

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

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

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

Relazione di calcolo diaframmi a "T"

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 4 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. Pirego	Marzo 2020



File: NB1R08D26CLSL0200004A

n. Elab.:

## INDICE

1. PREMESSA .....	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E DOCUMENTI DI PROGETTO.....	6
2.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
2.2. DOCUMENTO DI PROGETTO.....	8
3. PARAMETRI GEOTECNICI.....	9
3.1. TERRENO DI FONDAZIONE .....	9
3.2. TAPPO DI FONDO.....	10
3.3. CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	11
4. MATERIALI.....	12
4.1. CALCESTRUZZO.....	12
4.2. ACCIAIO DA ARMATURA ORDINARIA .....	13
4.3. ACCIAIO PER ARMATURA PUNTELLI.....	13
5. SOFTWARE DI CALCOLO .....	14
6. ANALISI DEI CARICHI.....	16
6.1. PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA ( $G_1$ ).....	16
6.2. CARICHI PERMANENTI PORTATI ( $G_2$ ).....	16
6.3. SPINTA DELLE TERRE E DELL’ACQUA.....	16
6.4. CARICHI ACCIDENTALI ( $Q_{ACC}$ ) .....	17

6.5.	AZIONI SISMICHE .....	17
7.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	18
8.	MODELLO DI CALCOLO .....	21
9.	SINTESI RISULTATI .....	28
9.1.	MODELLO A – ZONA VASCA DI RACCOLTA.....	28
9.2.	MODELLO B – CAMERA DI ARRIVO ROSTRO .....	31
10.	VERIFICHE .....	33
10.1.	VERIFICHE DIAFRAMMI D’ANIMA .....	33
10.2.	VERIFICHE DIAFRAMMI DI PIATTABANDA .....	38
10.3.	VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITÀ DEI PUNTELLI.....	43
10.4.	VERIFICA DELLA TRAVE DI CORONAMENTO - MODELLO A.....	44
10.5.	VERIFICA DELLA TRAVE DI CORONAMENTO - MODELLO B .....	47
10.6.	VERIFICHE GEOTECNICHE IN FASE DI ESERCIZIO (SLE) .....	49
10.7.	CALCOLO E VERIFICHE TAPPO DI FONDO.....	50
11.	INCIDENZE DELLE ARMATURE.....	51

ALLEGATO 1 – TABULATO DI CALCOLO MODELLO A

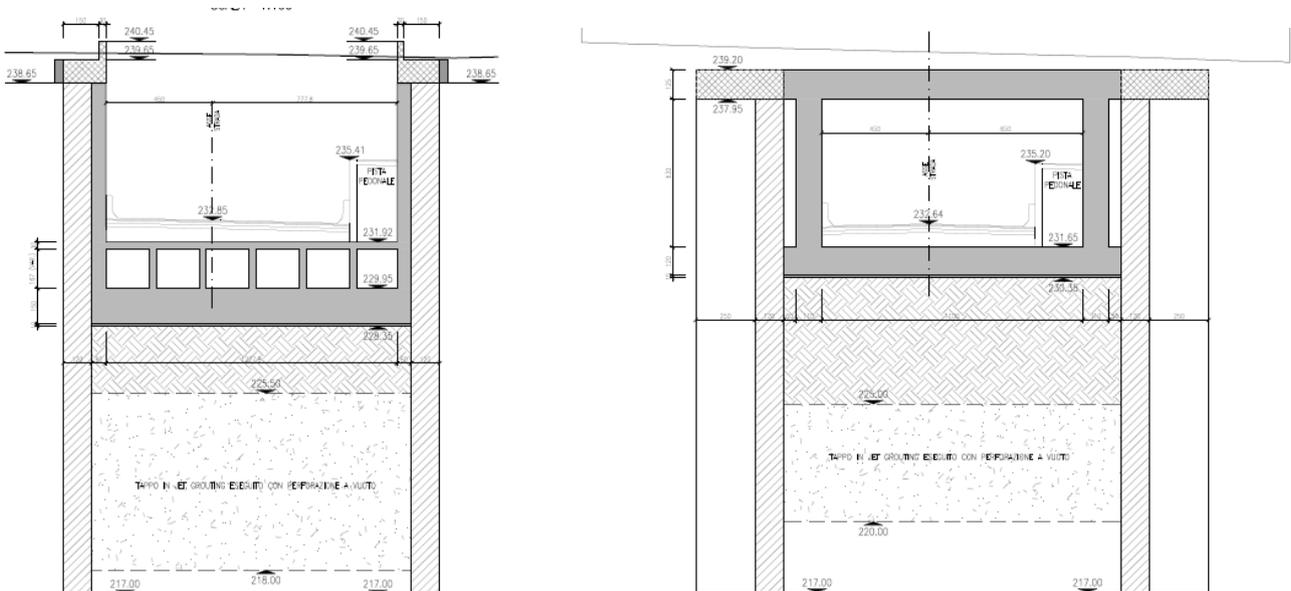
ALLEGATO 2 – TABULATO DI CALCOLO MODELLO B

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è un tratto del sottopasso SL02, posto al km 7.741 della tratta ferroviaria Bergamo-Montello. L'opera si inserisce nel lotto 1 dei lavori di raddoppio della ferrovia Ponte San Pietro – Bergamo – Montello. Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza dei diaframmi a T, che sostengono gli scavi a sud della ferrovia per la formazione della vasca di raccolta acque delle rampe e per la creazione della camera di arrivo del rostro del monolite a spinta, al di sotto della ferrovia. Qui verrà realizzato lo scatolare di raccordo con la galleria realizzata con metodo Milano. Tale galleria sottopassa via Don G. Canini, nel comune di Albano Sant'Alessandro (BG), e l'area scoperta di alcune abitazioni private situate tra la ferrovia Bergamo – Montello e la strada.

Mentre i diaframmi che sostengono la camera di arrivo del rostro possono essere considerati solamente in condizioni provvisorie, quelli che sostengono lo scavo per la vasca di raccolta avranno una funzione anche in fase di esercizio dell'opera. Il calcolo terrà quindi conto delle condizioni più gravose tra le due.

Nel seguito si presenta la sezione trasversale del tratto di scavo oggetto del calcolo.



**Figura 1: Sezioni trasversali con arredo. A sinistra la sezione della vasca di raccolta, a destra la sezione nella camera di arrivo del rostro.**



 <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 DIAFRAMMI A “T”</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>08</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0200005</td> <td>A</td> <td>6 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	6 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	6 di 51								

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E DOCUMENTI DI PROGETTO

### 2.1. Normativa di riferimento

- 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
- *Manuale di progettazione RFI DTC SI PS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 2;*
- *Manuale di progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 3;*
- EN 1991-2 “*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*”.
- Regolamento (UE) n.1299/2014 del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.
- Ciria C760 – “*Guidance on embedded retaining wall design*”
- UNI EN 206:2016 “*Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità*”
- DGR n.IX/2616 di Regione Lombardia del 30/11/2011: “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 11 Marzo 2005, n. 12*”
- *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;*
- *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*

	<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 DIAFRAMMI A “T”</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>08</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0200005</td> <td>A</td> <td>7 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	7 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	7 di 51								

*europea, rettificato dal Regolamento (UE) 2016/912 del 9 giugno 2016 e modificato dal 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 COMMISSISONE 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 COMMISSISONE del 16 maggio 2019 che modifica i regolamenti (UE) n. 321/2013, (UE) n. 1299/2014, (UE) n. 1301/2014, (UE) n. 1302/2014, (UE) n. 1303/2014 e (UE) 2016/919 della Commissione e la decisione di esecuzione 2011/665/UE della Commissione per quanto riguarda l'allineamento alla direttiva (UE) 2016/797 del Parlamento europeo e del Consiglio e l'attuazione di obiettivi specifici stabili nella decisione delegata (UE) 2017/1471 della Commissione.*

## 2.2. Documento di progetto

Elaborato	Codifica												
Relazione di calcolo scatolare	NB1R	0	1	D	26	CL	SL	0	2	0	0	001	A
Relazione di calcolo rampe	NB1R	0	1	D	26	CL	SL	0	2	0	0	002	A
Relazione di calcolo vasca per impianto di sollevamento acque	NB1R	0	1	D	26	CL	SL	0	2	0	0	003	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	NB1R	0	1	D	26	CL	SL	0	2	0	0	004	A
Relazione di calcolo galleria artificiale metodo Milano	NB1R	0	1	D	26	CL	SL	0	2	0	0	007	A
Relazione di calcolo Diaframmi	NB1R	0	1	D	26	CL	SL	0	2	0	0	006	A
Planimetria generale - pianta e sezioni	NB1R	0	1	D	26	PA	SL	0	2	0	0	001	A
Carpenteria monolite e particolari	NB1R	0	1	D	26	BB	SL	0	2	0	0	001	A
Profilo longitudinale lato nord e ferrovia	NB1R	0	1	D	26	FB	SL	0	2	0	0	001	A
Profilo longitudinale lato sud	NB1R	0	1	D	26	FB	SL	0	2	0	0	002	A
Planimetria lato nord	NB1R	0	1	D	26	PB	SL	0	2	0	0	001	A
Planimetria lato sud	NB1R	0	1	D	26	PB	SL	0	2	0	0	002	A
Sezioni lato nord e lato sud	NB1R	0	1	D	26	WB	SL	0	2	0	0	001	A
Fasi realizzative Tav. 1/2	NB1R	0	1	D	26	B9	SL	0	2	0	0	001	A
Fasi realizzative Tav. 2/2	NB1R	0	1	D	26	B9	SL	0	2	0	0	002	A
Camera di varo - piante e sezioni	NB1R	0	1	D	26	BA	SL	0	2	0	0	001	A
Pianta e sezioni sotto ferrovia	NB1R	0	1	D	26	BA	SL	0	2	0	0	002	A
Vasca di raccolta e locale pompe	NB1R	0	1	D	26	BZ	SL	0	2	0	0	001	A
Diaframmi, particolari, dettagli e finiture	NB1R	0	1	D	26	BZ	SL	0	2	0	0	002	A
Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica.	NB1R	0	1	D	69	RG	GE	0	0	0	1	001	A

### 3. PARAMETRI GEOTECNICI

#### 3.1. Terreno di fondazione

Con riferimento alla Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica, 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					
	$\gamma_n$	$K_0$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$G_0$	$E_0$	$E_{op1}$	$E_{op2}$	$\nu'$	$k_v$ (*)
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[m/s]
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).

Sempre con riferimento alla suddetta relazione, 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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><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)</p>												
<p><b>RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>08</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0200005</td> <td>A</td> <td>10 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	10 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	10 di 51								

A favore di sicurezza, nel modello di calcolo, non si considera la presenza dello strato inferiore (A\_M) di roccia frantumata (flysch) ipotizzando un terreno uniforme lungo tutta l'altezza dei diaframmi.

### 3.2. Tappo di fondo

Si prevede al di sotto del manufatto di eseguire un tappo di fondo con colonne in jet-grouting, al fine di contrastare le sottospinte idrauliche in fase esecutiva.

Nella verifica delle opere effettuata con il programma di calcolo Paratie, il tappo di fondo è modellato modificando i parametri del terreno nella zona corrispondente al tappo di fondo, in modo da simularne le caratteristiche meccaniche migliorate. In particolare si ha:

- aumento della rigidità del terreno;
- aumento della resistenza del materiale;

Nei calcoli seguenti si adottano le seguenti caratteristiche meccaniche per il terreno trattato con jet grouting.

- Modulo elastico 1000MPa
- Coesione terreno 500kPa
- Peso di volume 22kN/m<sup>3</sup>

Ai fini del calcolo della stabilità si considera anche il contributo favorevole dell'attrito tra tappo di fondo e paratia di diaframmi. L'angolo di attrito tra il jet grouting e il calcestruzzo dei diaframmi gettati in opera è assunto pari alla metà dell'angolo di attrito interno del terreno,  $\delta = \varphi/2 = 19^\circ$ , quindi ampiamente a favore di sicurezza.

### 3.3. Caratterizzazione sismica

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
<b>R03</b>	462	21	B



**Figura 3: Localizzazione della MASW effettuata**

In ossequio al citato DGR n.IX/2616 di Regione Lombardia del 30/11/2011, i valori di soglia per il fattore di amplificazione risultano superati, si assume quindi la categoria di suolo più penalizzante (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>0.214</b>

## 4. MATERIALI

### 4.1. Calcestruzzo

- SOLETTE E MURI DI RIFODERA

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

- DIAFRAMMI

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 H2

Copriferro minimo = 60mm

- SOLETTA INFERIORE

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  $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 391$  MPa

Modulo elastico  $E_s = 200$  GPa

#### 4.3. Acciaio per armatura puntelli

Acciaio tipo S355

Resistenza di calcolo  $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 338$  MPa

Modulo elastico  $E_s = 200$  GPa

	<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 DIAFRAMMI A “T”</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200005	REV. A	FOGLIO 14 di 51

## 5. SOFTWARE DI CALCOLO

Lo stato tenso-deformativo delle strutture è stato investigato mediante il software di calcolo PARATIE [Ce.A.S. s.r.l. - Milano].

Tale software è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è schematizzato nel piano, per cui viene analizzata una porzione di struttura di profondità unitaria. La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo “trave su suolo elastico”: le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una molla, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie puntonate viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di puntoni applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di sollecitazioni e deformazioni laterali subite dalla parete e dalla soletta durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO</b> APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO SL02 – NUOVO SOTTOVIA KM 7+741 (tratta Bergamo–Montello)					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200005	REV. A

## 6. ANALISI DEI CARICHI

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

### 6.1. Peso proprio della struttura ( $g_1$ )

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 software di calcolo in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

### 6.2. Carichi permanenti portati ( $g_2$ )

Nella zona compresa tra la strada e la ferrovia, inoltre sono stati considerati dei carichi permanenti di  $50 \text{ kN/m}^2$  a circa 7m di distanza da entrambi i lati dello scavo. Tali carichi rappresentano il peso degli edifici esistenti, che grava sotto forma di spinta costante sui diaframmi.

### 6.3. Spinta delle terre e dell'acqua

L'entità della spinta delle terre sui diaframmi è determinata fase per fase dal software di calcolo, a partire dal coefficiente di spinta a riposo

$$k_0 = 1 - \text{sen } \varphi = 0.384$$

ed in considerazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva dello strato Ug1, determinati di seguito:

$$k_a = \tan(45 - \varphi/2)^2 = 0.237$$

$$k_p = \tan(45 + \varphi/2)^2 = 4.204$$

Per la spinta idrostatica si fa riferimento al peso di volume dell'acqua pari a  $10 \text{ kN/m}^3$ .

#### 6.4. Carichi accidentali ( $q_{acc}$ )

Nella zona in adiacenza allo scavo, sono stati considerati dei carichi accidentali di  $20\text{kN/m}^2$  su una fascia di 5m da entrambi i lati dello scavo. Tali carichi rappresentano il peso dei mezzi d’opera agenti sul terreno ed agiscono quindi anche in fase transitoria.

#### 6.5. Azioni sismiche

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

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

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

		$a_g$	$F_0$	$T^*c$
$T_R$	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.

In base alle accelerazioni massime attese sul sito in esame si valutano, alla luce dei parametri valutati sopra nella condizione di S.L.V., i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche, con le espressioni che seguono.

$$k_h = a_g / g \cdot S_s \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

Nella precedente espressione, i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  assumono i valori desunti dalle Figg. 7.11.2 e 7.11.3 delle NTC.

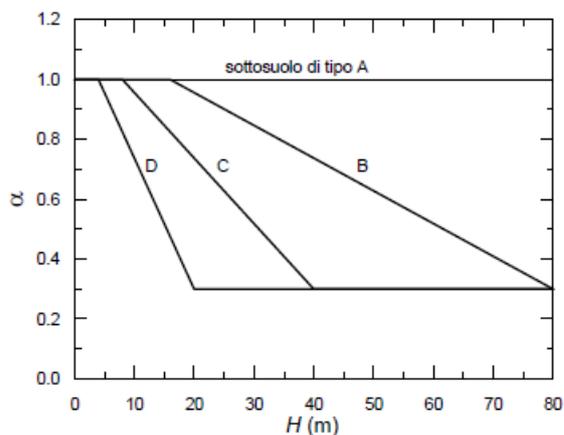


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

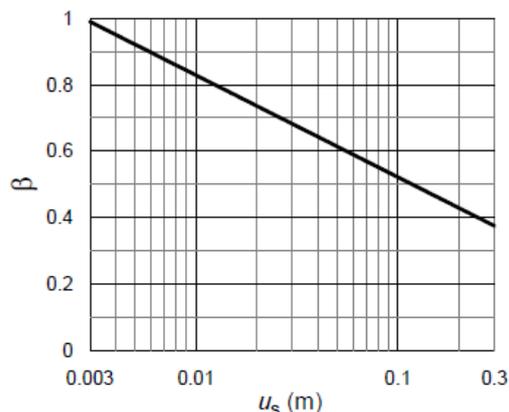


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

L'incremento di spinta è calcolato tramite la procedura automatica del software.

## 7. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots$$

Combinazione sismica:  $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} \dots$

Per le verifiche SLU si adottano i valori dei coefficienti parziali riportati nella seguente tabella.

**Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	20 di 51

Nella tabella seguente si riportano i coefficienti utilizzati per le azioni nelle combinazioni generate automaticamente dal software di calcolo.

Attivo	Std	Collezione	Nome	Stato Limite	Descrizione	Carichi																									
						Carichi Permanenti Stavorevoli (F_dead_load_unfavour)		Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)		Carichi Variabili Stavorevoli (F_live_load_unfavour)		Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)		Carico Sismico (F_seism_Load)		Pressioni Acqua Lato Monte (F_WaterDR)		Pressioni Acqua Lato Valle (F_WaterRe)		Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UP_GDSlab)		Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UP_GSStab)		Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UP_QDSlab)		Carichi Variabili Stabilizzanti (F_HYO_GDSlab)		Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYO_QDSlab)		Deformazione elastica (F_inelastic_strain)	
						A	YG	A	YG	A	YQ	A	YQ	A	YQE	A	YG	A	YG	A	YGdst	A	YGstb	A	YQdst	A	YGdst	A	YGstb	A	YQdst
<input checked="" type="checkbox"/>			Nominal	UNDEFINED		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SLE (Rara/Freque	SERVICE		1		1		1		0		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A1+M1+R1 (R3 p	ULTIMATE		1.5		1		1.5		0		1.5		1		1		1		1.5		0.9		1		1		1	
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A2+M2+R1	ULTIMATE		1		1		1.3		0		1		1		1		1		1.3		0.9		1		1		1	
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SISMICA STR	ULTIMATE		1		1		1		0		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SISMICA GEO	ULTIMATE		1		1		1		0		1		1		1		1		1.3		0.9		1		1		1	

	<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 DIAFRAMMI A “T”</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 08	CODIFICA D 26	DOCUMENTO CLSL0200005	REV. A	FOGLIO 21 di 51

## 8. MODELLO DI CALCOLO

Come già descritto in precedenza, il software utilizzato, consente di modellare lo scavo e le opere di sostegno e puntellazione durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale, in modo da valutarne l’evoluzione dello stato deformativo e sollecitativo.

Si sono considerate due varianti del modello:

### **Modello A: Zona vasca di raccolta.**

Altezza massima dello scavo: 12.5m

Carichi permanenti sul terreno: nessuno

Vincoli in sommità: Puntelli provvisori HEB600/4m

### **Modello B: Zona camera di arrivo rostro.**

Altezza massima dello scavo: 10m

Carichi permanenti sul terreno: 50kN/m<sup>2</sup>

Vincoli in sommità: molle elastiche

In questo caso le molle elastiche simulano i cordoli sommitali incastrati alla soletta superiore del tratto di galleria realizzato con metodo “top-down”.

In entrambi i modelli, a favore di sicurezza, non si considera l’inerzia di una sezione a T, bensì un’inerzia equivalente alla somma delle due inerzie dei rettangoli che la compongono. Si ha quindi:

$$J_{eq} = (B \cdot t^3 / 12 + t \cdot B^3 / 12) / B = 0.769 \text{m}^4/\text{m}$$

Essendo:

$$t = 1.2\text{m} \text{ e } B = 2.5\text{m}$$

Il diaframma è quindi modellato attraverso un elemento di spessore fittizio:

$$t_{eq} = (12 \cdot J)^{1/3} = 2.0975\text{m}$$

 <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 DIAFRAMMI A “T”</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NB1R</td> <td>08</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0200005</td> <td>A</td> <td>22 di 51</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	22 di 51
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	22 di 51								

Di seguito si riportano le fasi di calcolo modellate:

**FASE 0:** si realizza l’opera di sostegno costituita da due diaframmi modellati come descritto sopra. La quota di testa è impostata all’altezza del piano campagna. L’altezza totale delle paratie (distanza tra estradosso cordolo di sommità ed estremità inferiore dei pali) è pari a 23.0m. A tergo dell’opera di sostegno si ipotizza un sovraccarico accidentale caratteristico pari a  $20\text{kN/m}^2$  ed un carico permanente di  $50\text{kN/m}^2$  (solo modello B), come descritto in precedenza.

**FASE 1:** si realizza il tappo di fondo in jet-grouting tra le quote -14m e -22m da piano campagna (modello A) e -15m e -20m (modello B) . Dal punto di vista della modellazione il tappo di fondo è ottenuto modificando le caratteristiche del terreno tra le paratie, conferendo in aggiunta al  $\phi$  del terreno esistente:  $c'=500\text{kPa}$  e modulo elastico  $E'=1\text{GPa}$ .

**FASE 2:** Il livello della falda tra i diaframmi è abbassato al di sotto del tappo di fondo.

**FASE 3:** si effettua uno scavo di 2m, necessario al posizionamento dei puntelli.

**FASE 4:** si effettua, per step successivi, lo scavo al di sotto della soletta fino a scendere alla quota di intradosso della vasca di raccolta a 12.5m dal piano campagna (modello A) o della soletta inferiore, a 10.5m dal piano campagna (modello B).

**FASE 4a:** viene realizzato il solettone inferiore di spessore 1.2m. Questo elemento, nel modello globale, è considerato un puntone, quindi non si considera incastrato alla paratia di diaframmi, ma solamente in accosto ad essa.

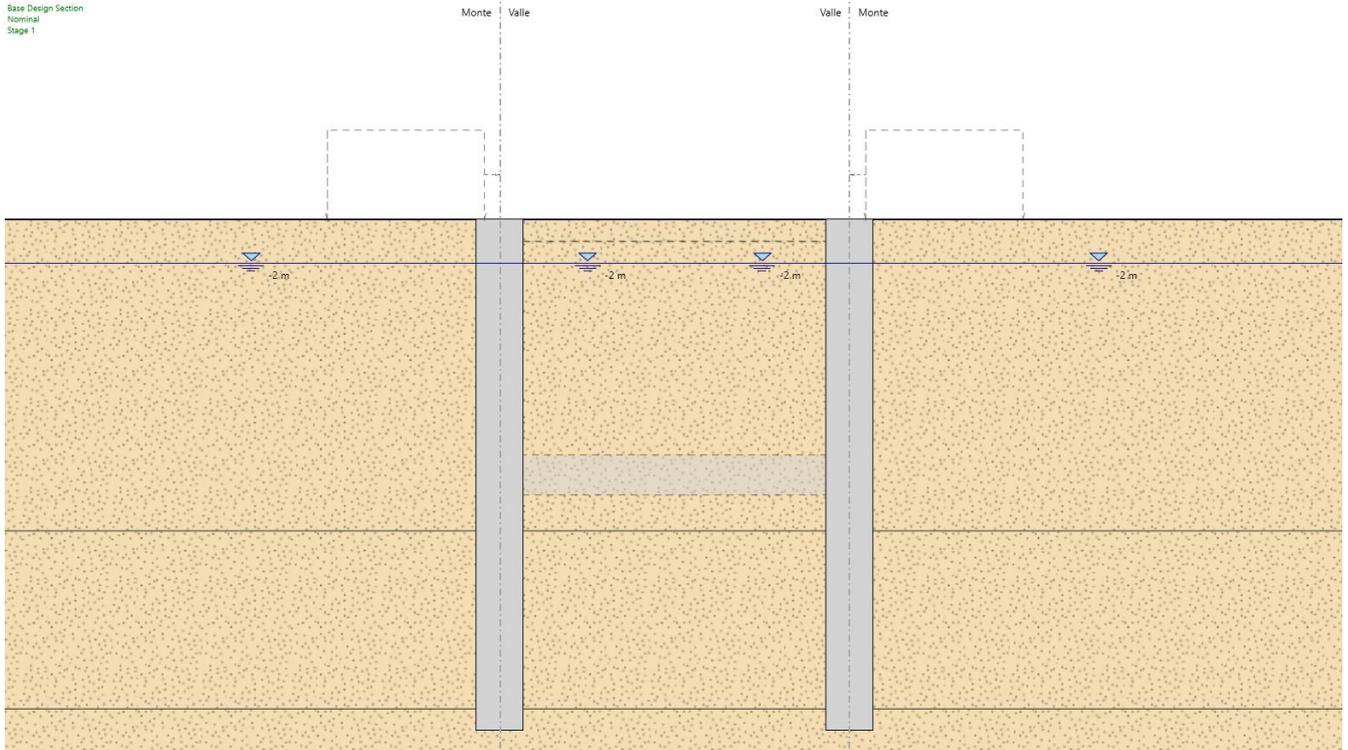
**FASE 5:** Rimozione della puntellazione superiore.

Le fasi successive sono implementate solo nel il modello A, in quanto per il modello B, le fasi successive non modificano lo stato sollecitativo o deformativo dei diaframmi. Si prevede infatti il completamento dello scatolare ed il suo rinterro.

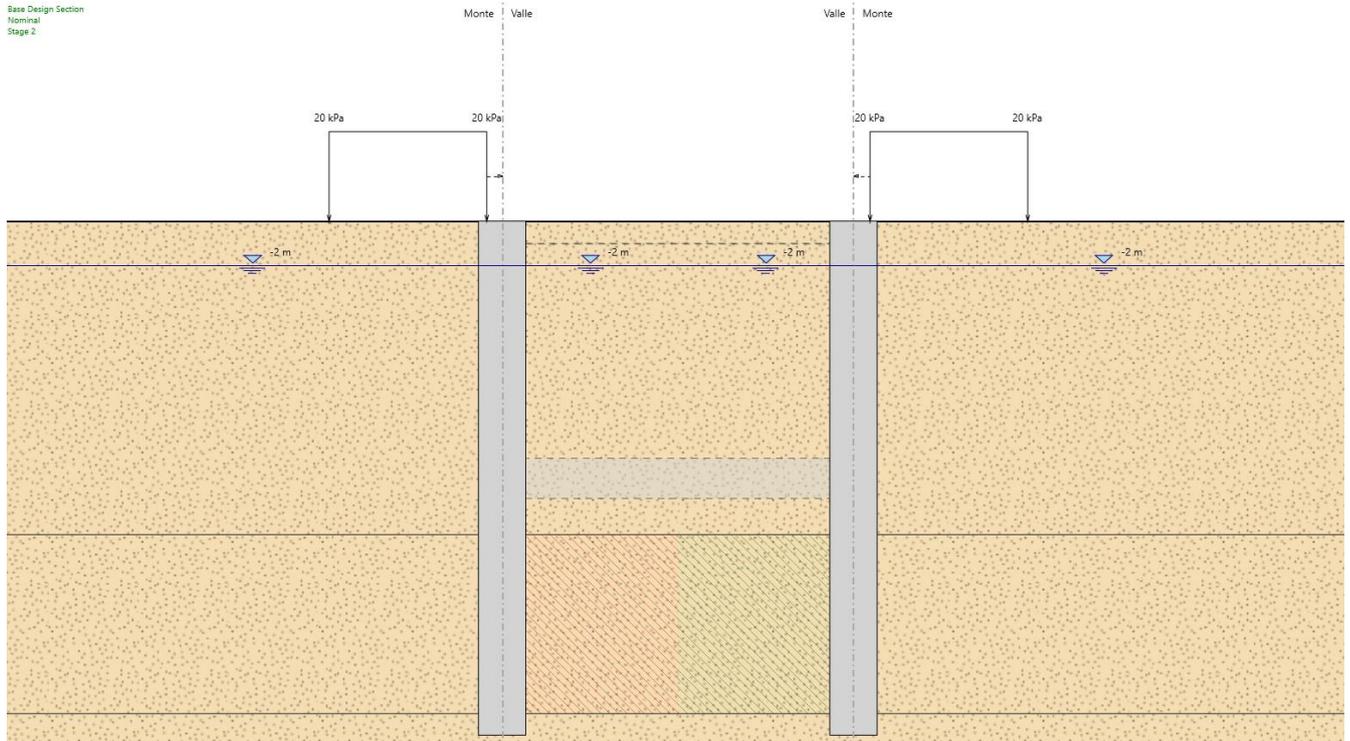
**FASE 6:** essendo il tappo di fondo un elemento provvisorio, si considera che il livello della falda arrivi, a lungo termine, al di sotto del solettone di fondo.

**FASE 7:** si applicano le azioni dovute all’azione del sisma SLV. Il sisma è stato applicato tramite la procedura automatica del software Paratie Plus.

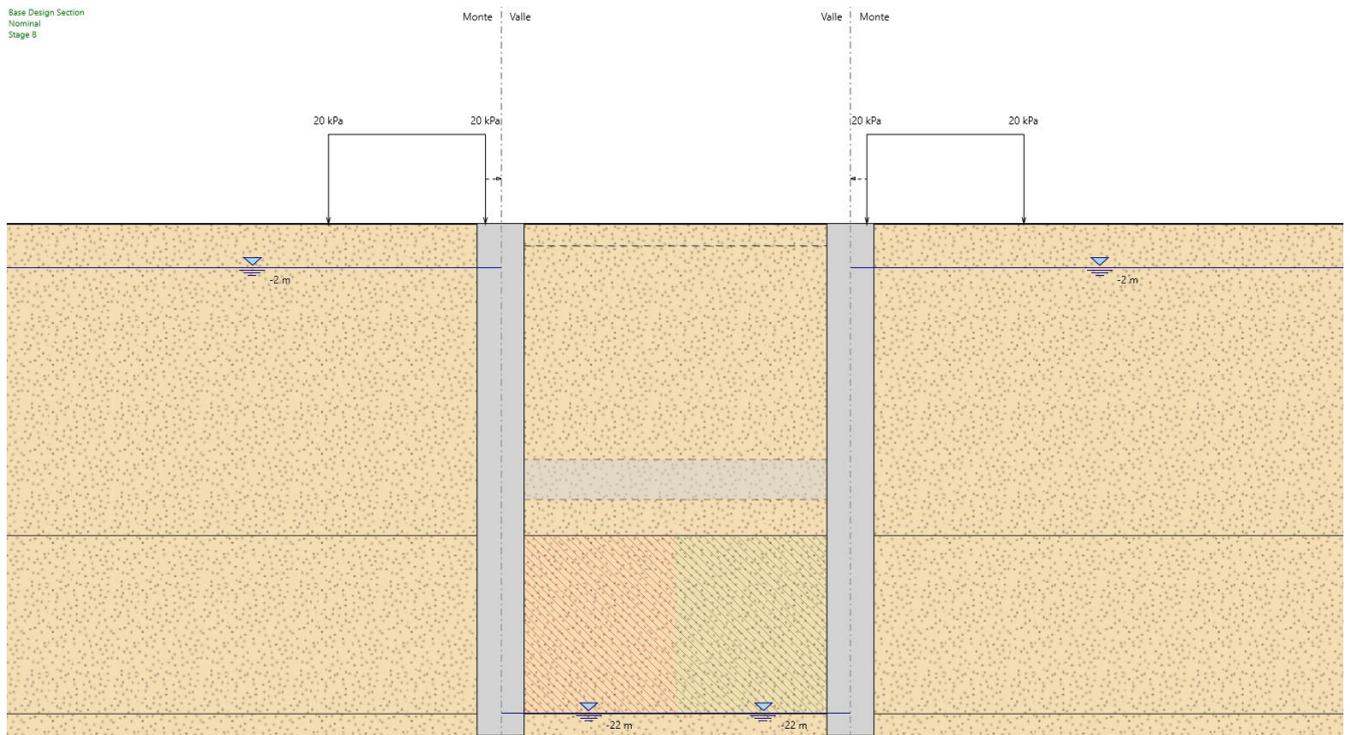
Di seguito si riportano le fasi definite durante il calcolo.



**Figura 4: Fasi realizzative: Fase 0**



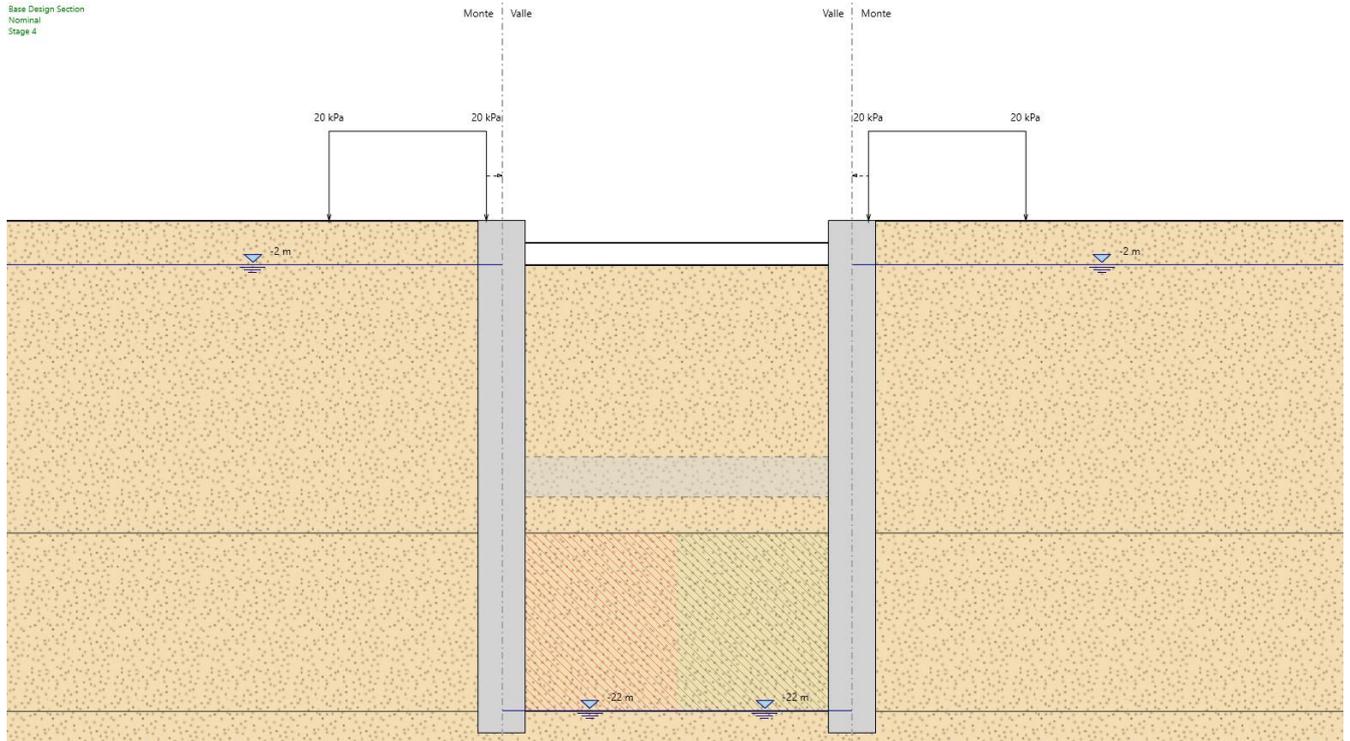
**Figura 5: Fasi realizzative: Fase 1**



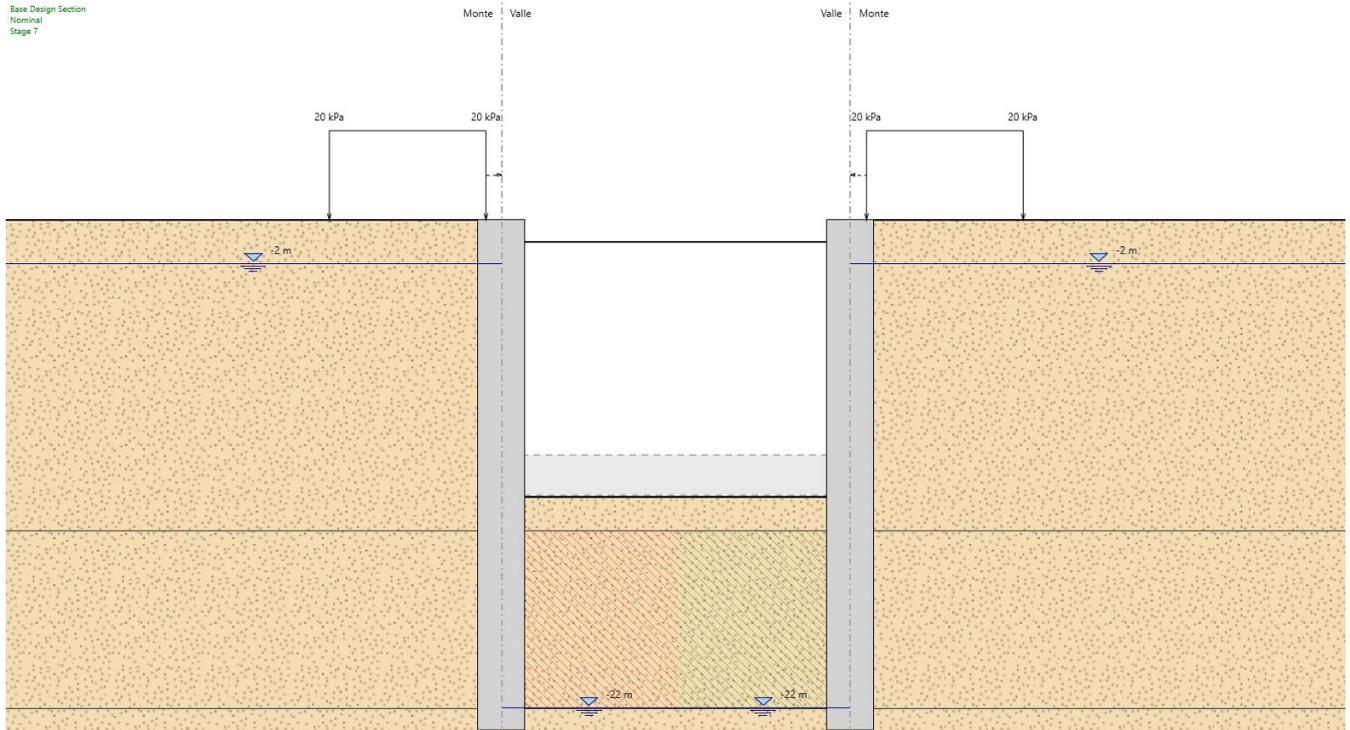
**Figura 6: Fasi realizzative: Fase 2**

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

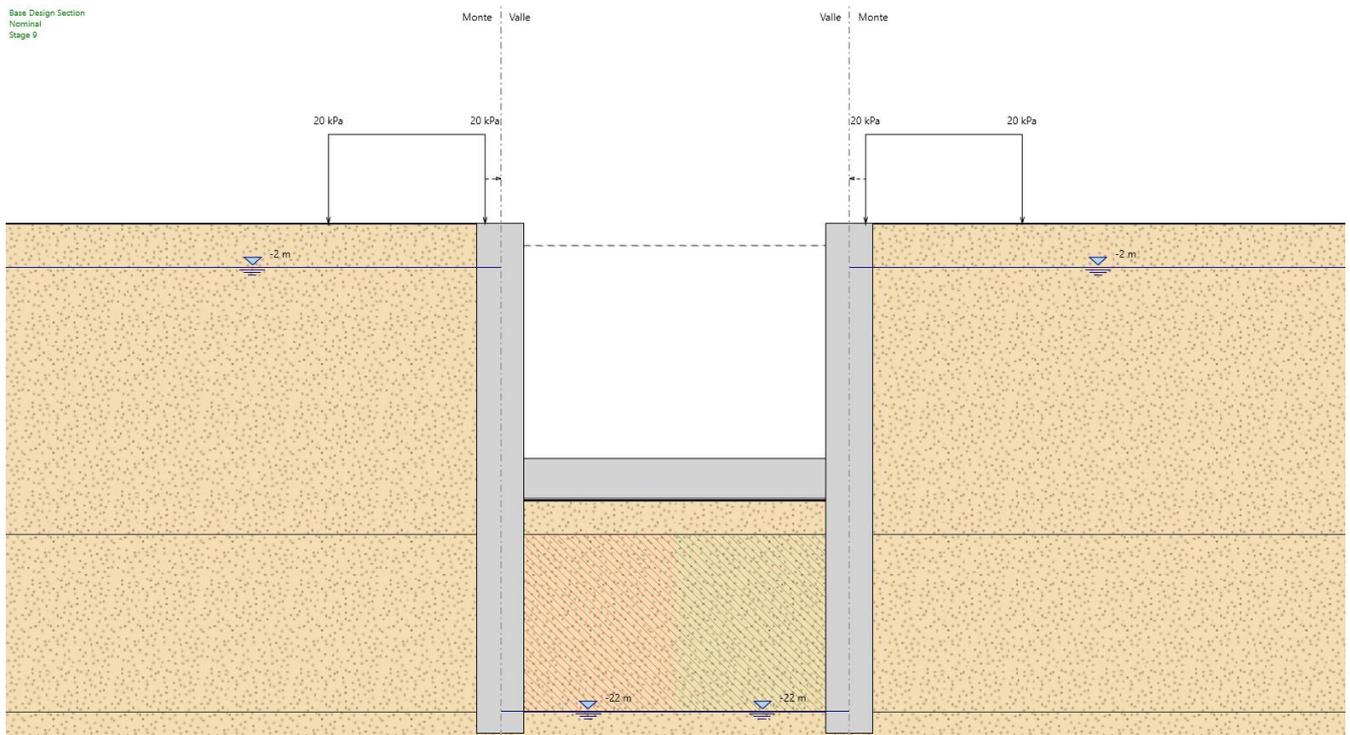
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	25 di 51



**Figura 7: Fasi realizzative: Fase 3**



**Figura 8: Fasi realizzative: Fase 4**



**Figura 9: Fasi realizzative: Fase 5**

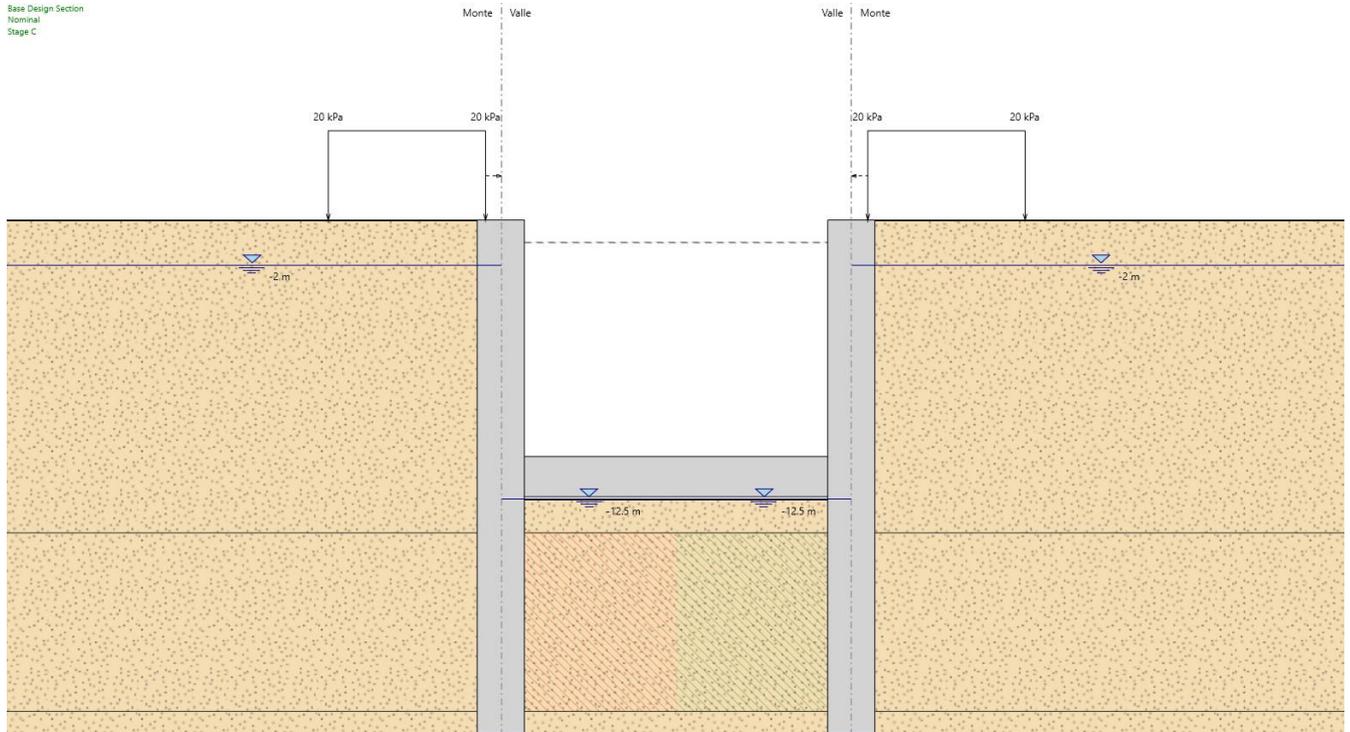


Figura 10: Fasi realizzative: Fase 6

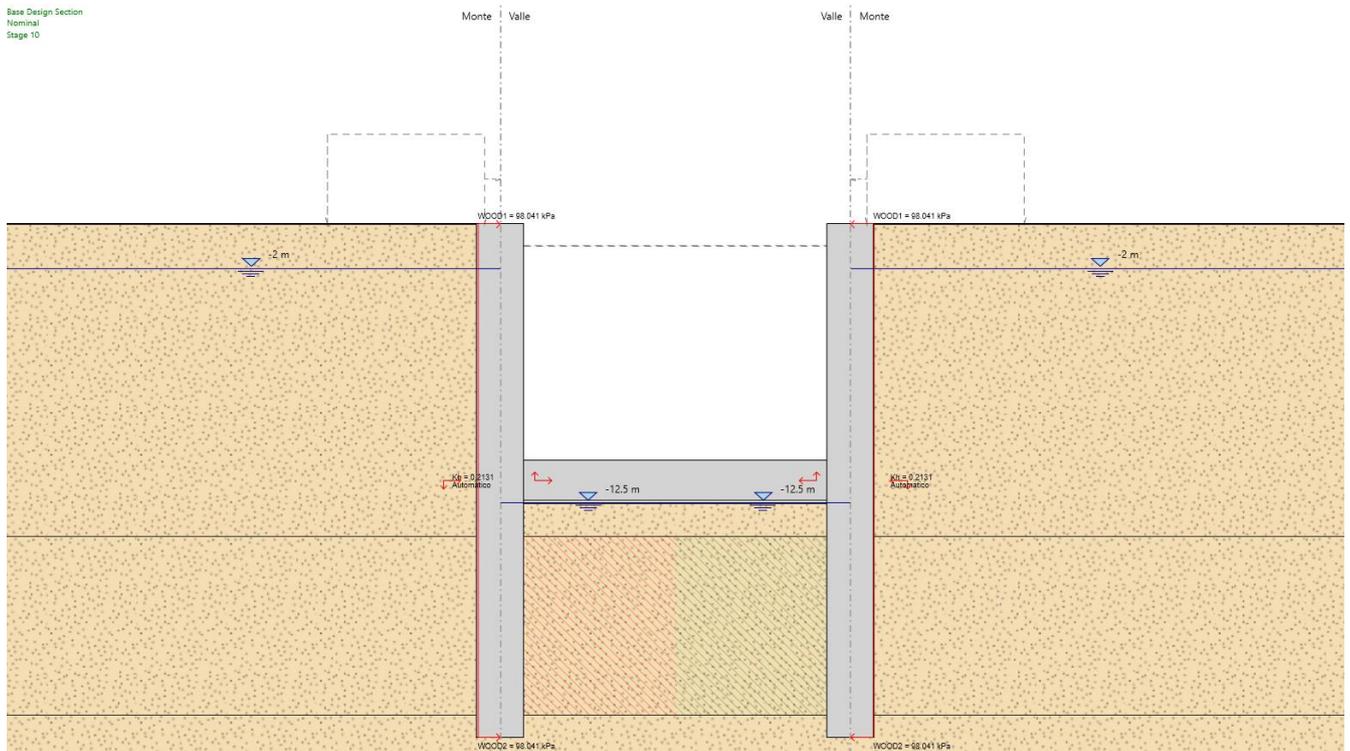


Figura 11: Fasi realizzative: Fase 7

## 9. SINTESI RISULTATI

### 9.1. Modello A – Zona vasca di raccolta

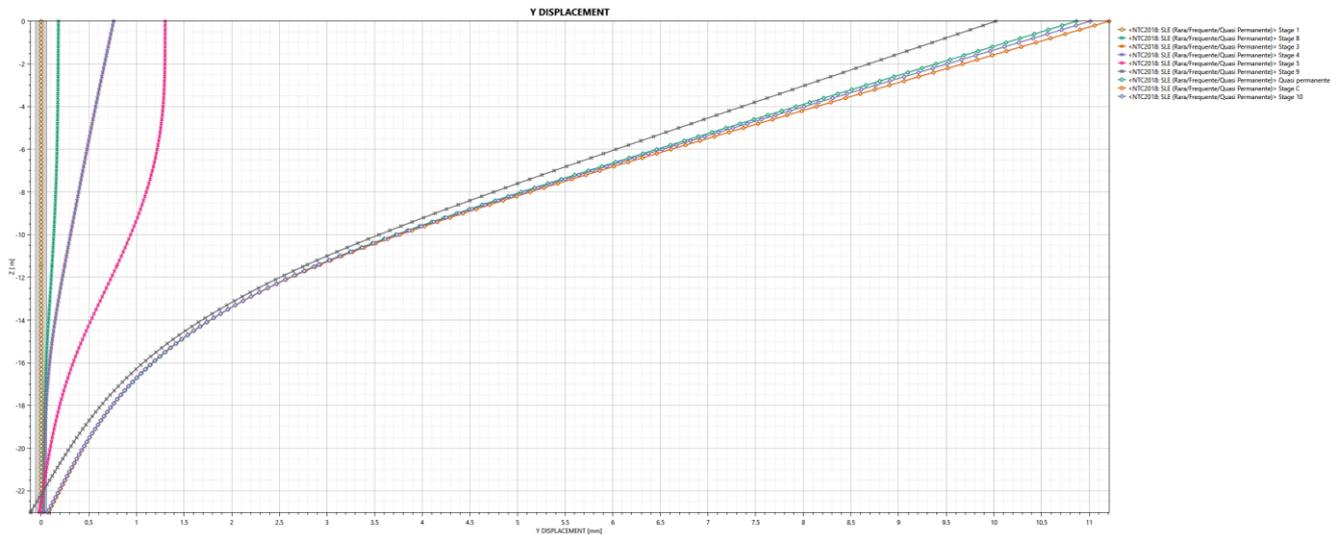


Figura 12: Spostamenti nominali della paratia nelle principali fasi

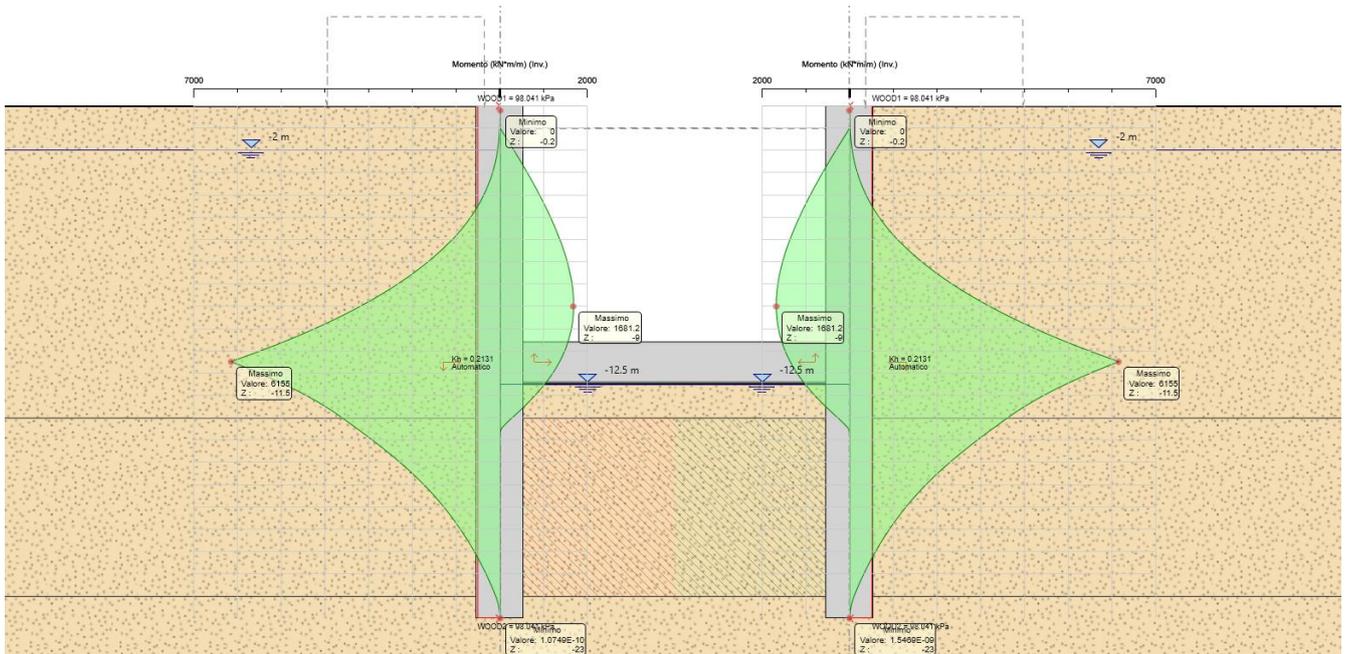


Figura 13: Involuppo dei momenti agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

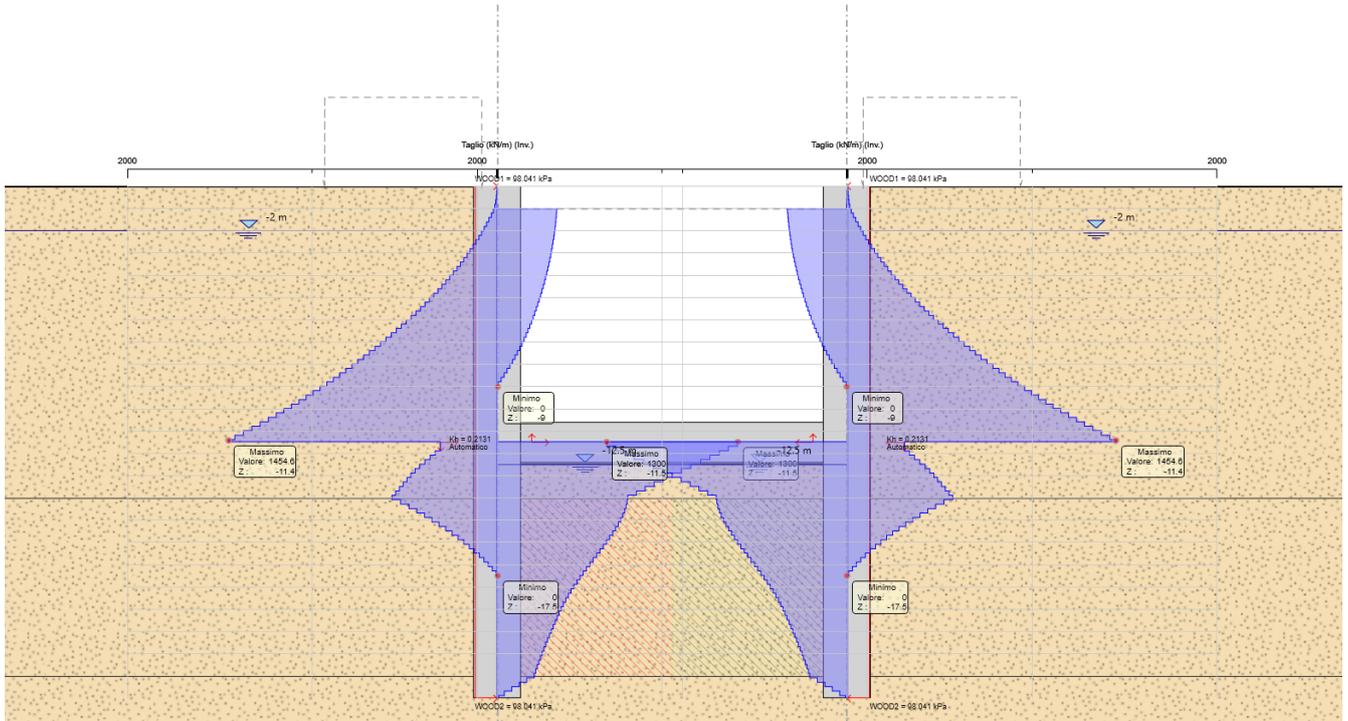


Figura 14: Involuppo del taglio agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

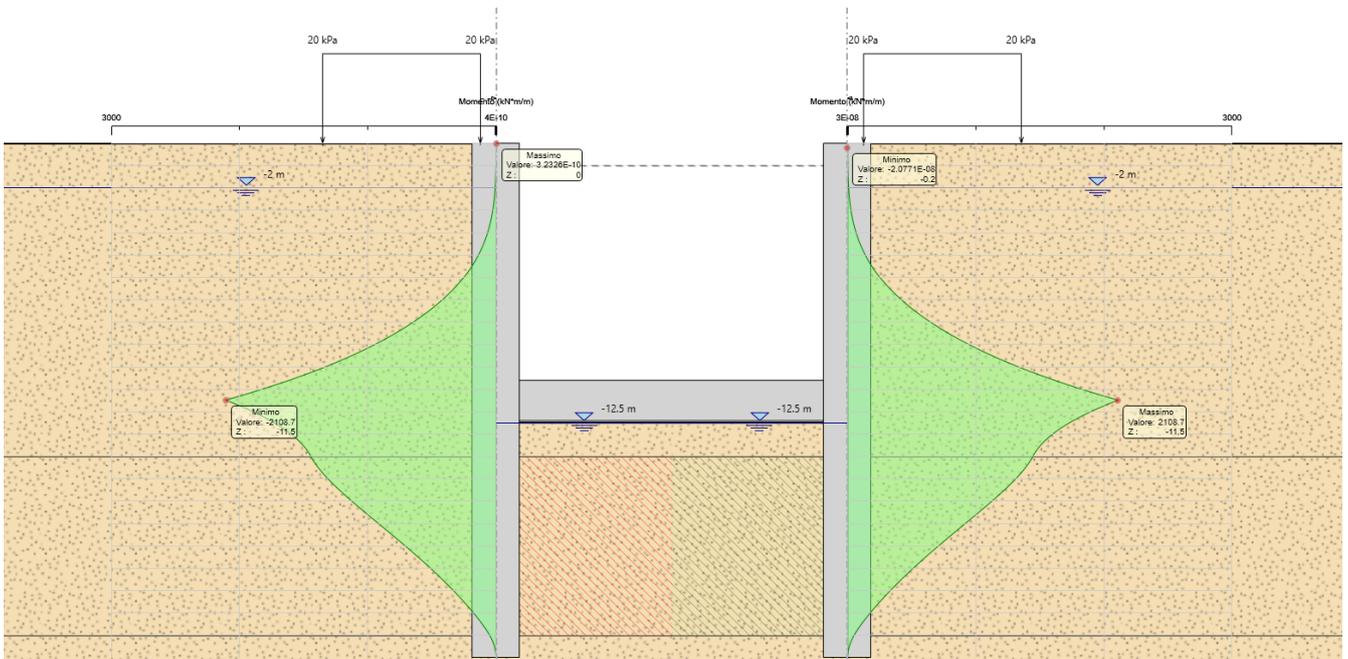


Figura 15: Diagramma dei momenti agli SLE r (in fase di esercizio)

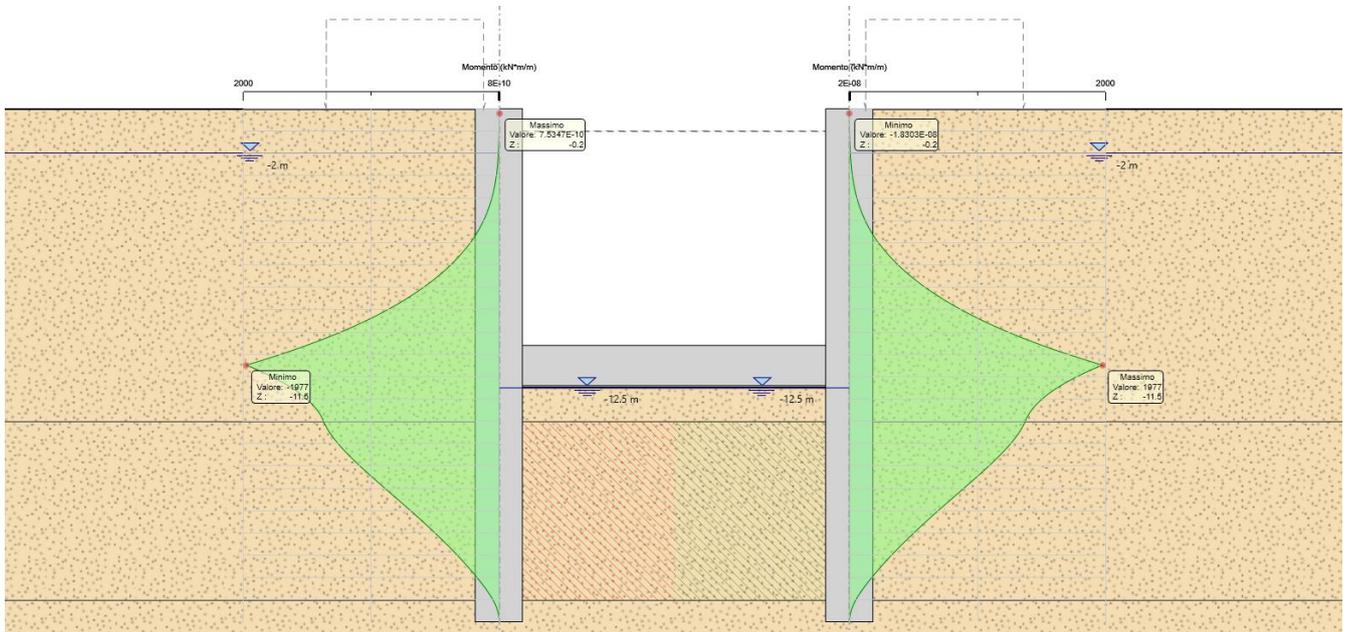


Figura 16: Diagramma dei momenti agli SLE qp (in fase di esercizio)

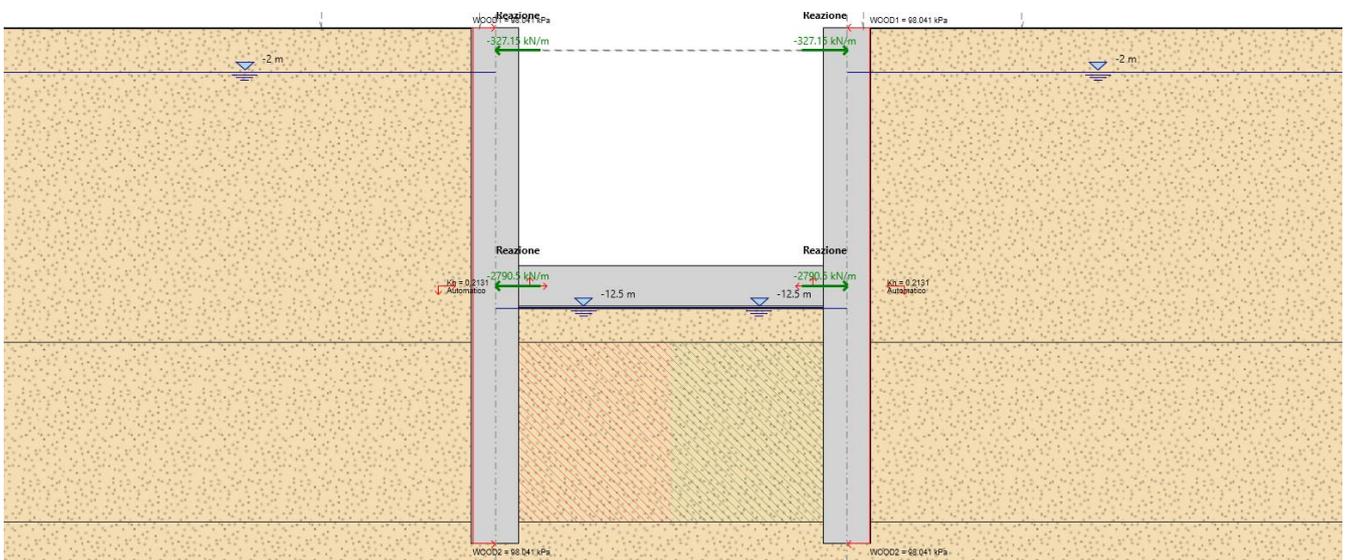


Figura 17: Involuppo delle reazioni vincolari allo SLU/SLV (tutte le fasi)



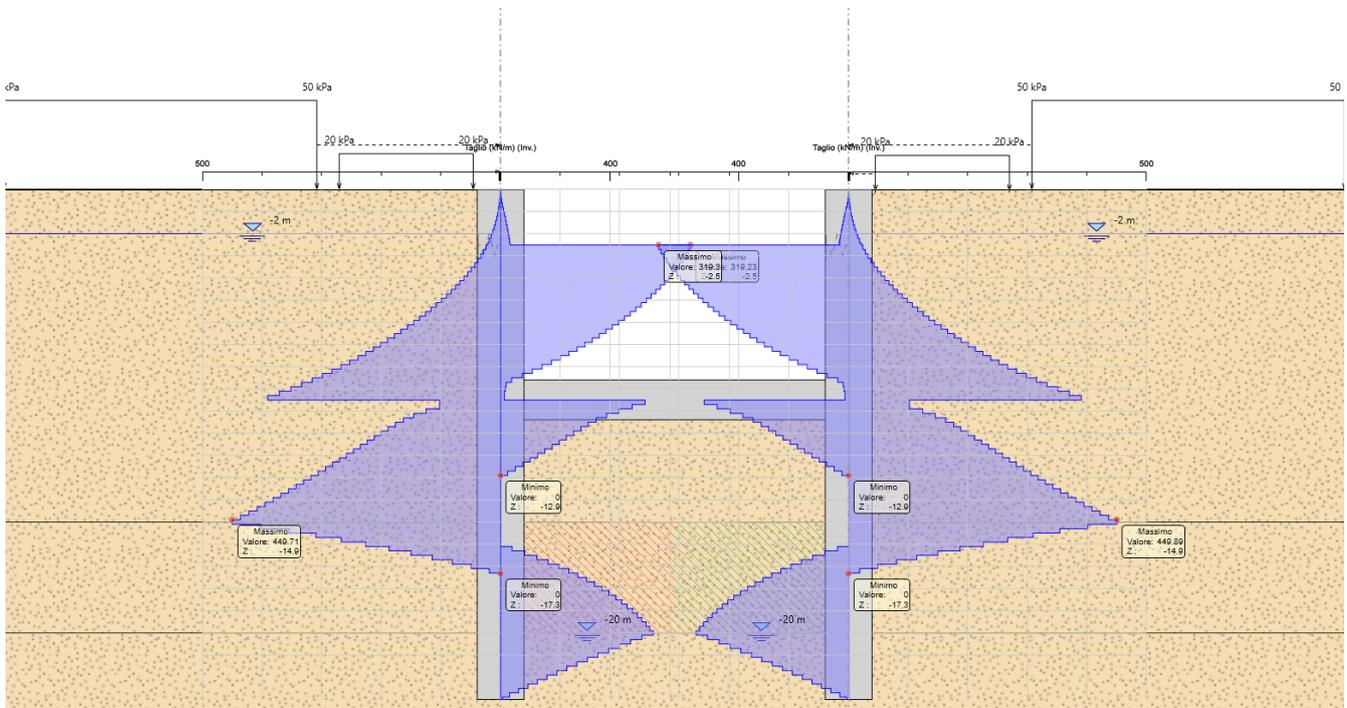


Figura 20: Involuppo del taglio agli SLU/SLV (per tutti gli stage)

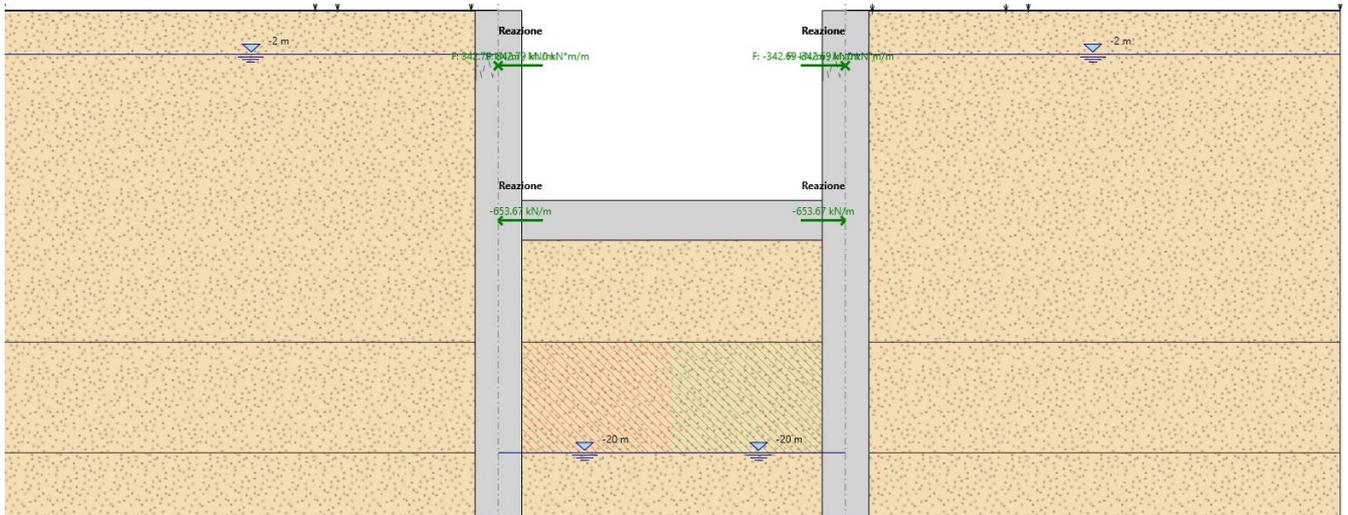


Figura 21: Involuppo delle reazioni vincolari allo SLU/SLV (tutte le fasi)

## 10. VERIFICHE

Il momento flettente viene ripartito tra anima e flangia dei diaframmi proporzionalmente al momento d'inerzia. Inoltre i diagrammi riportati in precedenza, vanno visti per metro lineare di struttura. Ne consegue che:

$$M_{anima} = 2.5 \cdot M_{tot} \cdot J_{anima} / J_{eq} = 2.5 \cdot M_{tot} \cdot 0.625 / 0.769 = 2.025 \cdot M_{tot}$$

$$M_{flangia} = 2.5 \cdot M_{tot} \cdot J_{flangia} / J_{eq} = 2.5 \cdot M_{tot} \cdot 0.144 / 0.769 = 0.475 \cdot M_{tot}$$

Per quanto riguarda il taglio, invece, si prevede che entrambe le sezioni resistano al taglio massimo.

Le sollecitazioni globalmente più gravose risultano dal il modello A.

### 10.1. Verifiche diaframmi d'anima

#### DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.

**NOME SEZIONE:** Diaframma a T - Anima\_250

(Percorso File: N:\0549D12\_Radd Ponte S. Pietro Bergamo ITF\05 Lavoro\GST\SL02\06.OOPPI\Rc-sec\Diaframma a T - Anima\_250.sez)

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160 MPa
	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
	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
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300 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

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	34 di 51

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

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	250.0
3	60.0	250.0
4	60.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-51.0	9.0	26
2	-51.0	241.0	26
3	51.0	241.0	26
4	51.0	9.0	26
5	-51.0	13.2	26
6	51.0	13.2	26
7	-51.0	17.4	26
8	51.0	17.4	26

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	4	26
3	1	2	9	20
4	3	4	9	20
5	5	6	8	26
6	7	8	8	26

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 20.0 cm

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

N°Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra
1	1	2	3	4
2	10	17	20	15

**Coordinate Barre generate di risvolto delle staffe:**

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	35 di 51

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
10	-28.3	9.0
17	-30.6	241.0
20	30.6	241.0
15	28.3	9.0

**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	12464.00	0.00	3635.00	0.00
2	0.00	-3404.00	0.00	3635.00	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	4270.00	0.00

**COMB. FREQUENTI (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	4270.00 (4189.39)	0.00 (0.00)

**COMB. QUASI PERMANENTI (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	4003.00 (4189.39)	0.00 (0.00)

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	36 di 51

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	1.6 cm
Copriferro netto minimo staffe:	6.5 cm

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

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 [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	12464.00	0.00	0.00	13779.38	0.00	1.11	190.7(42.8)
2	S	0.00	-3404.00	0.00	0.00	-4269.58	0.00	1.25	69.6(42.8)

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

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	0.00103	0.346	-60.0	250.0	0.00092	-51.0	241.0	-0.00196	-51.0	9.0
2	0.00040	0.170	-60.0	0.0	0.00031	-51.0	9.0	-0.00196	-51.0	241.0

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

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000012411	-0.002068199	0.346	0.872
2	0.000000000	-0.000009785	0.000401728	0.170	0.700

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	37 di 51

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezi. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(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	3635.00	6354.42	4799.45	241.0	120.0	2.500	1.000	17.1	22.6(0.0)
2	S	3635.00	6354.42	4799.45	241.0	120.0	2.500	1.000	17.1	22.6(0.0)

**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	3.93	60.0	250.0	-119.6	5.7	9.0	4377	165.6

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.93	60.0	250.0	-119.6	5.7	9.0	4377	165.6

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

Ver.	La sezione viene assunta come fessurata solo se la trazione nel calcestruzzo supera fctm in almeno una combinazione
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
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	38 di 51

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00063	0	0.500	25.7	77	0.00036 (0.00036)	377	0.135 (0.40)	4189.39	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	3.69	60.0	250.0	-112.1	-5.7	9.0	4377	165.6

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00059	0	0.500	25.7	77	0.00039 (0.00034)	377	0.148 (0.30)	4189.39	0.00

## 10.2. Verifiche diaframmi di piattabanda

**DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.**

**NOME SEZIONE:** Diaframma a T - Flangia\_250

(Percorso File: N:\0549D12\_Radd Ponte S. Pietro Bergamo ITF\05 Lavoro\GST\SL02\06.OOPP\Rc-sec\Diaframma a T - Flangia\_250.sez)

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	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	
	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
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	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

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	39 di 51

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

**CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO**

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-125.0	0.0
2	-125.0	120.0
3	125.0	120.0
4	125.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-116.4	8.6	20
2	-116.4	111.4	20
3	116.4	111.4	20
4	116.4	8.6	20

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

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

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	22	20
2	2	3	11	20
3	1	2	3	20
4	3	4	3	20

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe e legature: 20.0 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale  
N° Legature: 10  
Diam. Legature: 12

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

N°Legat.	Barra 1	Barra 2
1	6	27
2	8	28
3	12	30
4	10	29
5	14	31

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	40 di 51

6	16	32
7	19	34
8	21	35
9	23	36
10	25	37

**Coordinate Barre generate di estremità delle legature:**

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
6	-96.2	8.6
27	-97.0	111.4
8	-75.9	8.6
28	-77.6	111.4
12	-35.4	8.6
30	-38.8	111.4
10	-55.7	8.6
29	-58.2	111.4
14	-15.2	8.6
31	-19.4	111.4
16	5.1	8.6
32	0.0	111.4
19	35.4	8.6
34	38.8	111.4
21	55.7	8.6
35	58.2	111.4
23	75.9	8.6
36	77.6	111.4
25	96.2	8.6
37	97.0	111.4

**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	2924.00	0.00	3635.00	0.00
2	0.00	-799.00	0.00	3635.00	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	1001.00	0.00

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

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	41 di 51

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	1001.00 (1761.33)	0.00 (0.00)

**COMB. QUASI PERMANENTI (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	939.00 (1761.33)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.1 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 6.4 cm

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

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	2924.00	0.00	0.00	3190.04	0.00	1.09	88.0(41.2)
2	S	0.00	-799.00	0.00	0.00	-1866.24	0.00	2.34	53.4(41.2)

**METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE**

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.)

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	42 di 51

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	0.00065	0.250	-125.0	120.0	0.00045	-116.4	111.4	-0.00196	-116.4	8.6
2	0.00045	0.186	-125.0	0.0	0.00026	-116.4	8.6	-0.00196	116.4	111.4

**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	0.000023418	-0.002157895	0.250	0.753
2	0.000000000	-0.000021583	0.000447851	0.186	0.700

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe: 12 mm  
Diam. Legature: 12 mm  
Passo staffe e legature: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(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	3635.00	6119.32	6655.51	111.4	250.0	2.500	1.000	37.1	67.9(56.5)
2	S	3635.00	6119.32	6655.51	111.4	250.0	2.500	1.000	37.1	67.9(56.5)

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

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.50	-125.0	120.0	-18.7	-116.4	8.6	---	---

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A “T”**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	43 di 51

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.50	-125.0	120.0	-18.7	-116.4	8.6	---	---

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

Ver.	La sezione viene assunta come fessurata solo se la trazione nel calcestruzzo supera $f_{ctm}$ in almeno una combinazione
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
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$ [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 \cdot S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr\ max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	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	-0.00072	0	---	---	---	---	---	0.000 (0.40)	1761.33	0.00

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.40	-125.0	120.0	-17.5	-86.0	8.6	---	---

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00067	0	---	---	---	---	---	0.000 (0.30)	1761.33	0.00

### 10.3. Verifiche di resistenza e stabilità dei puntelli

Nel modello A è prevista una puntellazione provvisoria costituita da una trave HEA 600 ogni 3m.

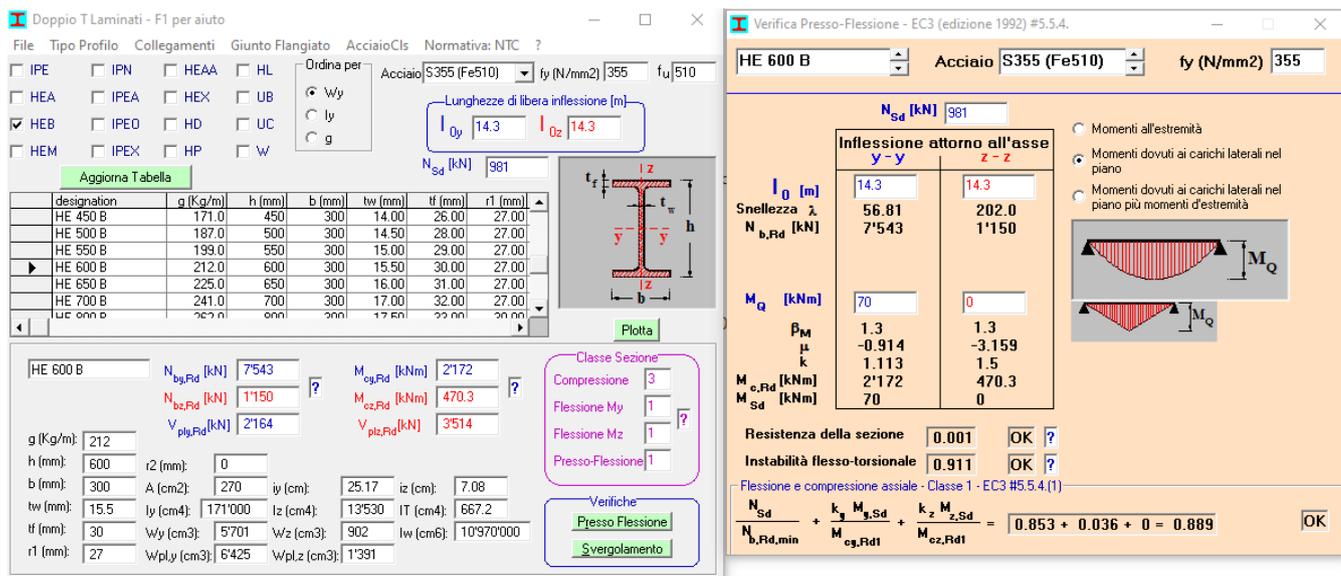
La massima compressione su un puntello, ricavata dalle reazioni riportate al §8, è pari a:

$$N_{Ed} = 327 \cdot 3 = 981 \text{ kN}$$

Mentre il momento agente sull'asta è quello dovuto unicamente al peso proprio del profilo, pari a 2.1kN/m:

$$M_{Ed} = 1.3 \cdot 2.1 \cdot 14.3^2 / 8 = 70 \text{ kNm}$$

Essendo 14.3m la distanza massima tra i diaframmi. La verifica a pressoflessione è condotta tramite il software Profili\_V6.



**Verifica Presso-Flessione - EC3 (edizione 1992) #5.5.4.**

HE 600 B    Acciaio S355 (Fe510)    fy (N/mm2) 355

$N_{Sd}$  [kN] 381

Inflessione attorno all'asse	
y - y	z - z
$I_0$ [m] 14.3	14.3
Snellezza $\lambda$ 56.81	202.0
$N_{b,Rd}$ [kN] 7543	1150
$M_Q$ [kNm] 70	0
$\beta_M$ 1.3	1.3
$\mu$ -0.914	-3.159
$k$ 1.113	1.5
$M_{c,Rd}$ [kNm] 2172	470.3
$M_{Sd}$ [kNm] 70	0

Resistenza della sezione 0.001 OK ?

Instabilità flessio-torsionale 0.911 OK ?

Flessione e compressione assiale - Classe 1 - EC3 H5.5.4.(1)

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rd,min}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{M_{ey,Rd1}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = 0.853 + 0.036 + 0 = 0.889 \quad \text{OK}$$

#### 10.4. Verifica della trave di coronamento - Modello A

Dove è prevista la puntellazione provvisoria delle paratie, la trave di coronamento dei puntelli funge anche da trave di ripartizione. Lo schema adottato nel calcolo delle sollecitazioni è quello di trave continua con passo appoggi costante pari a 3m. A favore di sicurezza il momento flettente è calcolato sulla campata terminale.

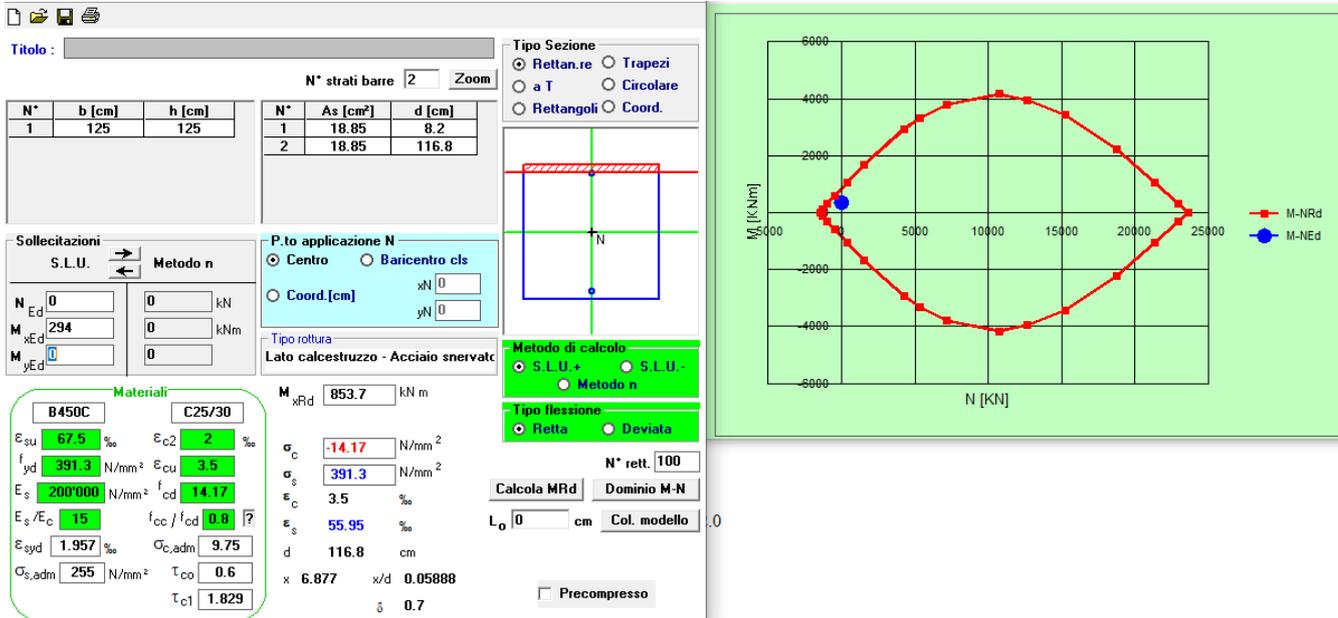
$$q = 327 \text{ kN/m}$$

$$M = q \cdot L^2 / 10 = 294 \text{ kNm}$$

$$V = q \cdot L / 2 = 491 \text{ kN}$$

Trattandosi di uno schema di calcolo valido solamente in fase transitoria, la verifica è condotta unicamente allo SLU. Si riporta l'output del software VCA SLU per la verifica a flessione.

Si dispongono 6 $\phi$ 20 longitudinali internamente ed esternamente.



La verifica a taglio è svolta con un apposito foglio di calcolo. Si dispongono 4 bracci  $\phi 12/20$ cm.

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	46 di 51

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1250$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 1250$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 82$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 6$	$\emptyset 20$	$= 18.85 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 1168$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$18.85 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 491.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.414 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.294$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.001 < 0.02$$

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

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

$$V_{Rd} = 366.1 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 429.5 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 429.5 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

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

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

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 12 \text{ mm con } n^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 4 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.226 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 930.5 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 4654.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 930.5 > 491.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.9$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

### 10.5. Verifica della trave di coronamento - Modello B

Nella zona di arrivo del rostro la puntellazione è sostituita da un cordolo di collegamento alla soletta superiore del tratto di galleria realizzato con metodo “top-down”. Il carico al metro lineare è ricavato dal §8.2. Lo schema di calcolo adottato è quello di mensola incastrata ad una estremità.

$$q = 343 \text{ kN/m}$$

$$M = q \cdot L^2 / 2 = 17150 \text{ kNm}$$

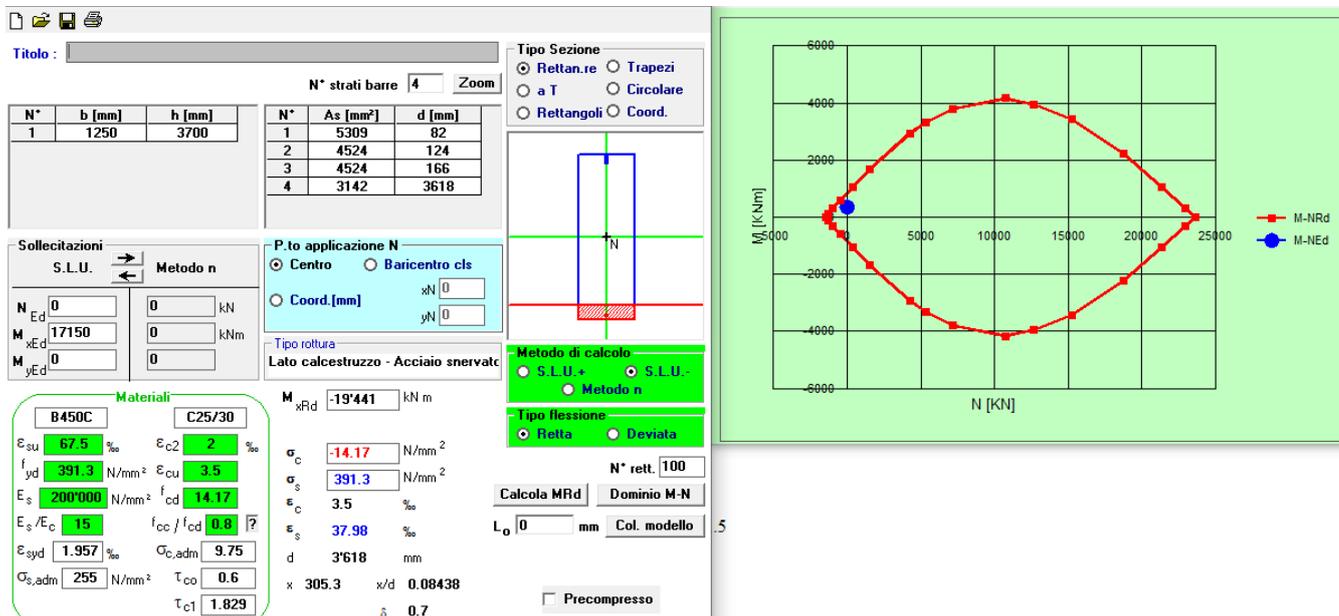
$$V = q \cdot L = 3430 \text{ kN}$$

Trattandosi di uno schema di calcolo valido solamente in fase transitoria, la verifica è condotta unicamente allo SLU, per la sezione con altezza minore. Si riporta l’output del software VCA SLU per la verifica a flessione.

Dal lato dell’armatura tesa, quindi lato terreno, si dispongono tre strati di armatura:

Armatura lato terreno 10 $\phi$ 26 (1° strato) + 10 $\phi$ 24 (2° strato) + 10 $\phi$ 24 (3° strato)

Armatura lato interno 10 $\phi$ 20



La verifica a taglio è svolta con un apposito foglio di calcolo. Si dispongono 4 bracci  $\phi$ 16/20cm.

**RELAZIONE DI CALCOLO DIAFRAMMI A "T"**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	08	D 26	CLSL0200005	A	48 di 51

• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1250$	mm larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 3700$	mm altezza	$\gamma_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 82$	mm copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 25$	MPa resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$\gamma_c = 1.50$	coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 6$	$\emptyset 20$	$= 18.85 \text{ cm}^2$
$\alpha_{cc} = 0.85$	coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$d = 3618$	mm altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	$\emptyset 0$	$= 0.00 \text{ cm}^2$
$f_{cd} = 14.17$	MPa resist. di calcolo			$18.85 \text{ cm}^2$

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

$$N_{ed} = 0.0 \text{ kN} \quad V_{ed} = 3430.0 \text{ kN}$$

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

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2 \quad k = 1.235 < 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} \quad v_{min} = 0.240$$

$$\rho_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02 \quad \rho_1 = 0.000 < 0.02$$

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

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

$$V_{Rd} = 679.6 \text{ kN}; \quad (\text{con } (v_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 1086.4 \text{ kN})$$

$$V_{Rd} = 1086.4 \text{ kN} \quad \text{assunto pari alla resistenza minima}$$

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

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

$$\theta = 45.0^\circ \quad \text{inclinaz. bielle cls} \quad \text{angolo ammissibile}$$

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

Armatura a taglio (staffatura):

$$A_{sw}/s = \text{staffe } \emptyset 16 \text{ mm con } n^\circ \text{ bracci (trasv)} \quad 4 \text{ passo } 20 \text{ cm} = 0.402 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

$$V_{Rsd} = 0.90 \times d \times (A_{sw}/s) \times f_{yd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) \times \text{sen} \alpha \quad V_{Rsd} = 5124.0 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{Rcd} = 0.90 \times d \times b_w \times \alpha_c \times f_{cd} \times (\cotg \alpha + \cotg \theta) / (1 + \cotg^2 \alpha) \quad V_{Rcd} = 14416.1 \text{ kN}$$

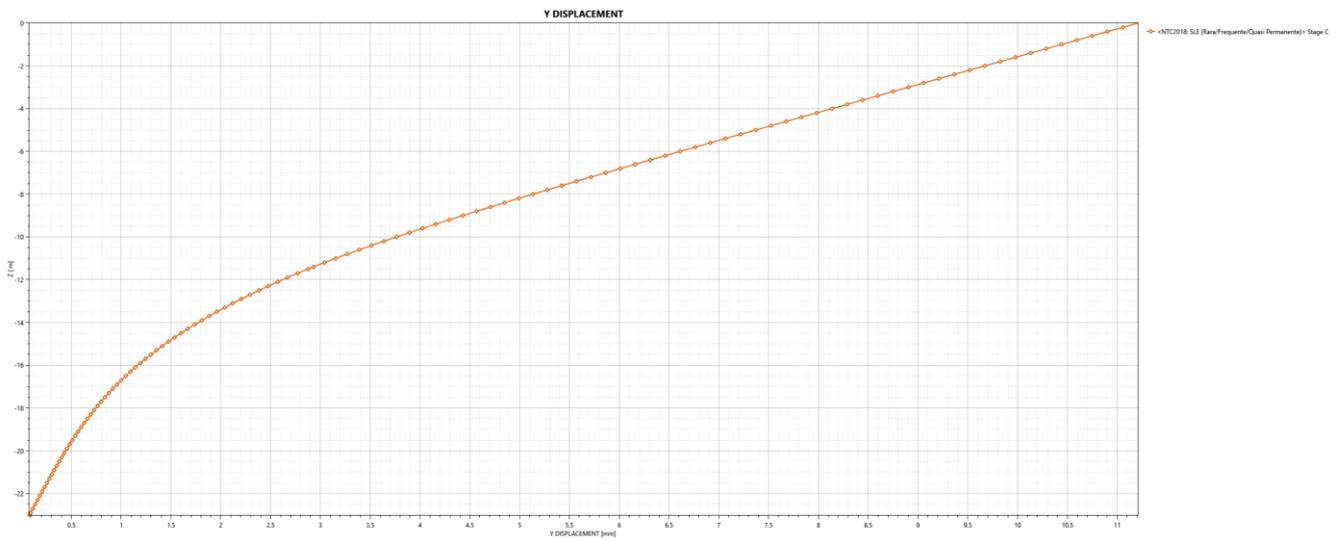
$$V_{Rd} = \min(V_{Rcd}, V_{Rsd}) \quad V_{Rd} = 5124.0 > 3430.0 \text{ kN} \quad \text{c.s.} = 1.5$$

la sezione armata a taglio risulta verificata.

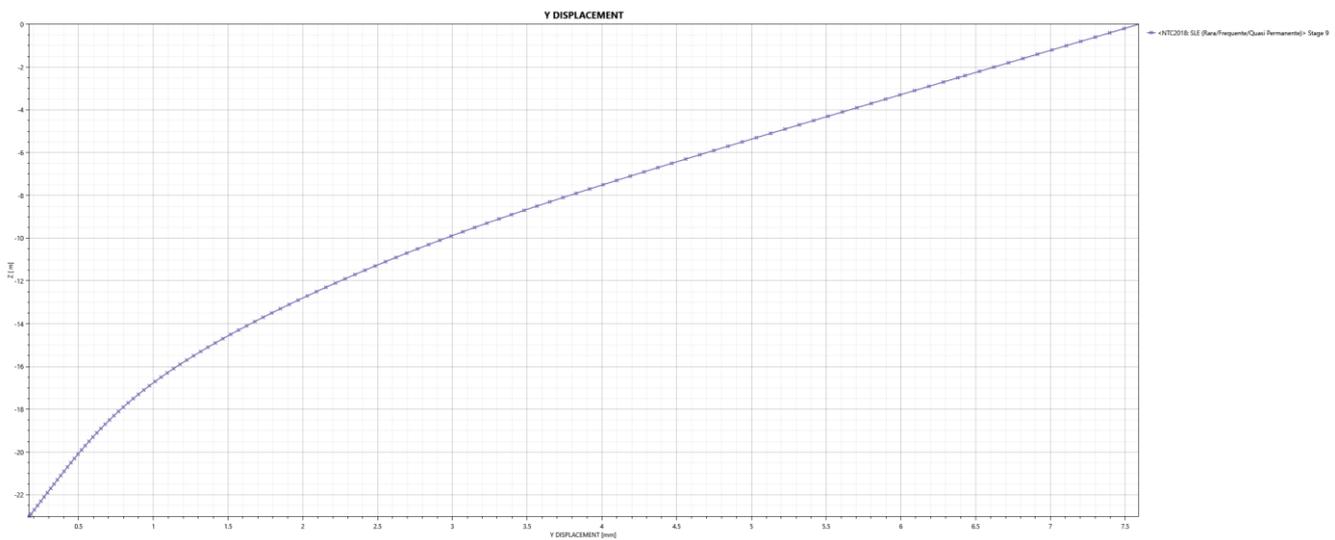
## 10.6. Verifiche geotecniche in fase di esercizio (SLE)

Si riportano i diagrammi dello spostamento orizzontale della paratia in fase di esercizio, in combinazione SLE rara.

Modello A



Modello B



Il massimo spostamento orizzontale in fase di esercizio, risulta circa 11mm che, con riferimento all'altezza totale dello scavo  $H=12.5m$ , è pari a  $H/1136$ . Tale valore è quindi compatibile con la funzionalità dell'opera e dei manufatti adiacenti.

### 10.7. Calcolo e verifiche tappo di fondo

Per la verifica al sollevamento deve risultare che il valore di progetto dell'azione instabilizzante  $F_{inst}$  data dalla sottospinta idraulica, moltiplicata per il coefficiente  $\gamma_{g1,eq,sfavorevole} = 1.1$ , sia non maggiore della combinazione dei valori di progetto delle azioni stabilizzanti  $F_{stab}$ , ovvero il peso del tappo di fondo e l'attrito tra tappo di fondo e paratia di diaframmi, moltiplicate per il coefficiente  $\gamma_{g1,eq,favorevole} = 0.9$ .

Le verifiche sono svolte con un foglio di calcolo, riportato di seguito.

#### Zona vasca – scavo $H = 12.5m$

peso specifico acqua	$\gamma_w =$	10 kN/m <sup>3</sup>
peso specifico terreno	$\gamma_t =$	20 kN/m <sup>3</sup>
peso specifico jet-grouting	$\gamma_j =$	22 kN/m <sup>3</sup>
Profondità scavo	$H_e =$	12 m
Profondità falda	$p =$	2 m
Altezza battente acqua	$h =$	10 m
spessore tappo di fondo + terreno	$T =$	10 m
spessore tappo di fondo	$t_j =$	7.5 m
spessore terreno	$t_g =$	2.5
Profondità intradosso tappo di fondo	$H_i =$	22 m
sottospinta idraulica	$s =$	200 kPa
peso tappo di fondo + terreno	$pt =$	215 kPa
angolo di attrito jet-grouting - diaframma	$\phi =$	19 °
profondità media tappo di fondo da PC	$z =$	18.25 m
profondità media tappo di fondo da falda	$z_w =$	16.25 m
pressione efficace	$\sigma'_v =$	202.5 kPa
	$k =$	0.5
Attrito	$\mu =$	35 kPa
Larghezza scavo	$B =$	15 m
Spinta di galleggiamento	$F_{inst} =$	3300 kN/m
Peso tappo di fondo	$P_t =$	3225 kN/m
Attrito	$F_a =$	523 kN/m
Forza stabilizzante	$F_{stab} =$	3373 kN/m
Coefficiente di sicurezza al sollevamento	$FS =$	1.02

#### Zona camera arrivo rostro – scavo $H = 10m$

peso specifico acqua	$\gamma_w =$	10 kN/m <sup>3</sup>
peso specifico terreno	$\gamma_t =$	20 kN/m <sup>3</sup>
peso specifico jet-grouting	$\gamma_j =$	22 kN/m <sup>3</sup>
Profondità scavo	$H_e =$	10 m
Profondità falda	$p =$	2 m
Altezza battente acqua	$h =$	8 m
spessore tappo di fondo + terreno	$T =$	10 m
spessore tappo di fondo	$t_j =$	5 m
spessore terreno	$t_g =$	5
Profondità intradosso tappo di fondo	$H_i =$	20 m
sottospinta idraulica	$s =$	180 kPa
peso tappo di fondo + terreno	$pt =$	210 kPa
angolo di attrito jet-grouting - diaframma	$\phi =$	19 °
profondità media tappo di fondo da PC	$z =$	17.5 m
profondità media tappo di fondo da falda	$z_w =$	15.5 m
pressione efficace	$\sigma'_v =$	195 kPa
	$k =$	0.5
Attrito	$\mu =$	34 kPa
Larghezza scavo	$B =$	14 m
Spinta di galleggiamento	$F_{inst} =$	2772 kN/m
Peso tappo di fondo	$P_t =$	2940 kN/m
Attrito	$F_a =$	336 kN/m
Forza stabilizzante	$F_{stab} =$	2948 kN/m
Coefficiente di sicurezza al sollevamento	$FS =$	1.06

## 11. INCIDENZE DELLE ARMATURE

Si prevedono i seguenti valori di incidenza delle armature.

- diaframmi di anima                      85 kg/m<sup>3</sup>
- diaframmi di flangia                      63 kg/m<sup>3</sup>
- incidenza media                          74kg/m<sup>3</sup>
- trave di coronamento                  65kg/m<sup>3</sup>