-50.0	-55.0	0.00204	-41.6	-46.6	-0.01415	41.6	46.6

**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.
--------	---	---	---	-----	--------

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	50 di 106

1	0.000000000	-0.000153013	-0.004915733	0.225	0.721
2	0.000000000	-0.000173735	-0.006055423	0.198	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	4.28	50.0	-55.0	-80.2	-13.9	46.6	2150	90.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.082 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 342 mm
Area efficace = 2150 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
$h = 1100$	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	Armadura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{s1,1} = 10 \text{ } \emptyset 24$		$= 45.24 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = 10 \text{ } \emptyset 24$		$= 45.24 \text{ cm}^2$
$d = 1026$	mm altezza utile	$A_{s1,3} = 0 \text{ } \emptyset 0$		$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 18.13$	MPa resist. di calcolo			$90.48 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = -828.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 277.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.442 < 2$$

$$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.343$$

$$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.009 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.75 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 656.2 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 467.4 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 656.2 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

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

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

Armadura a taglio (staffatura):

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

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) \times \sin \alpha \quad V_{Rsd} = 632.2 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_c = 1.042 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 3028.6 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 632.2 > 277.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 2.3$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 10.1.4. Sezione 4 - piedritto sinistro piede

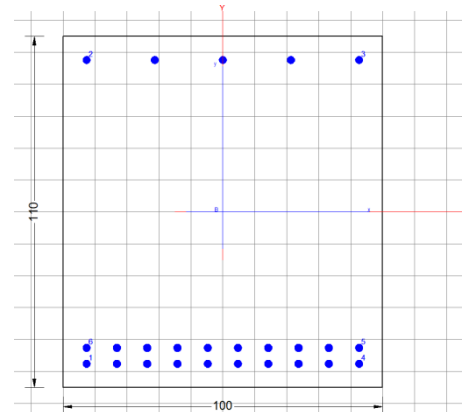
#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-1086	533	1354
ENV SLV	-569	535	942
ENV RARA	-713	333	709

Armatura compressa	$\Phi$ 24/20
Armatura tesa	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10
Armatura a taglio	$\Phi$ 12/(40x40)

#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.810 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33642.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.100 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		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 SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	53 di 106

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-55.0
2	-50.0	55.0
3	50.0	55.0
4	50.0	-55.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-46.6	24
2	-41.6	46.6	24
3	41.6	46.6	24
4	41.6	-46.6	24
5	41.6	-40.2	24
6	-41.6	-40.2	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	6	5	8	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	-1086.00	1354.00	0.00	0.00	0.00
2	-569.00	942.00	0.00	0.00	0.00

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

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	54 di 106

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	-713.00	709.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 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  $\geq 1.000$   
 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	-1086.00	1354.00	0.00	-1086.20	2740.67	0.00	2.29	90.5(22.0)
2	S	-569.00	942.00	0.00	-569.20	2970.70	0.00	3.54	90.5(22.0)

**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	0.124	50.0	55.0	0.00117	41.6	46.6	-0.02465	-41.6	-46.6
2	0.00350	0.147	50.0	55.0	0.00153	41.6	46.6	-0.02028	-41.6	-46.6

**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	0.000277058	-0.011738201	0.124	0.700
2	0.000000000	0.000234068	-0.009373735	0.147	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	2.96	50.0	55.0	-133.3	-32.4	-46.6	2800	90.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.148 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 371 mm
Area efficace = 2800 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
$h = 1100$	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	$A_{s1,1} = 10$	Ø	24 = 45.24 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = 10$	Ø	24 = 45.24 cm <sup>2</sup>
$d = 1026$	mm	altezza utile	$A_{s1,3} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 18.13$	MPa	resist. di calcolo			90.48 cm <sup>2</sup>

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

$$N_{ed} = -1086.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 533.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.442 < 2$$

$$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.343$$

$$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.009 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.99 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 692.3 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 503.5 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 692.3 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio

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

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

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

Armatura a taglio (staffatura):

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

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 632.2 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_c = 1.054 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 3066.2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 632.2 > 533.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.2$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.



### 10.1.5. Sezione 5 - piedritto sinistro mezzeria

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

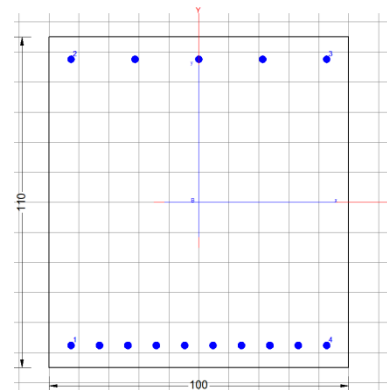
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-958	-86	655
ENV SLV	-474	67	137
ENV RARA	-626	-73	306

Armatura compressa  $\Phi$  24/20

Armatura tesa  $\Phi$  24/10

#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Resistenze agli Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia



#### 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 fld:	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 SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	58 di 106

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-55.0
2	-50.0	55.0
3	50.0	55.0
4	50.0	-55.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-46.6	24
2	-41.6	46.6	24
3	41.6	46.6	24
4	41.6	-46.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

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

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

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	-958.00	655.00	0.00	0.00	0.00
2	-474.00	137.00	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
---------	---	----	----

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	59 di 106

1                      -626.00                      306.00                      0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:                      7.2    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 >=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	-958.00	655.00	0.00	-957.74	1262.58	0.00	2.20	67.9(22.0)
2	S	-474.00	137.00	0.00	-473.76	1491.89	0.00	22.38	45.2(22.0)

**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	0.070	50.0	55.0	-0.00061	41.6	46.6	-0.04622	-41.6	-46.6
2	0.00350	0.083	50.0	55.0	0.00002	41.6	46.6	-0.03859	-41.6	-46.6

**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	0.000489404	-0.023417227	0.070	0.700
2	0.000000000	0.000414253	-0.019283890	0.083	0.700

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

Ver                      S = comb. verificata/ N = comb. non verificata

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	60 di 106

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	0.64	50.0	55.0	-141.5	-13.9	-46.6	2100	45.2

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W1 < 0.2$ ) :

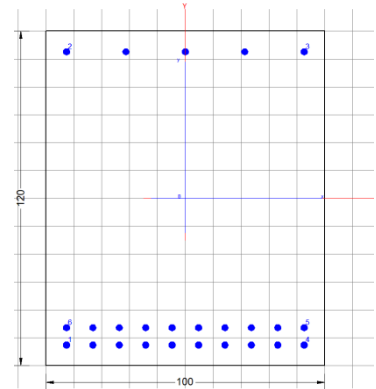
Apertura fessure
Apert. fessure = 0.184 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 434 mm
Area efficace = 2100 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

### 10.1.6. Sezione 6 - soletta inferiore appoggio sinistro

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

Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-752	827	1303
ENV SLV	-673	422	995
ENV RARA	-479	538	639



Armatura compressa	$\Phi$ 24/20
Armatura tesa	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10
Armatura a taglio	$\Phi$ 12/(20x40)

#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia

#### 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 SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	62 di 106

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C25/30

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

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-52.6	24
2	-41.6	52.6	24
3	42.6	52.6	24
4	42.6	-52.6	24
5	42.6	-47.6	24
6	-42.6	-47.6	24

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	3	24
3	6	5	8	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	1303.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	995.00	0.00	0.00	0.00

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

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	63 di 106

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	639.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.6 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 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	1303.00	0.00	0.00	3576.53	-4.43	2.74	90.5(24.0)
2	S	0.00	995.00	0.00	0.00	3576.53	-4.43	3.59	90.5(24.0)

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

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

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.206	-50.0	60.0	0.00238	-41.6	52.6	-0.01351	-41.6	-52.6
2	0.00350	0.206	-50.0	60.0	0.00238	-41.6	52.6	-0.01351	-41.6	-52.6

**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	0.000151103	-0.005566153	0.206	0.700
2	0.000000000	0.000151103	-0.005566153	0.206	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	2.85	50.0	60.0	-75.3	-41.6	-52.6	2500	90.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.073 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 324 mm
Area efficace = 2500 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta



## Verifica di resistenza a taglio

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

#### • Caratteristiche della sezione

$b_w = 1000$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1200$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 74$	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	$A_{s1,1} = 10$	Ø 24	= 45.24 cm <sup>2</sup>
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{s1,2} = 10$	Ø 24	= 45.24 cm <sup>2</sup>
$d = 1126$	mm altezza utile	$A_{s1,3} = 0$	Ø 0	= 0.00 cm <sup>2</sup>
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			90.48 cm <sup>2</sup>

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

$$N_{ed} = -752.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 827.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.421 < 2$$

$$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.297$$

$$\rho_1 = A_{s1}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.008 < 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2 f_{cd} \quad \sigma_{cp} = -0.63 \text{ MPa} < 0.2 f_{cd}$$

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

$$V_{Rd} = 628.0 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0.15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 439.8 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 628.0 \text{ kN} \quad \text{valore di calcolo}$$

*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):

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

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen } \alpha \quad V_{Rsd} = 1387.6 \text{ kN}$$

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

$$\alpha_c = 1.044 \quad \text{coeff. maggiorativo}$$

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 2603.5 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 1387.6 > 827.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.7$$

*la sezione armata a taglio risulta verificata.*

### 10.1.7. Sezione 7- soletta inferiore mezzeria

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

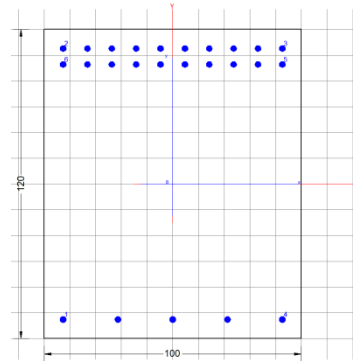
Comb	N [KN]	T [KN]	M [KNm]
ENV SLU	-752	135	-1384
ENV SLV	-673	149	-682
ENV RARA	-479	60	-883

Armatura tesa  $\Phi$  24/10 +  $\Phi$  24/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/20

#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Resistenze agli Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica sismica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia



#### 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

Forma del Dominio: Poligonale

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	67 di 106

Classe Conglomerato: C25/30

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

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.6	-52.6	24
2	-42.6	52.6	24
3	42.6	52.6	24
4	42.6	-52.6	24
5	42.6	45.2	24
6	-42.6	45.2	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	8	24
3	6	5	8	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	-1384.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-682.00	0.00	0.00	0.00

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

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	68 di 106

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-883.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	5.0 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 § 7.2.6 NTC

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-1384.00	0.00	0.00	-3534.04	0.00	2.55	90.5(24.0)
2	S	0.00	-682.00	0.00	0.00	-3534.04	0.00	5.18	90.5(24.0)

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

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

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.206	-50.0	-60.0	0.00238	-42.6	-52.6	-0.01351	42.6	52.6
2	0.00350	0.206	-50.0	-60.0	0.00238	-42.6	-52.6	-0.01351	42.6	52.6

**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	-0.000151103	-0.005566153	0.206	0.700
2	0.000000000	-0.000151103	-0.005566153	0.206	0.700

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	69 di 106

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	3.99	-50.0	-60.0	-106.8	33.1	52.6	2650	90.5

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.106 mm
Apert. limite = 990.000 mm
Dist. fessure = 330 mm
Area efficace = 2650 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.500

Condizione soddisfatta

## 10.2. Verifica a deformazione soletta superiore

In accordo alle normativa paragrafo 5.2.3.3.2.1/ Stati limite per i comfort dei passeggeri.

Valori limite di deformabilità della soletta superiore sono riportati nella tabella 5.2.1.8.3.2.2-2

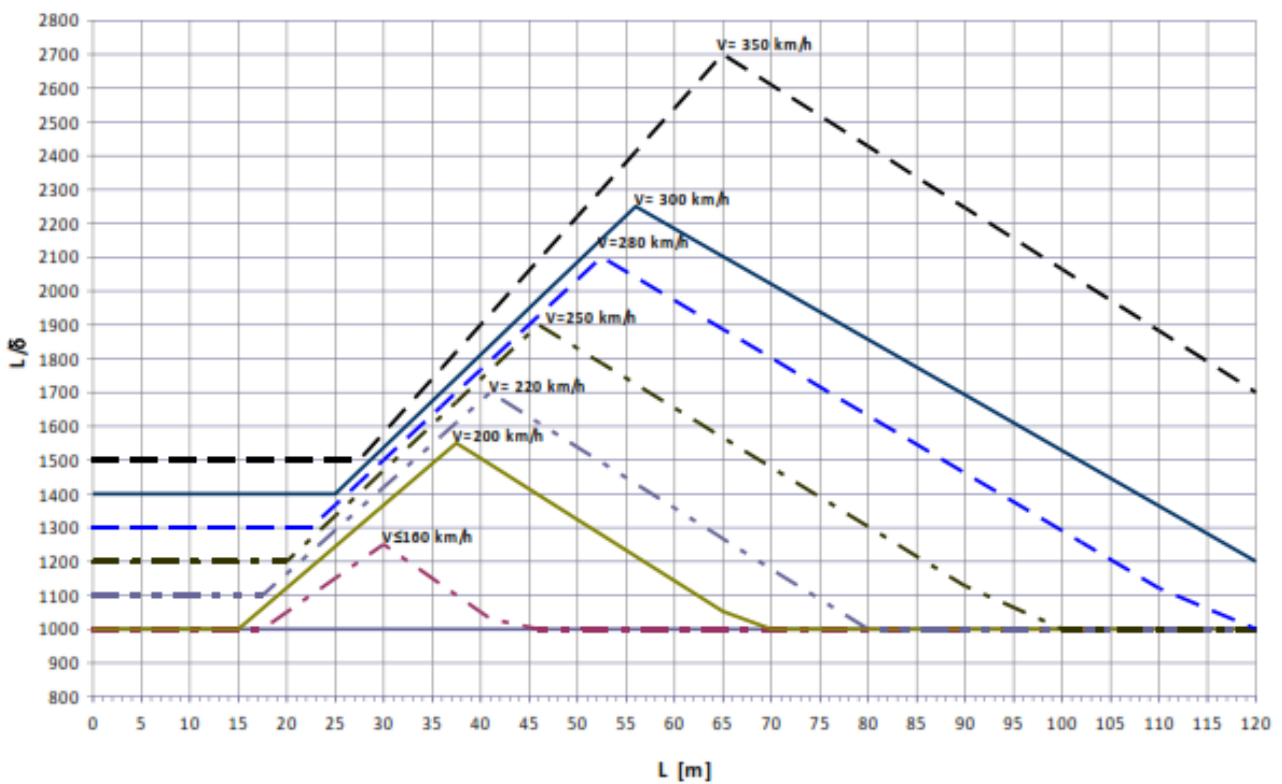
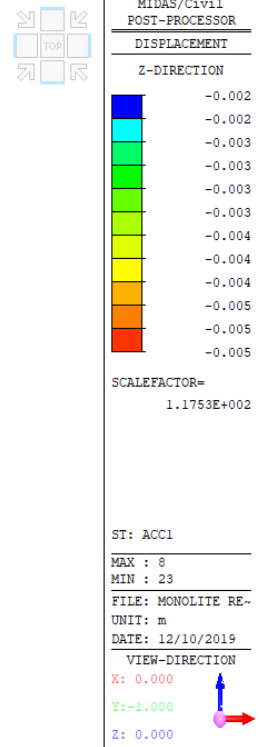
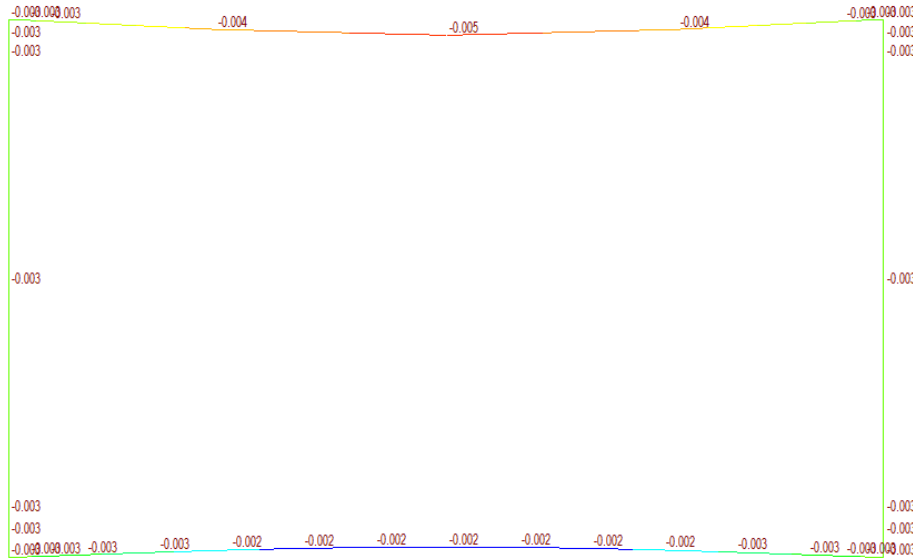


Fig. 5.2.1.8.3.2.2-2 Valori del limite di deformabilità  $L/\delta$  per il confort dei passeggeri.

Nella seguente immagine si riporta la deformazione della soletta superiore dovuto al singolo carico del treno LM71:




Condizione da soddisfare:  $\delta/L < 1/1000$

Per il scatolare il valori per le frecce sono come segue:

- Dz all'estremità della soletta – 0.003 m
- Freccia – mezzeria della soletta – 0.005 m

$\delta = 0.005 - 0.003 = 0.002$  m ; Per  $L = 12.10$  m  $\Rightarrow \delta/L < 1/1000$  ;  $0.002/12.10 = 0.000165 < 0.001$  - **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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

### 10.3. Verifica dello sghembo

A seguire viene riportata la verifica dello sghembo.

La freccia relativa (in mezzeria-piedritto) calcolata è  $f = 5-3 = 2$  mm.

Senza procedere al calcolo diretto, si adottano le seguenti considerazioni cautelative.

Anche assumendo che una rotaia abbia la freccia massima, mentre la seconda rotaia rimanga indeformata,

lo sghembo vale  $t = f/(L/2) = 2\text{mm}/5,50\text{m} = 0.364$  mm/m

Il valore limite di confronto è (MdP Ponti e strutture - §5.2.3.2.2.1):

$t = 4,50$  mm/3,00 m = 1,5mm/m per  $V \leq 120$  km/h

$t = 3,00$  mm/3,00 m = 1,0mm/m per  $120 < V \leq 200$  km/h

perciò ampiamente verificato.



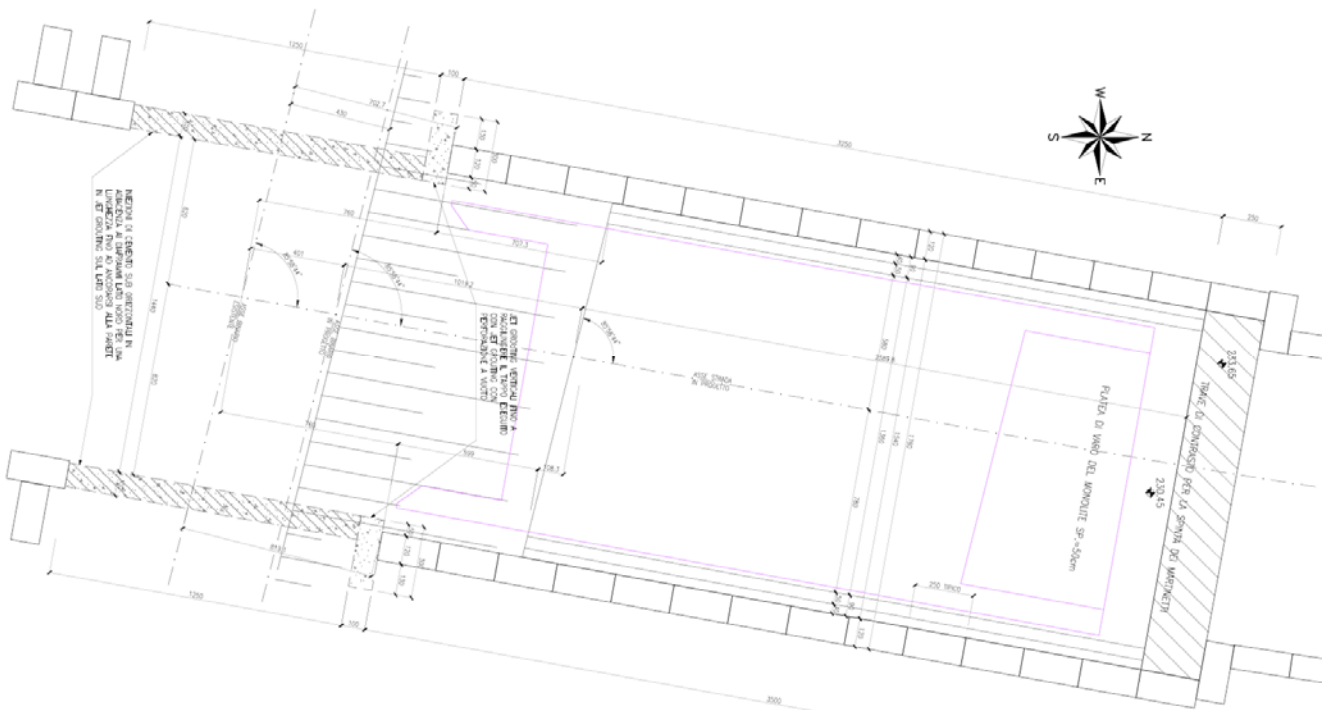
## 11. RIEPILOGO ARMATURE – SCATOLARE

Elemento	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
soletta superiore	nodo	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10 sup. $\Phi$ 24/20 inf.	$\Phi$ 20/10 sup. $\Phi$ 20/20 inf.	140 kg/m <sup>3</sup>
	campata	$\Phi$ 24/20 sup. $\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10 inf.	$\phi$ 20/20 ambo i lati	
piedritti	nodo sup.	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10 est. $\phi$ 24/20 int.	$\Phi$ 20/10 est. $\Phi$ 20/20 int.	140 kg/m <sup>3</sup>
	nodo inf.	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10 est. $\phi$ 24/20 int.	$\Phi$ 20/10 est. $\Phi$ 20/20 int.	
soletta inferiore	mezzeria	$\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10 sup. $\Phi$ 24/20 inf.	$\Phi$ 20/20 est. $\Phi$ 20/20 int.	130 kg/m <sup>3</sup>
	nodo	$\Phi$ 24/20 sup. $\Phi$ 24/10 + $\Phi$ 24/10 inf.	$\Phi$ 20/10 est. $\Phi$ 20/10 int.	

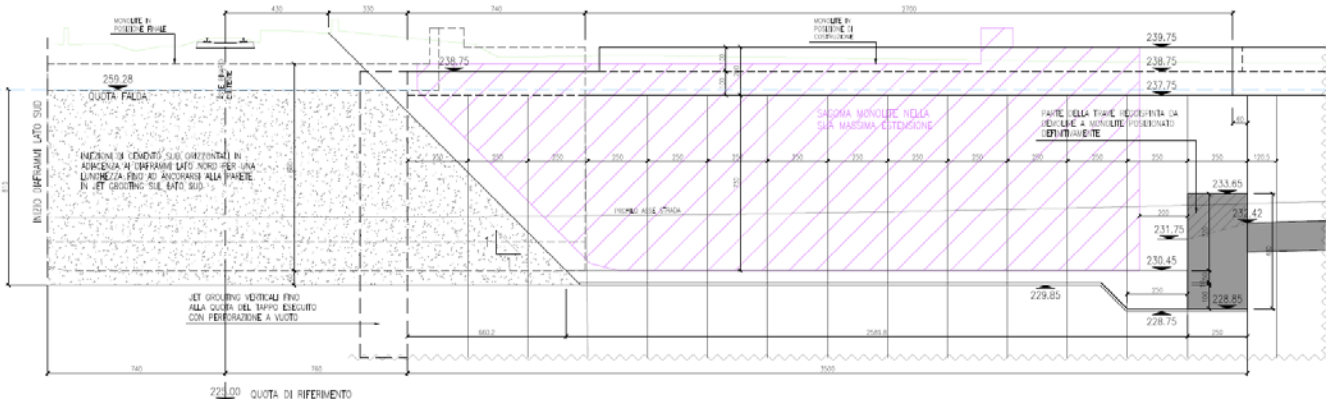
## 12. PLATEA DI VARO E MURO REGGISPINTA

### 12.1. Descrizione dell'opera

La platea in c.a. ha dimensioni in pianta di 26.30 m x 15.4 m con spessore di 0.5 m. Il muro di reggispinta ha spessore di 2.5m.



**Figura 31 Pianta**



**Figura 32 Sezione longitudinale**

## 12.2. MATERIALI

Il progetto sarà realizzato utilizzando i seguenti materiali:

Classe di resistenza: PLATEA E MURO	C25/30		
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	30	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	24.9	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	32.9	$N/mm^2$
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2.56	$N/mm^2$
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3.07	$N/mm^2$
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	31447	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	1.79	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3.33	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1.5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	14.1	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1.19	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1.0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	24.9	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	1.79	$N/mm^2$
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	14.94	$N/mm^2$
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	11.21	$N/mm^2$
Classe di esposizione		XC2	
Classe di consistenza slump:		S3-S4	
Contenuto minimo di cemento:		280	$daN/m^3$
Massima dimensione aggregato		25	mm
Copriferro		60	mm
Rapporto A/C		0.6	

### Acciaio per cemento armato

Acciaio per cemento armato tipo B450C secondo D.M. 14.01.2008, avente le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq$	450	$N/mm^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq$	540	$N/mm^2$
Modulo elastico	$E_s =$	2.1E+05	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_s =$	1.15	
Resistenza di calcolo SLU:	$f_{sd} =$	391.30	$N/mm^2$
Tensione di calcolo SLE:	$\sigma_{y,ad} =$	360	$N/mm^2$

Deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{v, nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{v, nom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gr})_k$ :	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	

### 12.3. Azioni e sollecitazioni

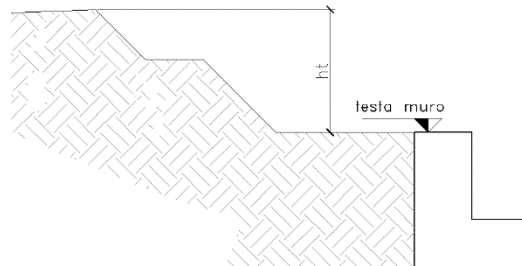
All'inizio delle operazioni di spinta, i martinetti di spinta devono vincere l'attrito tra l'intradosso fondazione e la platea di varo; il coefficiente di attrito di primo distacco può raggiungere valori di poco superiori all'unità: si assume tuttavia il valore 1.00. Non è presente alcun attrito del terreno sulle pareti laterali dell'opera. Il coefficiente di attrito assunto è sicuramente cautelativo in virtù degli accorgimenti tecnici assunti per favorire il distacco e lo scivolamento tra le due superfici (p.e. fogli di tessuto non tessuto del peso di 200gr/mq con interposto uno strato di scorrimento formato da due fogli a contatto di polietilene cerato del peso di 200gr/mq).

In tale configurazione la platea di varo è soggetta a prevalenti azioni di sforzo normale di trazione. Quest'ultimo è generato dalle azioni di attrito con la fondazione del monolite.

Le caratteristiche geometriche e i parametrici geotecnici da tenere in considerazione sono i seguenti:

DATI GEOMETRICI				
$B_{tot}$	=	13.2	[m]	Larghezza totale scatolare
$B_{int}$	=	11	[m]	Larghezza utile scatolare
$S_{sol\_sup}$	=	1.1	[m]	Spessore soletta superiore
$L_{sol}$	=	14.7	[m]	Lunghezza soletta superiore

$S_{pic}$	=	1.1	[m]	Spessore piedritti
$L_{ped}$	=	22.4	[m]	Lunghezza piedritti
$S_{fond}$	=	1.2	[m]	Spessore fondazione
$L_{scat}$	=	22.4	[m]	Lunghezza scatolare
$H_{tot}$	=	8.6	[m]	Altezza totale scatolare
$H_{int}$	=	6.3	[m]	Altezza libera scatolare
$P_{ros}$	=	2637.25	[kN]	Peso rostri e travi
$P_{scat}$	=	22962	[kN]	Peso scatolare finale
$P_{mon}$	=	25599	[kN]	Peso monolite
$A_{ext}$	=	760.3	[m <sup>2</sup> ]	Superficie esterna monolite
$h_m$	=	8.6	[m]	Altezza totale scatolare
$L_{pv}$	=	26.3	[m]	Lunghezza platea di varo
$B_{pv}$	=	15.4	[m]	Larghezza platea di varo
$H_{pv}$	=	0.5	[m]	Altezza platea di varo
$P_{pv}$	=	5063	[kN]	Peso platea di varo
$h_{ms}$	=	4.8	[m]	Altezza totale muro di spinta
$h_{ms2}$	=	3.2	[m]	Altezza muro sopra la platea
$S_{ms}$	=	2.5	[m]	Spessore muro di spinta
$L_{ms}$	=	15.4	[m]	Lunghezza muro di spinta
$im$	=	4	[m]	interasse martinetti
$hb$	=	1.10	[m]	Altezza del ballast
$ht$	=	0	[m]	Spessore terreno al di sopra del muro



La spinta sull'apparato di contrasto inizia a manifestarsi dopo il distacco del manufatto dalla platea di varo.

Questa configurazione corrisponde alla fase in cui il monolite è uscito dalla platea di varo e la spinta è nelle fasi finali.

In questa fase è massima la spinta che deve assorbire l'apparato di contrasto.

La spinta totale necessaria a terminare l'infissione risulta quindi:

$$ST = F_s + F_{le} + F_{li} + F_{ie} + F_{ii};$$

con rispettivamente:

$F_s$  : Resistenza su estradosso soletta superiore;

$F_{le}$  : Resistenza laterale su pareti (esterno);

$F_{li}$ : Resistenza laterale su pareti (interno);

$F_{ie}$ : Resistenza su soletta inferiore (estradosso);

$F_{ii}$ : Resistenza su soletta inferiore (intradosso).

NOTA: I contributi “ $F_{li}$ ” e “ $F_{ie}$ ” non vengono presi in conto, date le modalità operative (rimozione del terreno all'interno in contemporaneità con l'infissione). Anche il termine “ $F_s$ ” viene trascurato in quanto l'infissione del monolite avverrà con ponte GUIDO a sostegno del binario esistente.

A favore di sicurezza si ipotizza il monolite appesantito internamente dalle macchine operatrici nonché dalla presenza di terreno di risulta dello scavo quantificabile in un sovraccarico uniforme pari a 15.0 kN/mq che interessa tutta la soletta di base del monolite.

A favore di sicurezza si è trascurato il contributo resistente fornito dalla platea di varo che si oppone alle azioni dei martinetti di spinta tramite l'attrito sul terreno dovuto al suo peso proprio.

Dati geotecnici				
$\phi$	=	38	[-]	Angolo di attrito
c	=	0	[kPa]	Coesione
$K_0$	=	0.38	[-]	Coefficiente di spinta a riposo
$\delta=\phi$	=	38	[-]	Angolo di attrito terreno-muro
$\tan\delta$	=	0.781285	[-]	Coefficiente di attrito terreno-muro
$\gamma_t$	=	20	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico terreno
$K_p$	=	4.20	[-]	Coefficiente di spinta passiva (vedere figura 9)
$\gamma_{ball}$	=	18	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso psecifico ballast

Calcolo azioni di spinta				
$S_i=P_{mon} \times 1$	=	25599	[kN]	Spinta di primo distacco agente sulla platea
$s_i=S_i/B_{pv}$	=	1662	[kN/m]	Spinta distribuita di primo distacco agente sulla platea
$Q=15 \times L_{scat} \times B_{int}$	=	3696	[kN]	Carico macchine operatrici all'interno
$F_{ii}=(P_{mon}+Q) \times \tan\phi + B_{tot} \times L_{scat} \times c'$	=	22888	[kN]	Attrito alla base del monolite comprensivo di 15 kN/mq di appesantimento
$\sigma_{1v}=\gamma_{ball} \times h_b$	=	20	[kPa]	Tensione verticale all'estradosso soletta superiore
$\sigma_{2v}=\sigma_{1v}+\gamma_t \times H_{tot}$	=	192	[kPa]	Tensione verticale all'intradosso fondazione
$F_{ie}=2 \times (\sigma_{v1}+\sigma_{v2}) / 2 \times k_0 \times \tan\phi \times H_{tot} \times L_{scat} + c' \times (2 \times H_{tot} \times L_{scat})$	=	12102	[kN]	Forza di attrito pareti laterali
$S_T=F_{ii}+F_{ie}$	=	34990	[kN]	Spinta totale
$S_{B,m} = S_T/L_{ms}$	=	2272	[kN/m]	Spinta per metro di muro reggispinga
$S^*_{B,m} = S_T/B_{tot}$	=	172	[kN/m]	Spinta per metro di larghezza scatolare

## 12.4. Platea di varo

Il calcolo della platea di varo è effettuato nell'ipotesi che l'armatura longitudinale nella stessa sia in grado di assorbire l'azione di attrito trasmessa dal monolite in fase di spinta.

Verifica platea in fase di varo			
$f_{yd}$	=	391	[MPa] Tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio B450C
$\gamma_{SLU}$	=	1.5	[-] Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{i,d}=S_i \times \gamma_{SLU}$	=	2493	[kN/m] Sforzo assiale di progetto
$A_{s,min}=S_{i,d}/f_{yd}$	=	6377	[mm <sup>2</sup> ] Area minima di armatura resistente
$\phi_{long}$	=	22	[mm] Diametro barra longitudinale
$p_1$	=	100	[mm] Passo delle barre longitudinali
$n_1$	=	20	[-] Numero barre longitudinali a trazione (superiore + inferiore)
$A_{s,eff}=(\phi_{long})^2 \times 3.1416/4 \times n_1$	=	7603	[mm <sup>2</sup> ] Area resistente di acciaio nella soletta (longitudinale)
$\phi_{tr}$	=	16	[-] Diametro barra trasversale
$p_2$	=	200	[mm] Passo barre trasversali
$n_2$	=	10	[-] Numero barre trasversali (superiore+ inferiore)
25% $A_{s,eff}$	=	1901	[mm <sup>2</sup> ] Area minima resistente di acciaio nella soletta (trasversale)
$A_{s,trasv}>25\% A_{s,eff}$	=	2011	[mm <sup>2</sup> ] Area resistente di acciaio nella soletta (trasversale)

In direzione trasversale si dispone in soletta armatura di ripartizione sia all'estradosso che all'intradosso della soletta pari a circa il 25% dell'armatura longitudinale principale.

Lo sforzo di trazione agente sulla platea di varo varia linearmente dal valore massimo calcolato nella sezione di attacco al muro reggispinta sino al valore nullo all'estremità opposta.

La platea di varo è soggetta ad azioni taglianti trascurabili, pertanto la relativa verifica a taglio viene omessa.

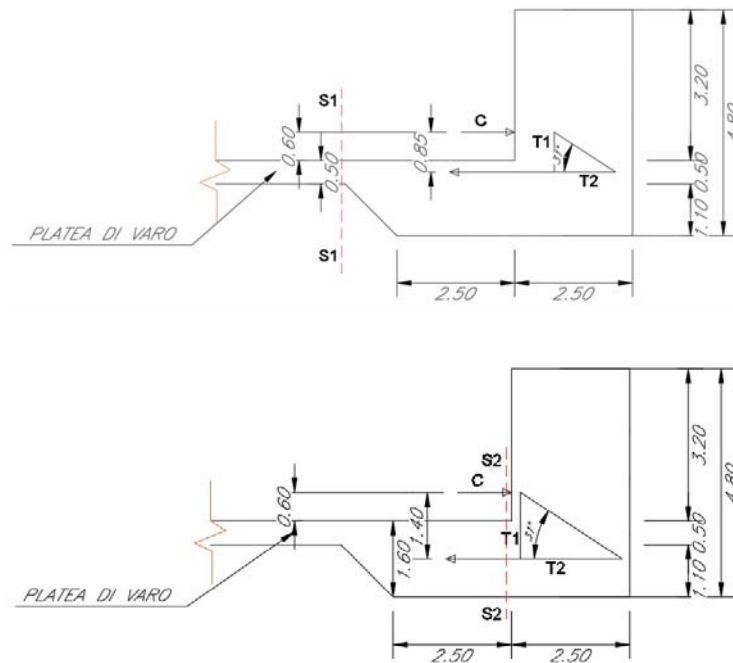
Ulteriore verifica si ottiene considerando la sezione di attacco tra platea e soletta:

L'azione di spinta applicata dai martinetti e la corrispettiva azione di tiro impressa dalla soletta di varo valgono

$$S_{i,d} = 2493 \text{ kN/m.}$$



Il muro reggispinta è quindi sottoposto ad un regime di sforzi le cui risultanti di trazione e compressione si esplicano come in figura a seguire:



**Figura 33 Sollecitazioni agenti all'interno del muro reggispinta in corrispondenza delle sezioni S1 e S2 nella platea di varo.**

$N_{Ed,T2}$	=	2493	[kN/m]
$N_{Rd,T2}$	=	2975	[kN/m]
$N_{Ed,T1}$	=	1498	[kN/m]
$N_{Rd,T1}$	=	1770	[kN/m]
M	=	2119	[kN/m]

Il corrente teso inferiore (T2) sottopone a trazione le barre di armatura della soletta di varo, costituite da 10+10 $\phi$ 22/m ( $A_s = 7600 \text{ mm}^2/\text{m}$ ).

Il corrente teso verticale (T1) sarà invece armato mediante 10 $\phi$ 24/m ( $A_s = 4524 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) dovendo sopperire ad un tiro di intensità pari a  $N_{Ed,T1} = N_{Ed,T2} * \text{tg}31^\circ = 1498 \text{ kN/m}$ .

$$N_{Rd,T1} = 4524 * 391.3/1000 = 1770 \text{ kN/m.}$$

La spinta esercitata dai martinetti sul muro reggispinta e la risultante delle trazioni che si producono nella platea di varo risultano agenti a quote differenti.

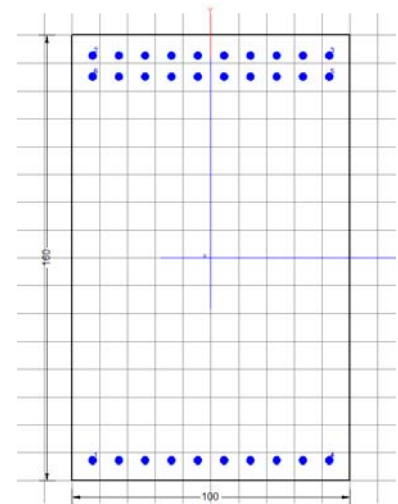
La differenza di quota tra il punto di applicazione della forza e della reazione nello spessore di 50 cm (sezione S1-S1) è pari circa a 0.85 m. Gli effetti indotti dalla coppia torcente sono  $M = 2493 \text{ kN} * 0.85 = 2119 \text{ kNm/m}$ .

In corrispondenza dell'ispessimento della platea, con una sezione di 160 cm (S2-S2), si ha un valore invece della coppia di di 3491 kNm.

### Verifica a flessione SLU (sezione di 160 cm)

Considerando:

- $B = 1000 \text{ mm};$
- $H = 1600 \text{ mm};$
- $c = 60 \text{ mm};$
- $A_s = 1\phi 28/10 + 1\phi 28/10$
- $A'_s = 1\phi 28/10$



### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Metodo di calcolo resistenza:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Tipologia sezione:	N.T.C.
Normativa di riferimento:	Molto aggressive
Condizioni Ambientali:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento Sforzi assegnati:	

### 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
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	83 di 106

Coef. Aderenza istantaneo  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 1.00  
 Coef. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-80.0
2	-50.0	80.0
3	50.0	80.0
4	50.0	-80.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.6	-72.8	28
2	-42.6	72.8	28
3	42.6	72.8	28
4	42.6	-72.8	28
5	42.6	65.2	28
6	-42.6	65.2	28

**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	28
2	2	3	8	28
3	6	5	8	28

**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	3491.00	0.00	0.00	0.00

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

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	84 di 106

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	2330.00 (1466.22)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 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	0.00	3491.00	0.00	0.00	3599.89	0.00	1.03	123.2(23.1)

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

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

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.081	-50.0	80.0	0.00147	-42.6	72.8	-0.03956	-42.6	-72.8

**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	0.000281806	-0.019044449	0.081	0.700

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	5.40	-50.0	80.0	-267.3	33.1	-72.8	1800	61.6

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$ Esito della verifica
e1	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	N	-0.00142	0	0.500	28.0	58	0.00106 (0.00080)	336	0.358 (0.4)	1466.22	0.00

**12.4.1. Riepilogo armature**

Platea di varo (sp. 0.5 m):

Elemento strutturale	Armatura Principale	Armatura secondaria
Sez. 50 cm (i primi 5 m)	$\phi 22/10 + \phi 22/10$ sup. longitudinale $\phi 22/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale

Sez. 50 cm (dopo 5 m)	$\phi 22/10$ sup. longitudinale $\phi 22/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale
--------------------------	--	--------------------------------------

Platea di varo (sp. 1.60 m) :

<b>Elemento strutturale</b>	<b>Armatura Principale</b>	<b>Armatura secondaria</b>
Sez. 50 cm (i primi 5 m)	$\phi 28/10 + \phi 28/10$ sup. longitudinale $\phi 28/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale
Sez. 50 cm (dopo 5 m)	$\phi 28/10$ sup. longitudinale $\phi 28/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale

## 12.5. Muro reggispinta

Durante l'infissione vengono ad aggiungersi alle forze che si oppongono all'avanzamento della struttura anche gli attriti laterali. La massima reazione del terreno a tergo della parete di spinta viene valutata in funzione dell'angolo di attrito.

La spinta massima sul monolite in fase di infissione deve essere equilibrata dalla spinta passiva del terreno retrostante al muro reggispinta, valutata sull'altezza del muro.

Il coefficiente di spinta passiva è determinato secondo al teoria di Caquot-Kerisel ipotizzando una superficie di rottura del terreno di tipo curvilineo. Si ipotizza inoltre l'attrito tra terreno e muro pari all'angolo di attrito del terreno ( $\delta=\phi'$ ). Si riporta di seguito il grafico utilizzato per il calcolo del coefficiente di spinta passivo. Si ricava un valore pari a  $K_p=8.3$  (per un valore di  $\delta=\phi'$  tabellare pari a  $35^\circ$ , a favore di sicurezza) e un F.S. pari a 2.

*S. Rampello, L. Callisto, L. Masini*

13

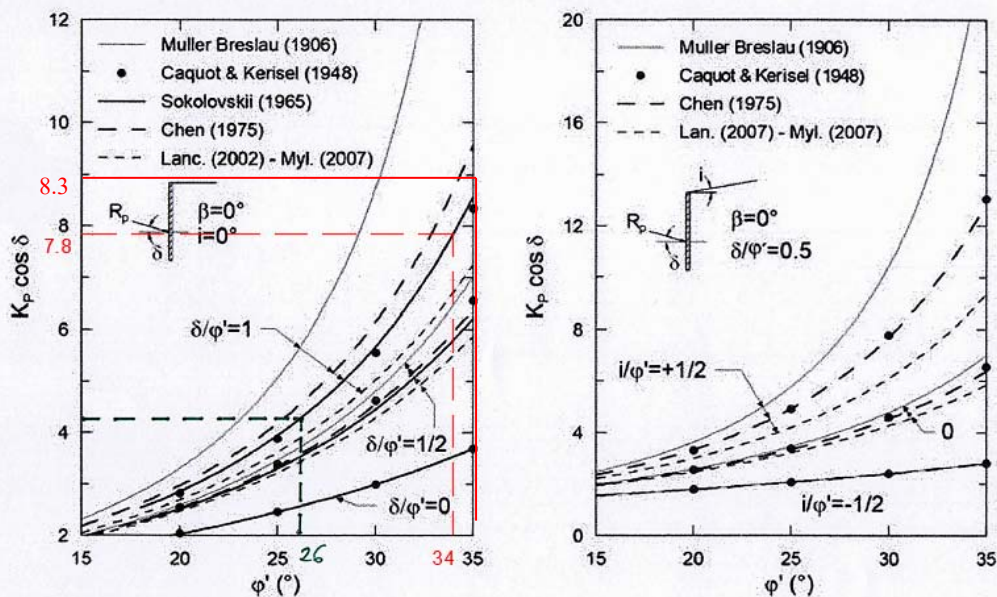


Figura 5: Confronto tra i valori di  $K_p \cdot \cos \delta$  ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura.

**Figura 34 Determinazione del coefficiente di spinta passiva.**

Per il calcolo della spinta passiva si fa riferimento al seguente schema.

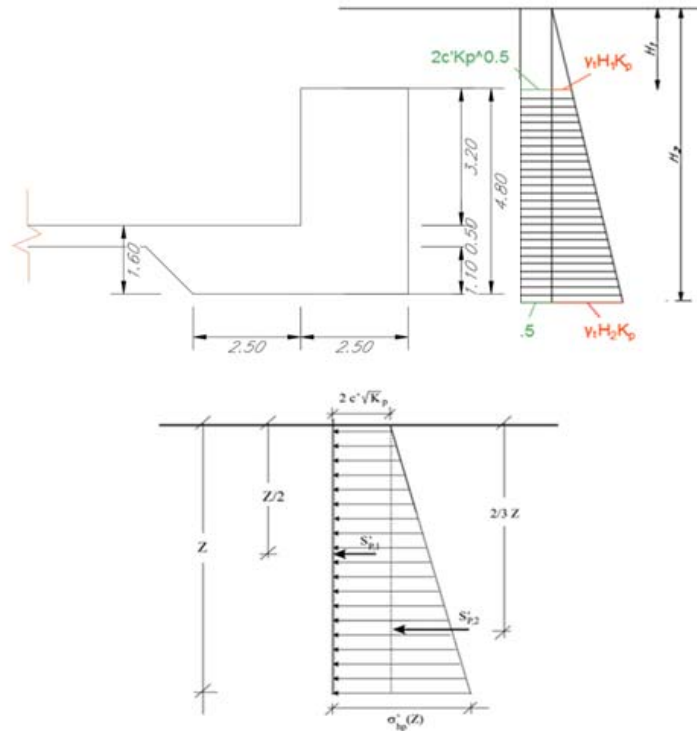


Figura 13.19 – Diagramma di spinta passiva in un terreno dotato di coesione e attrito

**Figura 35 Schema di calcolo della spinta passiva (nel nostro caso  $K1=0$ ).**

Per il calcolo dell'armatura orizzontale si assume l'ipotesi che la spinta  $p=(S_{T,d}-R)$ , calcolata detraendo la spinta passiva resistente dalla spinta totale d'infissione, venga ripartita uniformemente sull'intera lunghezza della trave reggispinta.

La trave con sezione a T, come da condizione realistica in sito (vedi immagine a seguire), si considera semplicemente appoggiata.



**Figura 36 Schema di vincolo della trave reggispinta.**



Assumendo il valore massimo di pressione unitaria:

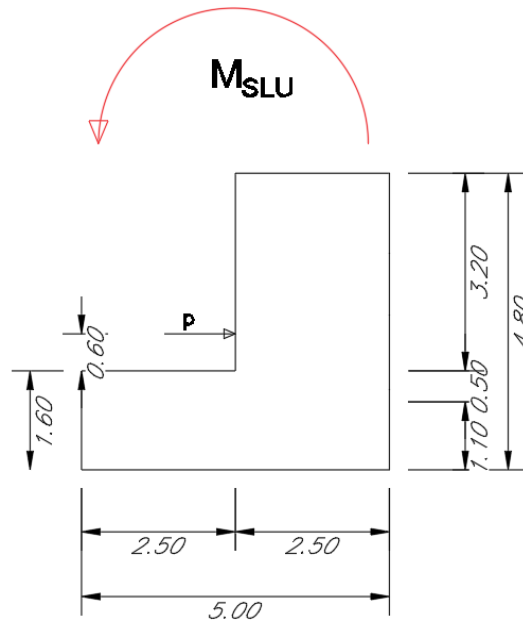
$$p = S_T / B_{tot}$$

il momento e il taglio vengono così calcolati:

$$M = pl^2 / 8$$

$$T = pl / 2$$

Con  $l$  pari a  $B_{tot}$ .



**Figura 37 – Azione di momento agente sulla sezione a T**

Si ha:

Verifica del muro reggispinta				
$S_T = F_{ij} + F_{ie}$	=	34990	[kN]	Spinta totale di infissione
$\gamma_{SLU}$	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{T,d} = S_T \times \gamma_{SLU}$	=	52485	[kN]	Spinta di progetto
$H_1$	=	0	[m]	Inizio muro reggispinta
$H_2$	=	4.8	[m]	Fine muro reggispinta
$L_{ms}$	=	15.4	[m]	Lunghezza muro di spinta
$K_p / 2$ (F.S.)	=	4.2	[-]	Coefficiente di spinta passiva
$\gamma_t$	=	20	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico terreno
$\sigma_{p1} = K_p \times \gamma_t \times H_1 + 2c' \times K_p^{0.5}$	=	0	[kN/m <sup>2</sup> ]	Pressione dovuta alla spinta passiva in testa al muro
$\sigma_{p2} = K_p \times \gamma_t \times H_2 + 2c' \times K_p^{0.5}$	=	398	[kN/m <sup>2</sup> ]	Pressione dovuta alla spinta passiva alla base del muro
$R = (\sigma_{p1} + \sigma_{p2}) \times L_{ms} \times (H_2 - H_1) / 2$	=	14725	[kN]	Spinta passiva resistente
$p = (S_{T,d} - R) / B_{tot}$	=	2861	[kN/m]	Pressione agente sul muro reggispinta al metro
$M_{SLU} = 1/8 p l^2$	=	62304	[kNm]	Momento sul muro reggispinta
$T_{SLU} = 1/2 p l$	=	18880	[kN]	Taglio sul muro reggispinta

Per le verifiche agli SLE si considerano a favore di sicurezza le sollecitazioni  $SLU/1.5 = 41536$  kNm.

La sezione a T è armata con:

1+1+1 fi26/10 lato teso

1fi 26/10 lato compresso

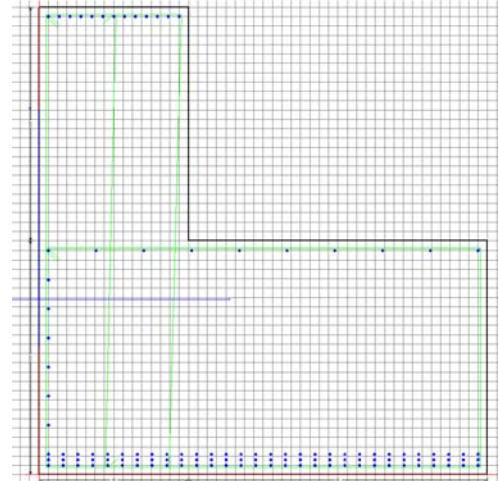
staffe fi18/20 x 4 bracci + 1 spilla fi18/20

(copriferro netto staffa > 60 mm)

### Verifica a flessione SLU

#### DATI GENERALI SEZIONE

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Resistenze agli Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica di Trave  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive  
 Tipo di sollecitazione: Retta (asse neutro sempre parallelo all'asse X)  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	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	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	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		

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
 Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	0.0	0.0
2	0.0	500.0
3	160.0	500.0
4	160.0	250.0
5	480.0	250.0
6	480.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	10.0	10.0	26

**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	92 di 106

2	470.0	10.0	26
3	10.0	490.0	26
4	150.0	490.0	26
5	10.0	16.0	26
6	470.0	16.0	26
7	470.0	22.0	26
8	10.0	22.0	26
9	10.0	240.0	26
10	470.0	240.0	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	1	2	28	26
2	3	4	11	26
3	5	6	28	26
4	9	10	8	26
5	8	9	6	26
6	8	7	28	26

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 18 mm

Passo staffe e legature: 20.0 cm

**Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:**

N°Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra
1	3	4	18	1
2	9	10	2	1

N° Legature: 1

Diam. Legature: 18

**Indicazione Barre Longitudinali di estremità delle legature:**

N°Legat.	Barra 1	Barra 2
1	44	14

**Coordinate Barre generate di risvolto per staffe e legature:**

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
18	136.9	10.0
44	80.0	490.0
14	73.4	10.0

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

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
---------	---	----	----



**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	94 di 106

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	0.000033224	-0.013112047	0.215	0.709

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:                    18 mm  
 Diam. Legature:                18 mm  
 Passo staffe e legature:        20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver                    S = comb. verificata / N = comb. non verificata  
 Ved                  Taglio di progetto [kN] =  $V_y$  ortogonale all'asse neutro  
 Vcd                  Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]  
 Vwd                  Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]  
 Dmed                Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
                           Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
                           I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw                    Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
                           E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Ctg                  Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw                  Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast                  Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
 A.Eff                Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
                           Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
                           L'area della legatura è ridotta col fattore  $L/d_{max}$  con  $L$ =lungh.legat.proietta-  
                           ta sulla direz. del taglio e  $d_{max}$ = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	18880.00	18880.00	19616.74	496.0	160.0	2.230	1.000	48.5	50.4(12.7)

**COMBINAZIONI FREQUENTI 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	6.84	0.0	500.0	-196.1	454.1	10.0	18986	477.8

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**
**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.                    La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
 e1                    Esito della verifica  
 e2                    Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1                    Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
                           = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt                    = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2                    = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3                    = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4                    = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø                    Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]

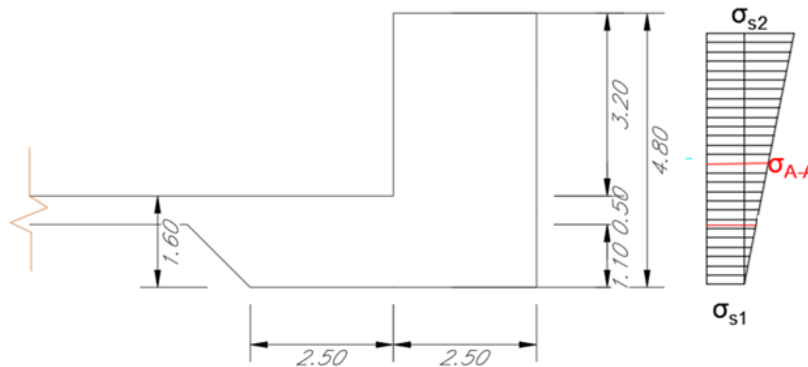
**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	95 di 106

Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00101	0	0.500	26.0	87	0.00063 (0.00059)	471	0.295 (0.40)	42357.04	-27056.46

Per il calcolo dell'armatura verticale si assume la configurazione seguente:



**Figura 38 Schema di calcolo armature verticali**

Al fine di valutare le sollecitazioni nelle sezioni critiche della parete di spinta si fa riferimento ad un diagramma della reazione del terreno fittizio. Di seguito si valutano il valor medio della reazione del terreno, le pressioni in testa e al piede del muro e il momento di verifica nella sezione A-A calcolato a favore di sicurezza:

Verifica del muro reggispinta (armature verticali )			
$S_T = F_{ii} + F_{ie}$	=	14725	[kN] Spinta totale di infissione
$\gamma_{SLU}$	=	1.5	[-] Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{T,d} = S_T \times \gamma_{SLU}$	=	22087	[kN] Spinta di progetto
$h_{ms}$	=	4.8	[m] Altezza muro di spinta
$L_{tot}$	=	13.2	[m] Lunghezza muro di spinta adottata per schema di vincolo
$b_s$	=	0.65	[m] Inizio muro reggispinta
$\sigma_{tm} = S_{T,d} / (L_{ms} \times h_{ms})$	=	349	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{1s} = \sigma_{tm} - S_{T,d} \times b_s / (L_{ms} \times h_{ms}^2 / 6)$	=	65	[kN/m <sup>2</sup> ]
$\sigma_{2s} = \sigma_{tm} + S_{T,d} \times b_s / (L_{ms} \times h_{ms}^2 / 6)$	=	632	[kN/m <sup>2</sup> ]
$H_A$	=	3.2	[m] Altezza sezione di verifica A-A
$\sigma_{A-A}$	=	254.13	[kN/m <sup>2</sup> ] Pressione media dovuta alla spinta passiva nella sezione A-A
$M_{A-A}$	=	2590.4	[kNm/m] Momento massimale al muro sopra
$V_{A-A}$	=	1418	[kN/m] Taglio sezione A-A



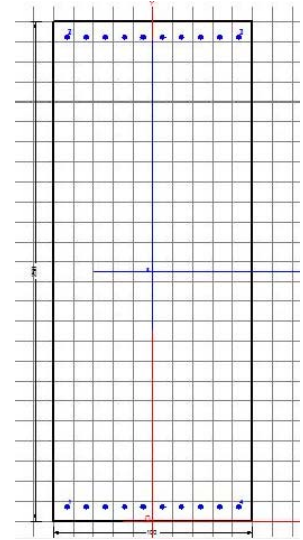
### Verifica a flessione SLU

Considerando:

- B = 1000 mm;
- H = 2500 mm;
- c = 60 mm;
- $A_s = 1\phi 26/10$
- $A'_s = 1\phi 26/10$

#### DATI GENERALI

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### 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
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
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	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-125.0
2	-50.0	125.0
3	50.0	125.0



**RELAZIONE DI CALCOLO SCATOLARE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200001	A	99 di 106

**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 (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	2590.00	0.00	0.00	4922.88	0.00	1.90	53.1(36.4)

**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	0.00303	0.043	-50.0	125.0	0.00087	-42.6	117.6	-0.06750	-42.6	-117.6

**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	0.000290707	-0.033312874	0.043	0.700

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

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.42	-50.0	125.0	-142.8	33.1	-117.6	1850	53.1

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica

e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]

k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]

k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_c$  eff [eq.(7.11)EC2]

Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]

Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 \cdot S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]

sr max Massima distanza tra le fessure [mm]

wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \cdot \max(e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi


Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00074	0	0.500	26.0	61	0.00043 (0.00043)	361	0.155 (0.20)	3117.80	0.00

### 12.5.1.Riepilogo armature

Elemento strutturale	Armatura verticale	Armatura orizzontale	Specifica armatura a taglio
muro	1φ26/10 esterni e interni	1φ26/10 esterni e interni	spille φ12/20/40

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

### 13. SCATOLARE REALIZZATO IN OPERA NELLA CAMERA DI ARRIVO

Una volta demolito il rostro, verrà realizzato lo Scatolare in opera nella camera di arrivo

La sezione tipo è quella DD fra diaframmi a T.

lo spazio di 50 cm sul fianco serve a favorire l'ingresso del rostro e le lavorazioni di demolizione.

Questo spazio verrà riempito con cls magro, previa cassetatura entro lo spazio dei 50 cm.

Quindi sarà realizzata l'impermeabilizzazione (TNT+PVC2 mm + TNT); quindi sarà realizzata la parete dello scatolare.

Per lo scatolare, che non ricade sotto ferrovia, si adottano cautelativamente le stesse sezioni resistenti del monolite.

La fondazione e la copertura sono realizzate con maggiore lunghezza, per fornir un contrasto al fondo e in testa ai diaframmi a T, a lungo termine.

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

## 14. CONSOLIDAMENTO E IMPERMEABILIZZAZIONE PER MEZZO DI INIEZIONI A BASSA PRESSIONE

### 14.1. PREMESSA

Al fine di garantire l'impermeabilizzazione del volume di terreno, immerso in falda, sotto il binario, sotto il quale verrà spinto il monolite, si prevede l'esecuzione preventiva di una coppia di schermature verticali poste ai fianchi e di una schermatura orizzontale posta al di sotto dei rispettivi piani all'interno dei quali dovrà scorrere il monolite.

Il volume di terreno interessato dal consolidamento ha profondità circa 7.6 m dal piano di lavoro e larghezza 15.9 m ca. Le schermature saranno realizzate per mezzo di iniezioni cementizie e chimiche eseguite per mezzo di tubi valvolati suborizzontali.

Le schermature saranno infitte orizzontalmente a partire dalla camera di varo, mano a mano che la stessa viene scavata, eseguendo prima i fianchi al progressivo abbassamento di quota e, una volta raggiunta la quota di posa della platea di varo, eseguendo la lama di chiusura inferiore. Le iniezioni dovranno attraversare prima la parete in jet grouting, realizzata sul fronte di scavo a contenimento della falda, ed estendersi longitudinalmente fino a raggiungere una seconda parete di jetgrouting, realizzata sul lato opposto del binario. Le iniezioni verranno infitte su questa seconda parete, formando una scatola impermeabilizzata. Tale scatola sarà svuotata del solo volume d'acqua intercluso, durante lo scavo di avanzamento del monolite.

Le iniezioni cementizie dovranno essere eseguite nel rispetto del COOCC Parte II Sezione 10 “**OPERE DI MIGLIORAMENTO RINFORZO E STABILIZZAZIONE**”


### 14.2. PERFORAZIONE

Il trattamento sarà sviluppato inizialmente dal piano campagna verso il rilevato ferroviario (piano del ferro circa 2.8 m più alto) e successivamente dalla quota di scavo in progressivo ribasso, per mezzo di tubi valvolati (canne a manchettes) orizzontali /suborizzorizzontali.

La perforazione dovrà essere eseguita mediante sonda a rotazione o rotopercolazione con circolazione inversa di fluidi, fino a raggiungere la profondità di progetto. Il diametro non dovrà essere superiore a 160 mm.

I fori dovranno essere stabilizzati per mezzo di rivestimento provvisorio che dovrà essere estratto dopo la formazione della guaina.

I fori saranno eseguiti con una inclinazione variabile tra 0 e 15° e per una lunghezza compresa tra tra 18 (in testa) e 27 m ca. (sul fondo).

	<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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

Lo schema di dettaglio della posizione delle perforazioni, per garantire il raggiungimento degli obiettivi progettuali dovrà essere sviluppato, in fase di progettazione esecutiva e sulla base dell'organizzazione delle attività di cantiere.

I tubi di iniezione saranno attrezzati con valvole passo 33 cm (3 x 1 m).

Come previsto dal succitato COOCC Parte II Sezione 10 cap. 10.8.2 l'idoneità delle miscele e delle modalità esecutive, gli effetti indotti nel terreno e l'accertamento dell'uniformità delle caratteristiche meccaniche e di permeabilità del terreno trattato dovranno essere verificate mediante l'esecuzione di prove preliminari.

### 14.3. MISCELE DI INIEZIONE

#### 1) *Miscele di guaina*

Come specificato nel COOCC la guaina di iniezione sarà eseguita dopo la posa della tubazione valvolata.

Indicativamente la composizione della guaina sarà:

- acqua: 100 l
- cemento (325): 50 kg
- bentonite: 6 kg
- eventuale additivo disperdente per evitare i grumi di bentonite e cemento, secondo quantitativo consigliato dal produttore

La miscela ottenuta dovrà avere i seguenti requisiti:

1. La separazione di acqua a 24 ore deve risultare: < 2%

La viscosità, misurata con l'imbutto di Marsh, dovrà essere compresa nell'intervallo: **38" ÷ 42"**


La bentonite dovrà essere opportunamente pre-idratata in vasche, prima di essere aggiunta al cemento ed al quantitativo integrativo di acqua, in alternativa se si utilizza un miscelatore ad alta velocità ed efficienza, può essere aggiunta secca durante la fase di miscelazione. In questo caso, comunque, dovrà essere verificata prima e periodicamente durante le lavorazioni la perfetta idratazione della bentonite.

In aggiunta a quanto previsto dal succitato COOCC, la guaina dovrà essere con apposita cannetta da fondo scavo.

#### 2) *Miscela di iniezione cementizia*

La miscela cementizia di iniezione a pressione dovrà essere egualmente stabilizzata mediante bentonite.

La bentonite dovrà essere pre-idratata come per la miscela di guaina.

 <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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

Indicativamente, la composizione della miscela sarà la seguente:

- acqua: 100 l
- cemento: 50 kg
- bentonite: 4÷5 kg
- eventuale additivo disperdente per evitare i grumi di bentonite e cemento

Dovrà essere impiegato cemento tipo 425.

A titolo indicativo, a metro cubo di prodotto reso della miscela a/c/b=100/50/5 si hanno i seguenti quantitativi dei singoli componenti:

- acqua: 800-840 l
- cemento: 410-430 kg
- bentonite: 45-50 kg

Il peso specifico della miscela risulterà pari a circa  $\gamma = 1,30-1,35 \text{ t/m}^3$

La miscela dovrà avere le seguenti caratteristiche:

1. La separazione di acqua a 24 ore dovrà risultare: < 2%
2. La viscosità misurata con l'imbuto di Marsh, dovrà essere compresa nel seguente intervallo: **35” ÷ 38”**

#### *14.3.1.3) Miscela chimica*

Successivamente alle iniezioni cementizie, quando in tutte le valvole sarà raggiunto il valore di massima pressione di iniezione prevista dovrà essere eseguita una successiva iniezione con legante a base di composti minerali organici ad altissima fluidità avente le seguenti caratteristiche:

- densità immediatamente dopo la miscelazione  $1,3 \pm 0,03$  a 20°C
- viscosità Brookfield (mPa\*s) immediatamente dopo la miscelazione  $\leq 50$
- diametro delle particelle  $\leq 10 \mu\text{m}$ .



 <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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

#### 14.4. PROCESSO DI INIEZIONE

##### 3) Apertura delle valvole

Ultimata la formazione della guaina, si darà luogo alla esecuzione delle iniezioni le fasi di seguito descritte.

Per ogni asse di iniezione si procederà all'iniezione di ogni valvola, partendo dalla valvola più profonda e procedendo con continuità.

L'operazione sarà eseguita tramite un pistoncino con coppetta a doppia tenuta. L'apertura di ciascuna valvola sarà tentata inviando la stessa miscela di iniezione con valori di pressione anche prossimi a quella massima raggiungibile dall'iniettore.

##### 4) Pressione e velocità di iniezione

Il calcolo della pressione efficace di iniezione, in dettaglio, potrà essere sviluppato dopo che sono state definite le modalità operative dovrà essere utilizzata la seguente relazione:

$$P_m = 1,5 \text{ [bar/m]} \cdot h \text{ [m]}$$

dove h rappresenta lo spessore della copertura e che indicativamente non dovrebbe superare, in questo caso, un valore di circa 20 bar, per le valvole più profonde.

Analogamente, si ritiene, sempre a titolo indicativo e da sperimentare durante il campo prova prima delle lavorazioni non dovrà essere inferiore a 6 bar, salvo, appunto, la verifica del comportamento durante il campo prova.

Nel rispetto del COOCC, prima dell'inizio dell'iniezione dovrà essere registrata e verbalizzata la perdita di carico dalla centrale di iniezione al pistoncino.


La pressione di iniezione sarà la somma di quella efficace e la perdita di carico e, analogamente al volume e alla velocità di iniezione dovranno essere registrate.

Di norma per valori di pressione di mandata (efficace più perdite di carico) compresi tra 15-30 bar la velocità dovrà essere di circa 5-10 l/min.

##### 5) Volumi di iniezione

Tenendo conto che il volume interessato dall'iniezione è stato assimilato ad una colonna di diametro 1,40 metri, il volume di iniettare è stato calcolato con le seguenti considerazioni:

- per 1 metro di spessore, il volume totale dei vuoti, comunicanti o meno, può essere ipotizzato pari al 40% del volume interessato della singola iniezione, quindi stimabile per il foro isolato in tal modo:

 <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 SCATOLARE</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200001	REV. A

$$V_V = 0,4\%V = 0,4 \cdot \pi \cdot D_i^2 / 4 = 0,4 \cdot \pi \cdot 1,40^2 / 4 \approx 600 \text{ litri}$$

- il volume totale iniettabile per impregnazione, disperdimenti e mini-claquage inclusi, può essere stimato in circa il 70% del valore di  $V_V$

$$V_{In} = 80\%V_V = 80\% \cdot 600 \approx 480 \text{ litri/m}$$

Salvo adeguamenti in corso d'opera, le iniezioni saranno condotte per ogni valvola in 3 fasi, di cui 2 a base di prodotti cementizi, ed 1 con miscela chimica con i seguenti volumi:

- 1a fase:  $V_1 = 200$  litri di miscela cementizia
- 2a fase:  $V_2 = 100$  litri di miscela cementizia
- 3a fase:  $V_3 = 100$  litri di miscela chimica

#### 14.5. Prescrizioni operative

Nel rispetto del COOCC Sez. 10, di seguito sono riportate le specifiche operative per l'esecuzione delle iniezioni:

- la pressione di iniezione  $P_m$ , calcolata come precedentemente dovrà essere quella efficace, al netto delle perdite di carico.
- La pressione necessaria per l'apertura delle valvole, e di iniezione dovrà essere verificata ad inizio delle lavorazioni, partendo da quella teorica indicata precedentemente e dovrà essere la massima possibile senza creare fatturazione idraulica;
- il volume  $V_i$  sarà iniettato fino a raggiungere i valori di massima pressione  $P_m$  previsto con una tolleranza del 10%;
- qualora dovesse essere raggiunto il valore  $P_m$  l'iniezione si fermerà anche se il volume iniettato  $V_i$  non abbia raggiunto il valore massimo previsto;
- qualora durante l'iniezione della valvola non venga mai raggiunto il valore  $P_m$ , (con valori significativi) pur raggiungendosi il valore  $V_i$  previsto l'iniezione verrà interrotta;
- durante le iniezioni cementizie, nel caso di mancato raggiungimento della pressione di rifiuto  $P_m$  si eseguirà una successiva iniezione con un volume pari a quello di prima fase.
- durante le iniezioni chimiche nel caso di mancato raggiungimento della pressione di rifiuto  $P_m$ , e dopo aver verificato che la pressione tende comunque ad aumentare, si continuerà ad iniettare fino al raggiungimento di questa e/o un volume doppio di quello previsto