

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J81H0200000001

## S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

**COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA  
(PONTREMOLESE)**

**TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

**IDRAULICA E IDROLOGIA**

**IN72 - IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO (pk.3+760,00)**

RELAZIONI DI CALCOLO

SCALA:

-

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

I P 0 0    0 0    D    2 6    C L    I N 7 2 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Cucino	Feb 2022	M. Salleolini	Feb 2022	G. Fadda	Feb 2022	A. Perego Nov. 2022
B	AGGIORNAMENTO POST VERIFICA RFI	P. Cucino	Nov. 2022	M. Salleolini	Nov. 2022	G. Fadda	Nov. 2022	

File: IP0000D26CLIN7200001A

n. Elab.:

**INDICE**

1	PREMESSA .....	5
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI.....	7
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	7
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	7
4	SOFTWARE IMPIEGATI.....	8
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	8
6	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	10
7	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA – GEOTECNICA .....	14
7.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	14
	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	14
8	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....	17
9	MODELLO DI CALCOLO.....	18
9.1	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	18
10	MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	22
10.1	PARAMETRI DI SPINTA DEL TERRENO.....	22
10.2	PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ DEL TERRENO.....	24
10.3	MODELLAZIONE SISMICA.....	25
10.4	EFFETTI IDRODINAMICI.....	27
11	APPROCCI PROGETTUALI.....	27
11.1	COMBINAZIONI DI CARICO .....	28
11.2	METODO AGLI STATI LIMITE ED APPROCCI DI PROGETTO.....	28
12	MODELLO DI CALCOLO E VERIFICHE LE GALLERIE ARTIFICIALI .....	30
12.1	FASI DI CALCOLO .....	31
12.2	PARAMETRI GEOTECNICI.....	35

PROGETTO DEFINITIVO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONI DI CALCOLO	IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	3 di 98

<b>12.3</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI</b> .....	36
<b>12.3.1</b>	<b>ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI</b> .....	36
<b>12.3.2</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b> .....	51
<b>14.1.1</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE</b> .....	55
<b>15</b>	<b>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b> .....	57
15.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	57
	<b>CARATTERISTICHE MATERIALI</b> .....	58
15.2	CALCESTRUZZO .....	58
15.2.1	<i>Magrone</i> .....	58
15.2.2	<i>Calcestruzzo per soletta di fondazione, piedritti e soletta di copertura</i> .....	58
15.3	ACCIAIO .....	59
15.3.1	<i>Acciaio di armatura per c.a.</i> .....	59
<b>16</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b> .....	60
<b>17</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b> .....	63
17.1	PESO PROPRIO (PP) .....	63
17.2	SOVRACCARICO PERMANENTE (PERM) .....	63
17.2.1	<i>Azioni termiche uniformi (TU)</i> .....	64
17.2.2	<i>Azioni termiche differenziali (TF)</i> .....	65
17.2.3	<i>Ritiro</i> .....	66
17.2.4	<b>G3: Spinta laterale e verticale dell'acqua</b> .....	68
17.2.5	<i>Q<sub>acqua</sub> ug Effeti dell'acqua sotterranea</i> .....	69
17.2.6	<i>Q<sub>variable</sub></i> .....	70
17.3	AZIONI SISMICHE .....	71
17.3.1	<i>Carichi Sismici</i> .....	73
<b>18</b>	<b>VERIFICA AL MARTELLAMENTO</b> .....	75
<b>19</b>	<b>VERIFICHE SLD E SLO</b> .....	75



**RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA-  
LA SPEZIA**

**TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

4 di 98

20 COMBINAZIONI DI CARICO .....76

21 RISULTATI DELLE ANALISI .....90

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 1 PREMESSA

Con “Pontremolese” viene comunemente intesa la linea ferroviaria Parma – La Spezia, linea che congiunge come trasversale la linea Tirrenica con la dorsale Roma-Firenze-Bologna-Milano.

Nel 1976 entra a far parte del Corridoio Plurimodale Tirreno-Brennero (Ti-Bre) e fra gli anni '80 e '90 vengono realizzati il raddoppio delle tratte Vezzano Ligure-S.Stefano di Magra, e Ghiare di Berceto-Solignano e successivamente viene realizzato il prolungamento del raddoppio Solignano-Fornovo. A seguito dell’emanazione della Legge n. 443 del 21 dicembre 2001 (Legge Obiettivo), la restante parte da raddoppiare della linea (Parma-Osteriazza e Berceto-Chiesaccia) è stata inserita fra le opere strategiche.

Con Delibera n.19 del 8 maggio 2009, pubblicata sulla G.U.R.I. n. 301 del 29 dicembre 2009, il CIPE approva il Progetto Preliminare del Completamento del 2003. Delle tratte comprese tra Parma e Osteriazza e tra Berceto e Chiesaccia, vengono individuati tre lotti funzionali:

- Parma-Osteriazza
- Berceto-Pontremoli
- Pontremoli-Chiesaccia.

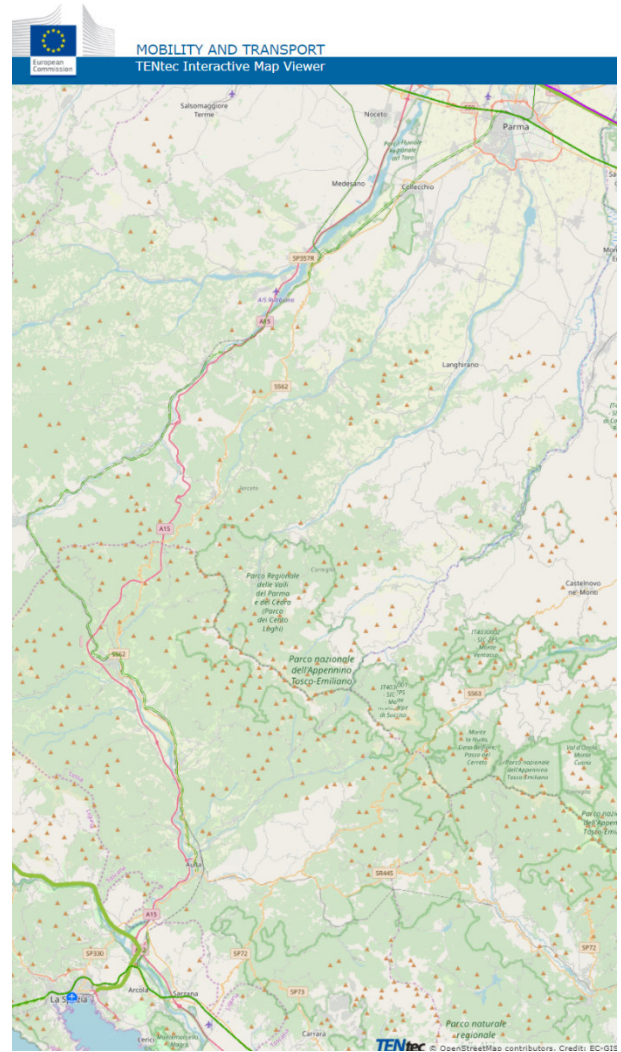
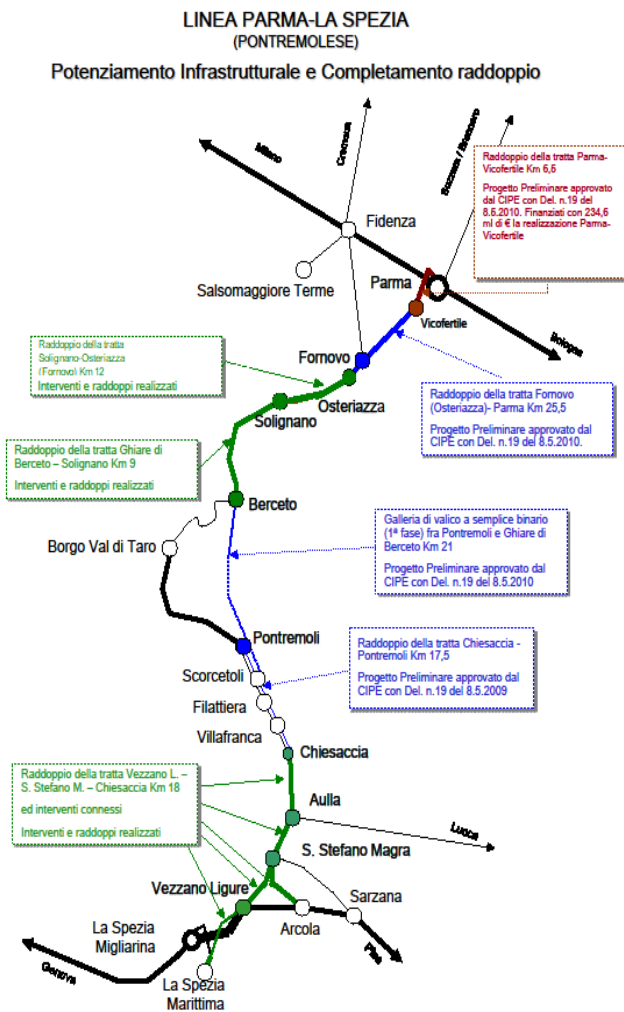
Di questi tre lotti funzionali, nella stessa Delibera, è stato individuato il primo, quello Parma-Osteriazza, come lotto prioritario, a sua volta suddiviso nei tre sub lotti Parma-Vicofertile, Vicofertile-Collecchio e Collecchio-Osteriazza.

Il progetto in oggetto è relativo al progetto definitivo del raddoppio della tratta Parma- Vicofertile

Rispetto al tracciato sviluppato nel Progetto Preliminare del 2004, il Progetto Definitivo vede una variante di tracciato per la parte d’innesto del raddoppio nei binari della stazione di Parma: la coppia di binari garantisce le relazioni merci Fornovo Bologna (direzioni P/D) e il solo binario dispari garantisce le relazioni viaggiatori con La Spezia attestate a Parma (evitando di fuori uscire dal corridoio urbanistico).

Tale variante, oltre a portare notevoli benefici ferroviari nella Stazione di Parma, permetterà di risolvere all’interno dell’abitato di Parma le interferenze della linea Pontremolese con la viabilità ordinaria e di rendere disponibile alla città un tratto di circa 3,5 km (il vecchio binario di tracciato).

Nel seguente schema si riporta lo stato attuale della linea con evidenziati i tratti già raddoppiati, quelli in corso di realizzazione e di progettazione.



**Figura 1 – Individuazione area d'intervento**

 <b>ITALFERR</b> <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E SOFTWARE UTILIZZATI

### 2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative.

Norme Tecniche per le Costruzioni del 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018;

Circolare n. 7 del 21/01/2019 “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al DM 17/01/2018 pubblicata sulla GU n. 35 del 11/02/2019;

RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;

RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.

Norma Europea UNI ENV 1990 – Eurocodice 0 - Basi di calcolo;

Norma Europea UNI ENV 1991 – Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture;

Norma Europea UNI ENV 1992 – Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo;

Norma Europea UNI EN 1998 – Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.

UNI EN 11104– “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”. Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1;

UNI EN 206-1:2016 – “Calcestruzzo: specificazione. prestazione. produzione e conformità”;

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;

### 3 Documenti di riferimento

Sono stati utilizzati come input per il presente documento i seguenti elaborati:

IN72 - IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO (pk.3+760,00)																					
RELAZIONI DI CALCOLO	I	P	0	0	0	0	D	2	6	C	L	I	N	7	2	0	0	0	0	1	A
PIANTE E SEZIONI	I	P	0	0	0	0	D	2	6	A	Z	I	N	7	2	0	0	0	0	1	C

#### 4 Software Impiegati

I software utilizzati per la progettazione sono:

- “PARATIE PLUS” Versione 21.0 della HarpaCeas S.r.l. di Milano

#### 5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito le principali caratteristiche dei diversi materiali impiegati nelle opere in progetto.

- **MAGRONE**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C12/15**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 15$  MPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : X0

- **SOLETTA SUPERIORE**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35$  Mpa
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86$  Mpa
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32$  GPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITA minima : S4
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO :  $< 0.5$
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 25mm
- COPRIFERRO :  $C = 40$ mm ( $\pm 0.5$ )

- **SOLETTA INFERIORE (FONDAZIONE)**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35$  Mpa
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86$  Mpa
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32$  GPa
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITA minima : S3
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO :  $< 0.5$
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 32mm
- COPRIFERRO :  $C = 40$ mm ( $\pm 0.5$ )



- **RIFODERE ED ELEVAZIONI**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35\text{Mpa}$
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86\text{ Mpa}$
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32\text{ GPa}$
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITÀ minima : S3
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO :  $< 0.5$
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 32mm
- COPRIFERRO :  $C = 40\text{mm} (\pm 0.5)$

- **DIAFRAMMI**

**CONGLOMERATO CEMENTIZIO C28/35**

- CLASSE DI RESISTENZA  $R_{ck}$  min :  $\geq 35\text{Mpa}$
- RESISTENZA A COMPRESSIONE DI PROGETTO :  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 15.86\text{ Mpa}$
- MODULO ELASTICO :  $E_{cm} = 32\text{ GPa}$
- CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE : XC2
- CLASSE DI LAVORABILITÀ minima : S4
- RAPPORTO ACQUA/CEMENTO :  $< 0.5$
- DIMENSIONE AGGREGATO massima : 32mm
- COPRIFERRO :  $C = 60\text{mm} (\pm 0.5)$

Pannelli in c.a. scavati con benna mordente, perforazione sostenuta con fanghi bentonitici.

- **ACCIAIO IN BARRE PER C.A.**

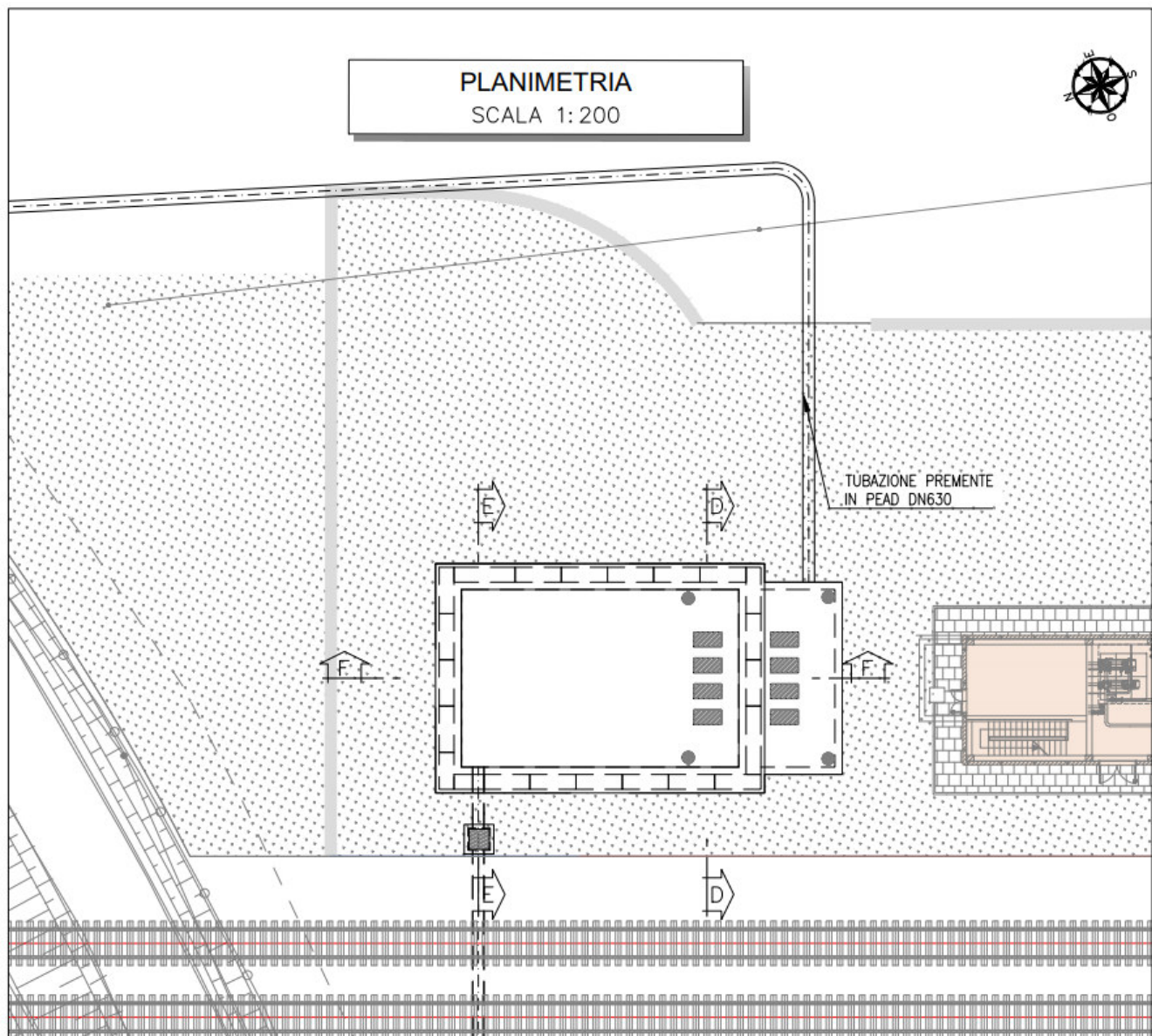
- B450C Saldabile Controllato In Stabilimento
- Resistenza di calcolo :  $f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 391\text{ Mpa}$
- Modulo Elastico :  $E_s = 210\text{ Gpa}$

- **JET GROUTING:** Colonne di diametro minimo  $\Phi 1000\text{mm}$  realizzate mediante iniezione ad alta pressione (50Mpa) di miscele cementizie, in quantità predeterminata, con cemento tipo 425, rapporto A/C miscela 0.8 – 1.2, per garantire una resistenza media a compressione  $>4\text{ Mpa}$ .

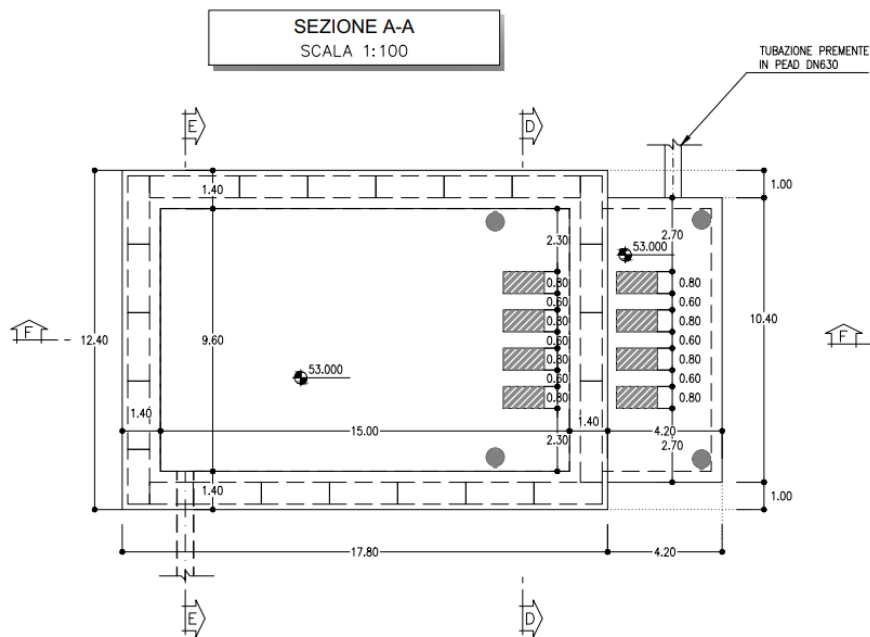
## 6 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera oggetto della presente relazione è uno scatolare realizzato interamente in cemento armato gettato in opera, caratterizzato da un vano.

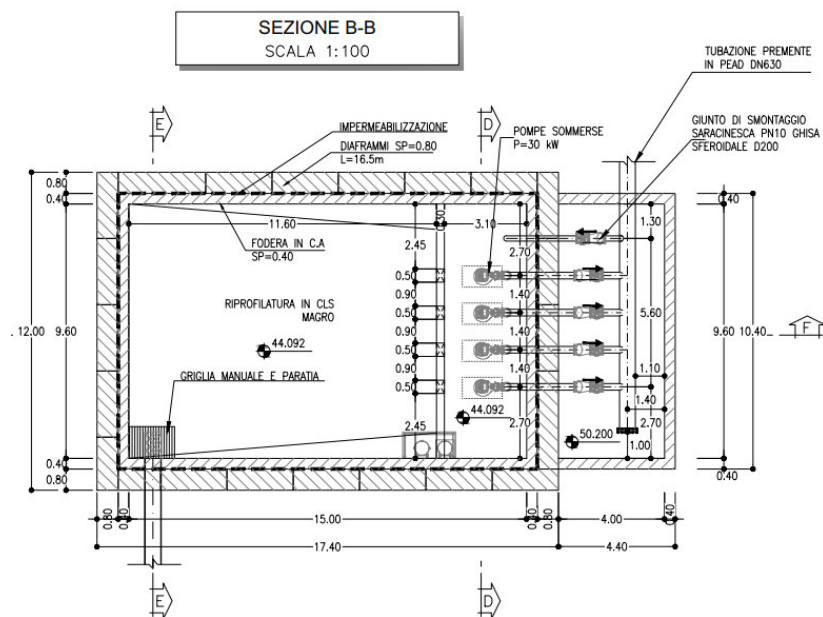
L'altezza netta interna dello scatolare è 3.00m. Lo spessore della soletta superiore è 0.50m, dei piedritti è pari a 0.50m e del solettone di fondo è pari a 0.60m. Il manufatto è gettato in uno concio di dimensioni in pianta pari a 18.90x20.00 metri ed ha un'altezza complessiva di 6.70 m; il calcolo è stato effettuato considerando una sezione di profondità unitaria.



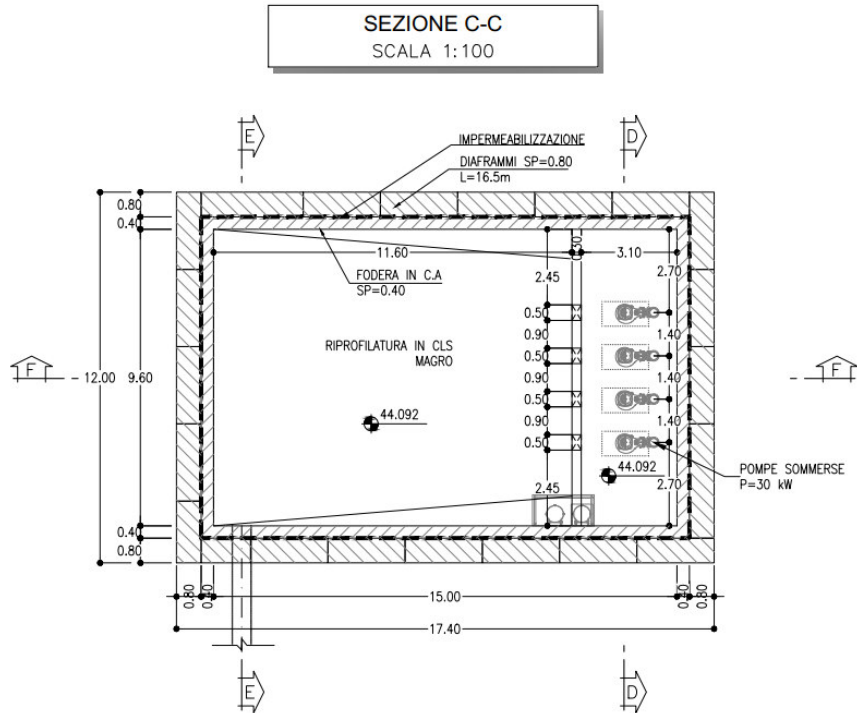
**Fig. 1 – Planimetria generale**



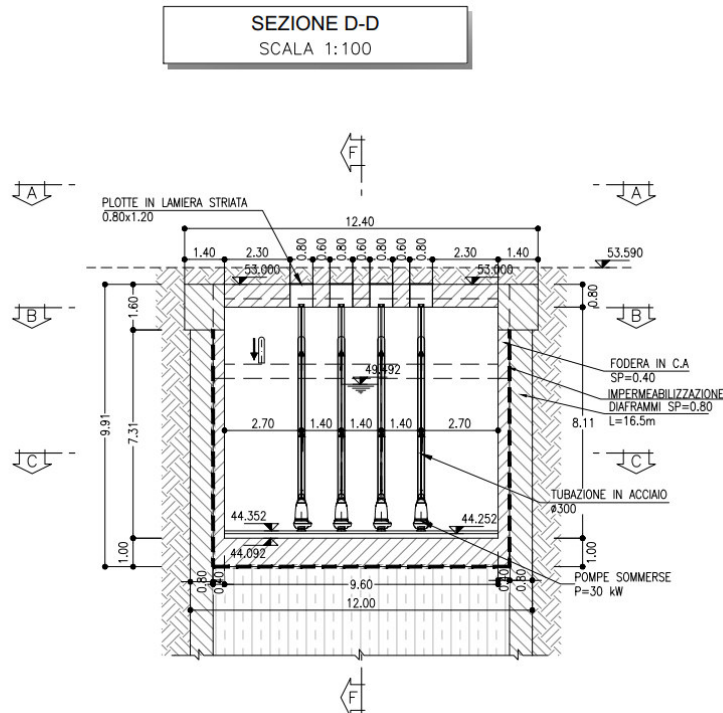
**Fig. 2 – Sezione A-A**



**Fig. 3 – Sezione B-B**



**Fig. 4 – Sezione C-C**





PROGETTO DEFINITIVO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONI DI CALCOLO	IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	14 di 98

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA – GEOTECNICA

Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica.

### 7.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Da un punto di vista geologico, IN72 comprende le seguenti formazioni:

#### Ghiaia (G o A1):

Argille limose e limi argillosi di colore marrone chiaro, nocciola, avana e grigio, generalmente consistenti con frustoli carboniosi e livelli decimetrici a forte componente organica. Sono presenti locali intercalazioni limoso sabbiose e sabbiose, localmente ghiaiose. Si rinvencono concrezioni carbonatiche da millimetriche a centimetriche (calcinelli)

#### Limo Argilloso (L o A2):

Ghiaia, ghiaia sabbiosa e con sabbia, localmente limosa e/o argillosa di colore marrone chiaro e avana da media a grossolana, eterometrica, morfologicamente mediamente evoluta ed evoluta, poligenica, generalmente di natura calcarea, marnosa ed arenacea, di dimensioni da subcentimetriche a pluricentimetriche, presenti ciottoli sparsi subarrotondati (diametro anche maggiore di 10 cm)

#### Caratterizzazione e Modellazione Geotecnica

Tutte le gallerie artificiali sono caratterizzate dalla presenza delle stesse unità geotecniche in uguale successione. Infatti, in tutte le aree si registra la presenza di limo argilloso appoggiato alla ghiaia. Per i dettagli della caratterizzazione geotecnica si rimanda alla "Relazione Geotecnica (IP0000D26RGGE0000001A)".

I parametri geotecnici caratteristici utilizzati nelle analisi di simulazione e verifiche, in riferimento alla stratigrafia assunta, sono riportati nella tabella seguente:

**Tabella 1** Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi

TRATTA 5 - DAL KM 3+250 AL KM 3+900 - PCL053B03, PCL053B04, MASW04 e HVSR04																
UNITA'	DA	A	Nspt	S <sub>n</sub>	φ'	c'	C <sub>u</sub>	G <sub>0</sub>	E <sub>0</sub>	E <sub>op2</sub>	E <sub>op1</sub>	OCR	CR	RR	kh	H falda da p.c.
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	[m/s]	[m]
L	0.00	4.00-8.00	5-15	19	27	12	60	30-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	5.0-8.0
G	4.00-8.00	14	47-100	19	37	0	-	90-130	200-300	40-60	20-30				2.03E-04	
L	14	19.00	17	19	27	8	100	60-70	140-160	28-32	14-16	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	19.00	25	17-100	19	37	0	-	140-160	320-370	65-75	32-37					
L	25	27	-	19	27	8	120	85	195	39	19	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	27	33	77-100	19	37	0	-	180	400	80	40					
L	>33		-	19	27	8	160	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	

È segnalata la presenza di falda alla quota di circa 7 m slm per il IN72.



	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 8 VITA NOMINALE E CLASSI D'USO

### 8.1 Vita Nominale

La vita nominale di progetto di una costruzione, così come definita al punto 2.4.1 del DM 17.01.2018, è intesa come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. Con riferimento alla tabella 2.4.1 del DM 17.01.2018, la vita nominale VN delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella:

TIPO DI COSTRUZIONE <sup>(1)</sup>	Vita Nominale V <sub>N</sub> [Anni] <sup>(2)</sup>
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14.01.2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE (V<250 Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ V<250 Km/h	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ V ≥ 250 km/h	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 <sup>(2)</sup>
(1) – La stessa V <sub>N</sub> si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere. (2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di FERROVIE.	

#### Vita nominale delle infrastrutture ferroviare

PROGETTO DEFINITIVO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RELAZIONI DI CALCOLO	IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	16 di 98

## 8.2 Classi d'uso

Il DM 17.01.2018 attribuisce alle costruzioni, in funzione della loro destinazione d'uso e quindi delle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in conseguenza di un evento sismico, diverse classi d'uso; a ciascuna classe corrisponde un coefficiente d'uso CU. Con riferimento alla classificazione di cui al punto 2.4.2 del DM 17.01.2018, la classe d'uso delle infrastrutture ferroviarie può, di norma, assumersi come indicato nella seguente tabella 2.5.1.1.2-1

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso <sup>(1)</sup>	Coefficiente d'uso [CU] <sup>(1)</sup>
FABBRICATI APPARTENENTI ALL'ELENCO A AI SENSI DEL DPCM 3685/2003	IV	2
GRANDI STAZIONI	IV	2
FABBRICATI APPARTENENTI ALL'ELENCO B AI SENSI DEL DPCM 3685/2003	III	1.5
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA <sup>(2)</sup>	III	1.5
ALTRE OPERE D'ARTE, FABBRICATI NON RIENTRANTI NELLE CLASSI D'USO III E IV	II	1
<p>(1) Qualora una costruzione sia interferente con un'altra infrastruttura di cui all'elenco A del DPCM 3685 del 2003 o all'elenco B del DPCM 3685 del 2003 dovrà essere presa in conto la più alta tra la classe d'uso assegnata alla costruzione attraverso la presente tabella e quella dell'infrastruttura con cui si realizza l'interferenza.</p> <p>(2) Ricadono in classe d'uso IV le opere d'arte nuove ricadenti nelle tratte di nodo di collegamento delle grandi stazioni con il sistema di grande viabilità ferroviaria</p>		

### Coefficienti d'uso per le infrastrutture ferroviarie



	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 9 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica è valutata con riferimento alle indicazioni del Decreto Ministeriale del 17.01.2018 "Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni", nel seguito brevemente NTC2018.

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nei quali la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Si assume  $VN=75$  anni in accordo al §2.5.1.1.1 del MdP Sezione II ("Altre opere nuove a velocità  $v<250$  Km/h").

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. In accordo al §2.5.1.1.1 del MdP Sezione II si considera una Classe III e pertanto un coefficiente d'uso  $Cu=1.5$  ("Opere d'arte del sistema di grande viabilità ferroviaria").

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso Cu (§2.4.3 delle NTC2018):

$$VR = VN \times Cu = 75 \text{ anni} \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

In accordo alla relazione geologica di riferimento, il sottosuolo rientra nella categoria di suolo di fondazione di tipo "C" ovvero "Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Relativamente alle condizioni topografiche, per il caso in esame si ritiene di poter adottare la classificazione semplificata proposta in Normata e assimilare l'area di progetto alla categoria topografica T1, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica ST pari ad 1.0.

Con riferimento allo stato limite SLV (10% della probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR), per l'area di progetto (Latitudine =  $44.813361^\circ$ , Longitudine =  $10.302774^\circ$ ) il valore massimo della accelerazione su suolo rigido pianeggiante è

$$ag=0.185g.$$

Considerando il coefficiente di amplificazione stratigrafica

$$SS = 1.425$$

e topografica

$$ST = 1$$

si ottiene la accelerazione massima in sito:

$$amax = SS \cdot ST \cdot ag = 0.264g$$

**RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA-  
LA SPEZIA****TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

18 di 98

## 10 MODELLO DI CALCOLO

### 10.1 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Al fine di rappresentare il comportamento dei diaframmi e della soletta superiore durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o inserimento degli elementi di contrasto) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Allo scopo si impiega il programma di calcolo "PARATIE PLUS" Versione 21.0 della HarpaCeas S.r.l. di Milano.

La fondazione della galleria artificiale sarà realizzata con rifodera e sarà vincolata al giunto diaframma e soletta superiore. Per questo motivo la fondazione e la rifodera sono state modellate come una struttura diversa e risolte nel software strutturale SAP2000. La fondazione viene modellata anche durante il calcolo del sistema diaframma - soletta superiore, al fine di simulare meglio la struttura.

I diaframmi, la soletta superiore e la fondazione sono discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico. Esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla galleria artificiale.

I parametri che caratterizzano il modello dunque possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno che compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

Le figure che seguono mostrano l'input delle strutture inserite nel programma di calcolo.

Nome: Diaframmi

Inerzia Equivalente: 0.0427 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 0.8 m

Mat. omogeneizzazione: C28/35

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale: [ ] Inerzia: [ ] m<sup>4</sup>/m Area: [ ] m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C28/35

Spessore: Ct 0.8 m

Diametro: Cd 0.6 m

Passo: Cs 0.6 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac 1

Acciaio

Materiale: Fe360

Profilo: [ ]

Passo: Ss [ ] m

Palancole

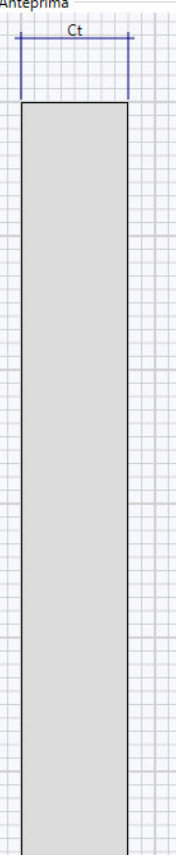
Profilo: [ ] Catalogo Palancole

Materiale: Fe360

Tipo: [ ] β<sub>s</sub> [ ]

Peso per superficie unitaria di parete: [ ] kN/m<sup>2</sup> β<sub>D</sub> [ ]

Anteprima



**Figura 2** Caratteristiche dei diaframmi inserite in Paratie Plus.

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA

IP00

LOTTO

00

CODIFICA

D26CL

DOCUMENTO

IN 72 00 001

REV.

B

FOGLIO

20 di 98

Nome:

Inerzia Equivalente:  m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente:  m

Mat. omogeneizzazione:

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load  kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale:  Inerzia:  m<sup>4</sup>/m Area:  m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

**Calcestruzzo**

Materiale:

Spessore: Ct  m

Diametro: Cd  m

Passo: Cs  m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac

**Acciaio**

Materiale:

Profilo:

Passo: Ss  m

Palancole

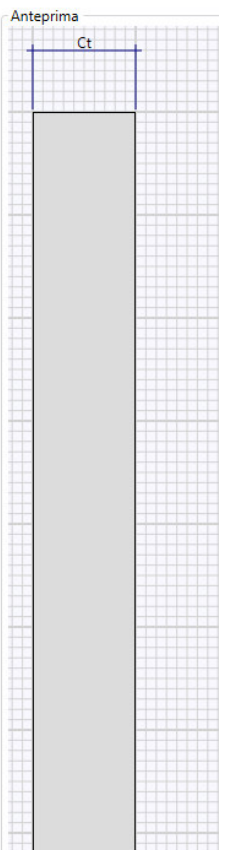
Profilo:

Materiale:

Tipo:  βs

Peso per superficie unitaria di parete:  kN/m<sup>2</sup> βD

Anteprima



**Figura 3 Caratteristiche delle soletta inferiore inserite in Paratie Plus**

Nome: Soletta Superiore

Inerzia Equivalente: 0.0427 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 0.8 m

Mat. omogeneizzazione: C28/35

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale: Inerzia: m<sup>4</sup>/m Area: m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C28/35

Spessore: Ct 0.8 m

Diametro: Cd 0.6 m

Passo: Cs 1 m

Acciaio

Materiale:

Profilo:

Passo: Ss m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac 1

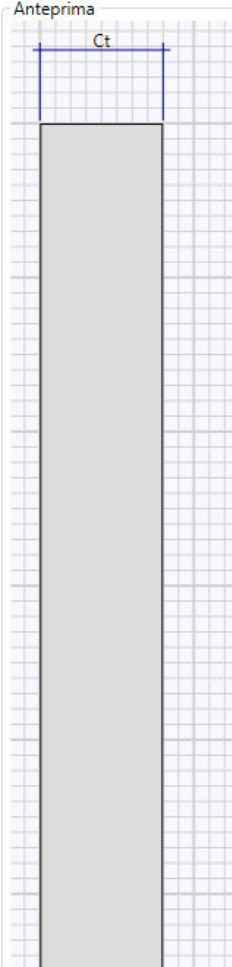
Palancole

Profilo: Catalogo Palancole

Materiale:

Tipo:  $\beta_s$  1

Anteprima



**Figura 4** Caratteristiche della soletta superiore inserite in Paratie Plus

## 11 MODELLAZIONE GEOTECNICA

I parametri geotecnici utilizzati nell'analisi sono presi dalla Tabella 1. I parametri del suolo drenato sono usati e  $E_{op}/5$  considerato per il modulo elastico.

La falda si presenta a 7,0 m sotto la superficie del suolo.

### 11.1 PARAMETRI DI SPINTA DEL TERRENO

Il programma impiegato richiede, ovviamente, la definizione di parametri geotecnici degli strati in cui è stato suddiviso il terreno al contorno dell'opera e che è stata già riportata nei paragrafi precedenti.

Il problema dell'interazione suolo-struttura consiste nel valutare il raggiungimento dello stato di equilibrio del terreno al variare delle deformazioni della struttura in quanto la tensione orizzontale  $\sigma'_h$  che lo scheletro solido del terreno esercita sulla parete verticale della struttura è funzione dello spostamento che essa subisce.

L'analisi di interazione ha inizio dallo stato indisturbato del terreno che è in equilibrio in condizioni litostatiche:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v \quad \text{pressione a riposo}$$

Secondo la relazione di Kulhawy [1989], il coefficiente di spinta a riposo dipende dalla resistenza del terreno e dal rapporto di sovraconsolidazione del terreno OCR secondo la seguente relazione:

$$K_0 = K_0^{nc} * OCR^m$$

dove:

- $K_0^{nc}$  è il coefficiente di spinta a riposo per terreni normal-consolidati che secondo Jaky [1936] può essere posto pari a  $K_0 = (1 - \sin \varphi')$ ;
- $m$  è un parametro empirico, di solito compreso tra 0,40 e 0,70.

Con lo scavo, lo stato di equilibrio litostatico viene perturbato e le spinte variano in funzione dello spostamento:

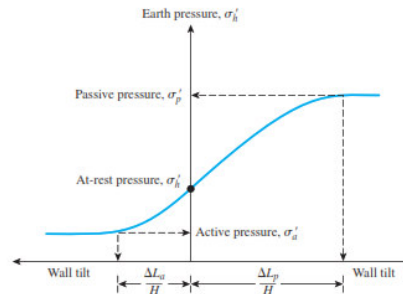


Figure 13.2 Variation of the magnitude of lateral earth pressure with wall tilt

Table 13.1 Typical Values of  $\Delta L_a/H$  and  $\Delta L_p/H$

Soil type	$\Delta L_a/H$	$\Delta L_p/H$
Loose sand	0.001-0.002	0.01
Dense sand	0.0005-0.001	0.005
Soft clay	0.02	0.04
Stiff clay	0.01	0.02

La tensione  $\sigma'_a$  “attiva” sul paramento viene calcolata come:

$$\sigma'_a = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot (K_a)^{0,50} \quad \text{pressione attiva}$$

dove:

- $K_a$  = coefficiente di spinta attiva;
- $\sigma'_v$  = tensione verticale efficace alla generica profondità;
- $c'$  = coesione efficace.

In condizioni statiche,  $K_a$  è funzione dell'angolo di attrito efficace dello scheletro solido  $\phi'$ , dell'angolo di attrito fra struttura e terreno  $\delta$  dell'inclinazione  $\beta$  del paramento di monte della struttura di sostegno e dell'inclinazione del terrapieno a tergo dell'opera.

La tensione  $\sigma'_p$  “passiva” sul paramento viene, parimenti, calcolata come:

$$\sigma'_p = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot (K_p)^{0,50} \quad \text{pressione passiva}$$

dove:

- $K_p$  = coefficiente di spinta passiva.

Il software utilizzato è in grado, dunque, in funzione del campo di spostamento risultante nei vari step di analisi, di risalire all'entità della spinta in ogni fase a partire dal valore iniziale di spinta a riposo.

Le rigidzze delle molle schematizzanti i vari strati di terreno sono proporzionali ai loro moduli elastici.

Per strutture di sostegno alla pressione esercitata dallo scheletro solido deve essere sommata la pressione esercitata dall'acqua assumendo schemi di filtrazione idonei in funzione delle condizioni stratigrafiche ed al contorno. In presenza di falda, va ovviamente aggiunta la pressione idrostatica che alla generica profondità, può essere valutata come di seguito:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

24 di 98

$$u = \gamma_w \cdot z$$

In definitiva, l'espressione generale per il calcolo della pressione verticale efficace alla generica profondità  $z$ , in caso di eventuale presenza di sovraccarichi sul piano limite e falda è la seguente:

$$\sigma'_v = \gamma \cdot (z - h_w) + \gamma' \cdot h_w + q$$

Essendo:

- $\gamma$ : peso di volume naturale del terreno;
- $\gamma'$ : peso di volume del terreno immerso;
- $h_w$ : altezza di falda rispetto al piano orizzontale posto a quota  $z$ ;
- $q$ : intensità del sovraccarico presente su piano limite

## 11.2 PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ DEL TERRENO

Per la definizione del modulo di Young si utilizza il modello elasto-plastico inserendo il valore di  $E$  manualmente. Il programma provvede automaticamente a calcolare le costanti di sottofondo per ogni fase di scavo come:

$$K_{monte} = \frac{E_m \cdot \Delta}{B_m} \quad e \quad K_{valle} = \frac{E_v \cdot \Delta}{B_v}$$

Nelle relazioni presentate,  $\Delta$  è il valore fornito dalla schematizzazione agli elementi finiti e  $B_m$  e  $B_v$  sono rispettivamente le estensioni laterali del cuneo di spinta attiva e passiva del terreno alla quota del baricentro del cuneo stesso, per ogni fase di scavo:



$$B_m = \frac{2}{3} \cdot \lambda_A \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$B_v = \frac{2}{3} \cdot \lambda_p \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$\lambda_A = \min(H_{paratia}; 2H_{scavo})$$

$$\lambda_p = \min(H_{paratia} - H_{scavo}; H_{scavo})$$

Si assume in ogni caso un valore di altezza dello scavo  $H_{scavo}$  non minore di 1/10 dell'altezza totale della paratia  $H_{paratia}$ .

Per simulare il comportamento reale dei terreni, caratterizzato da una marcata non linearità ed in particolare da una differente risposta nella condizione di primo carico o carico vergine rispetto alla condizione di scarico e ricarico, si definiscono valori diversi delle costanti elastiche delle molle; in pratica si adottano due valori dei moduli di elasticità longitudinale, per distinguere la risposta in fase di primo carico (ECV) da quella in fase di scarico (EUR). Il modulo elastico in fase incrudente si assume pari a 1.60 volte il modulo elastico di primo carico  $E_{vc}$  (ha un valore assunto pari al modulo elastico del terreno):

$$E_{ur} = 1.60 \cdot E_{vc}$$

### 11.3 MODELLAZIONE SISMICA

La modellazione dell'azione sismica è fatta attraverso la Teoria Wood. Si è adottato il metodo pseudostatico, calcolando il coefficiente sismico orizzontale e verticale secondo le prescrizioni della normativa (NTC 2018):

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right)$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

dove:

- $a_{max}$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, a favore di sicurezza e in ipotesi di strutture rigide ed impedito di subire spostamenti relativi rispetto al terreno si assume  $\beta_m = 1$ .

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

26 di 98

L'effetto del sisma è ottenuto applicando il valori dei  $k_h$  e  $k_v$  all'intero modello del suolo nel software Paratie Plus 22.1. I valori di  $k_h$  e  $k_v$  sono calcolati come segue:

L'effetto del sisma è ottenuto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Wood (1973), agente direttamente sulla porzione di paratia compresa tra gli estradossi della soletta superiore ed inferiore secondo una distribuzione uniforme.

$$\Delta S_E = k_h \cdot \gamma \cdot H_{scavo}$$

dove:

- $\gamma$  rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce;
- $H$  rappresenta l'altezza della paratia compresa tra gli estradossi delle solette superiore e inferiore;
- $K_h$  rappresenta il coefficiente di spinta in condizioni sismiche.

Per la simulazione degli effetti dell'azione sismica sulle masse inerziali si fa riferimento al metodo pseudostatico secondo quanto previsto dalla normativa vigente, applicando cioè alle masse ed ai carichi fissi e variabili eventualmente presenti, due azioni statiche equivalenti proporzionali al peso, ovvero all'intensità del carico secondo quanto di seguito indicato:

$$F_h = k_h \cdot W \quad \text{azione sismica orizzontale}$$

$$F_v = k_v \cdot W \quad \text{azione sismica verticale}$$

con:

W: Peso della massa coinvolta / intensità del carico permanente;

$K_h$ : coefficiente sismico orizzontale;

$K_v$ : coefficiente sismico verticale.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 11.4 EFFETTI IDRODINAMICI

Gli effetti idrodinamici sono valutati con il metodo di Westergaard (Westergaard, 1931) e sono applicate come pressioni esterne con la relazione:

$$p_w = \frac{7}{8} a_x \gamma_w \sqrt{z_w H}$$

Dove:

- H è l'altezza del livello di falda rispetto al fondo scavo;
- $Z_w$  è la profondità del punto considerato dalla superficie libera della falda.

Quando l'acqua si trova al di sopra della superficie del terreno, le pressioni esterne idrodinamiche sono contenute all'interno dell'equazione sopra riportata. Nel caso si abbia una quota di falda al di sopra della quota di scavo le pressioni idrodinamiche sono incluse nel lato scavo, nella direzione dell'accelerazione orizzontale.

Dipendendo dalla permeabilità del terreno, l'acqua contenuta nel terreno stesso può muoversi indipendentemente o insieme allo scheletro solido.

Poiché il valore soglia convenzionale tra terreno pervio e terreno impervio è:  $k = 5 \cdot 10^{-4}$  m/s e tutti i litotipi/terreni coinvolti hanno una permeabilità minore, non si ritiene opportuno prendere in conto la scomposizione della spinta del terreno e dell'acqua in condizioni sismiche.

Si fa dunque l'ipotesi di terreno impervio, condizione che corrisponde alla impossibilità dell'acqua di muoversi in maniera indipendente, per cui gli effetti idrodinamici sono trascurabili ed il cuneo di spinta viene valutato con un peso dato dal  $\gamma_{\text{saturo}}$ .

## 12 APPROCCI PROGETTUALI

Le azioni considerate per la verifica delle gallerie artificiali sono le seguenti:

- **Azioni permanenti strutturali ( $G_1$ ):** peso proprio degli elementi strutturali;
- **Azioni permanenti non strutturali ( $G_2$ ):** spinta del terreno a monte e a valle dell'opera.
- **Azioni variabili ( $Q_k$ ):** carico variabile sul piano campagna atto a simulare la presenza di sovraccarichi variabili in fase costruttiva legato alle varie fasi realizzative;
- **Azione sismica ( $E$ ):** Accelerazione orizzontale e verticale come definita al C.0.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 12.1 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 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:

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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_F$ ,  $\gamma_M$  e  $\gamma_R$  (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

## 12.2 METODO AGLI STATI LIMITE ED APPROCCI DI PROGETTO

Come prescritto nella normativa vigente, per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera.

### SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 pari all'unità.

**Tabella 2** Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I N.T.C. 2018)

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_G$

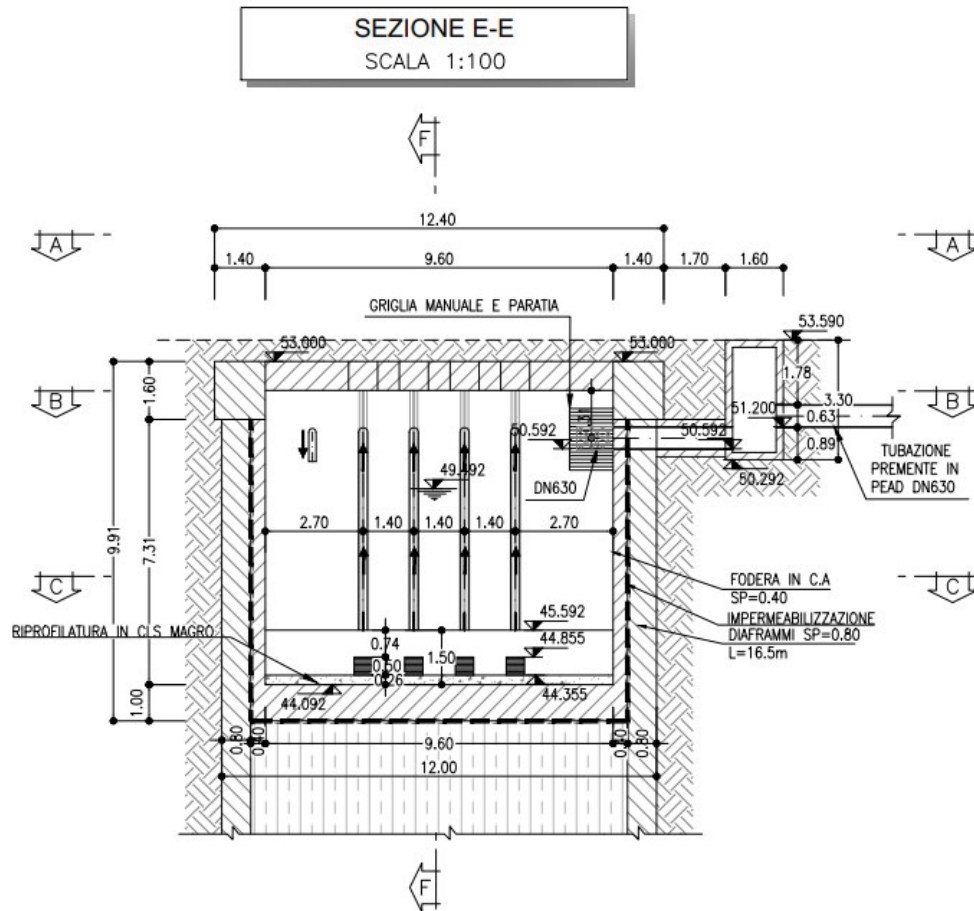
**Tabella 3** Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 4** Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.I – N.T.C. 2018).

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

**13 MODELLO DI CALCOLO E VERIFICHE LE GALLERIE ARTIFICIALI**



**Figura 5: Sezioni di calcolo**

### 13.1 FASI DI CALCOLO

L'analisi di interazione tra il terreno e l'opera di sostegno è eseguita mediante il codice di calcolo ParatiePlus, con riferimento ad uno schema piano e nell'ipotesi di sottosuolo assimilato ad una successione di strati orizzontali. L'analisi si articola secondo una sequenza di fasi, diverse in funzione del tipo di problema, allo scopo di simulare sia le reali fasi costruttive che la variazione dello stato di sforzo sino al completamento della costruzione

Per la geometria del problema in esame, l'analisi è articolata nella seguente successione di fasi:

1. Inizializzazione geostatica;
2. Realizzazione del tappo di fondo (jet grouting \*), del diaframma e della soletta superiore;
3. Scavo fino a quota -11m;
4. Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -10m;
5. Attivazione azione sismica.

#### (\*) Tappo di fondo: Parametri di Jet Grouting

Al tappo di fondo in jet grouting si possono assumere i seguenti valori di resistenza a rottura e moduloelastico:

$$\sigma_c = 2500 \text{ kPa}$$

$$E = 2500 \text{ Mpa}$$

Il valore di coesione è determinato dalla seguente espressione:

$$c = 0.5 \times \sigma_c \times (1 - \sin \phi) / \cos \phi$$

con  $\phi$  pari all'angolo di attrito della ghiaia,  $37^\circ$

Si ottiene un valore di coesione pari a 623 kPa.

Nelle successive verifiche alla struttura si assumono i seguenti parametri geotecnici, a favore di sicurezza ridotti rispetto a quelli sopra stimati:

Peso specifico	19.0 kN/m <sup>3</sup> ;
Angolo di attrito	37°
Coesione	300 kPa
Modulo Elastico	800 MPa

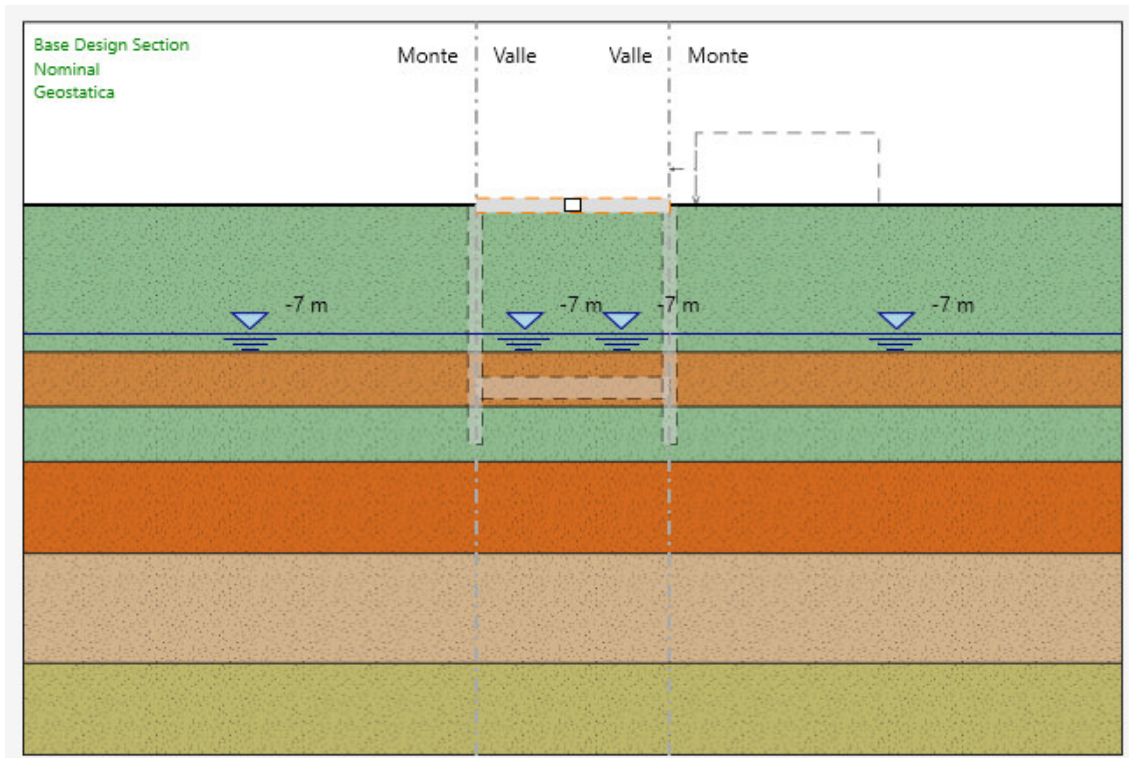


Figura 6: Inizializzazione geostatica;

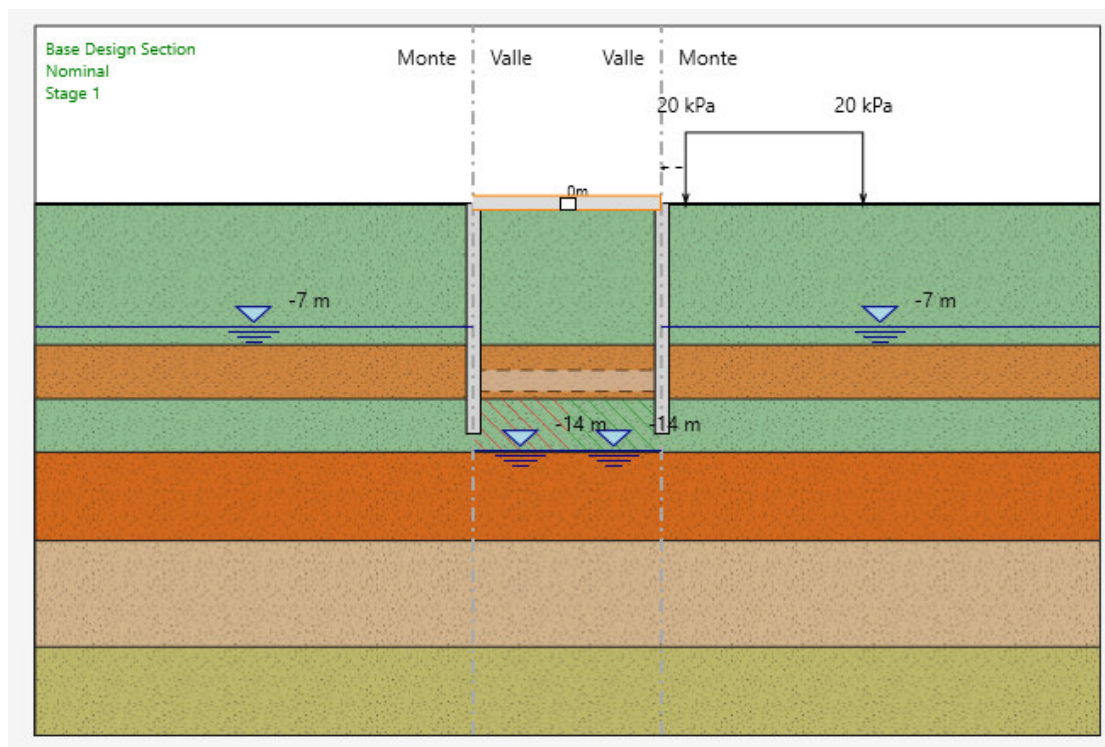




Figura 7 Realizzazione del tappo di fondo, del diaframma e della soletta superiore

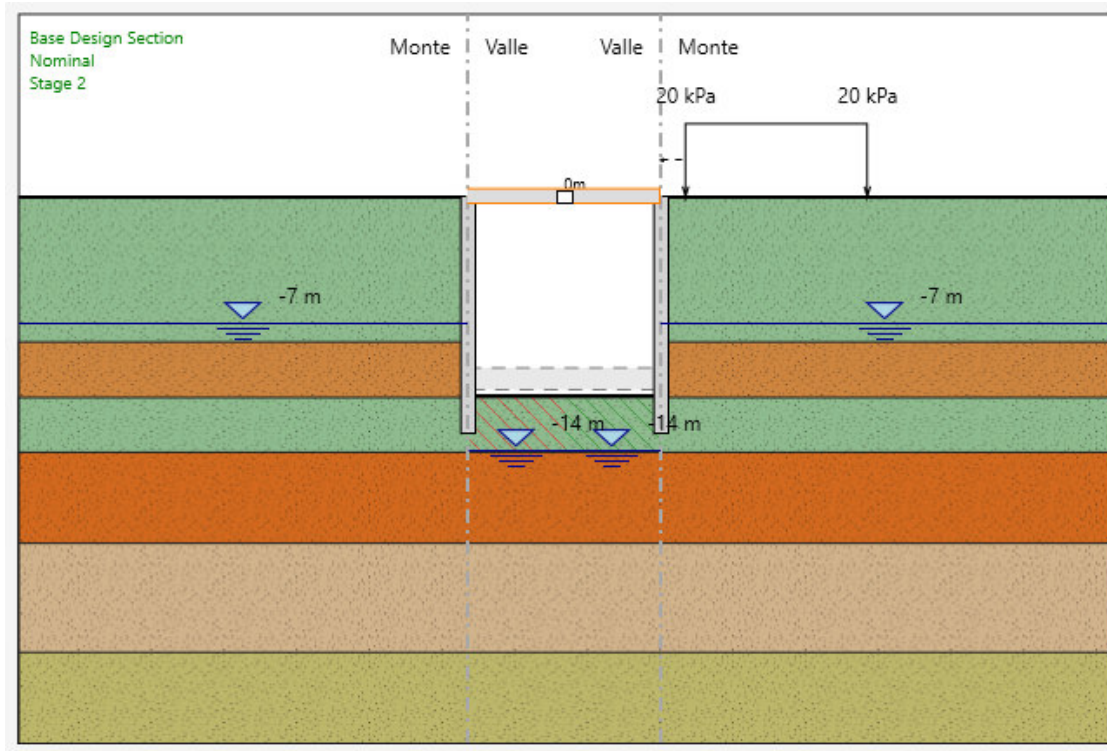


Figura 8 Scavo fino a quota -11m;

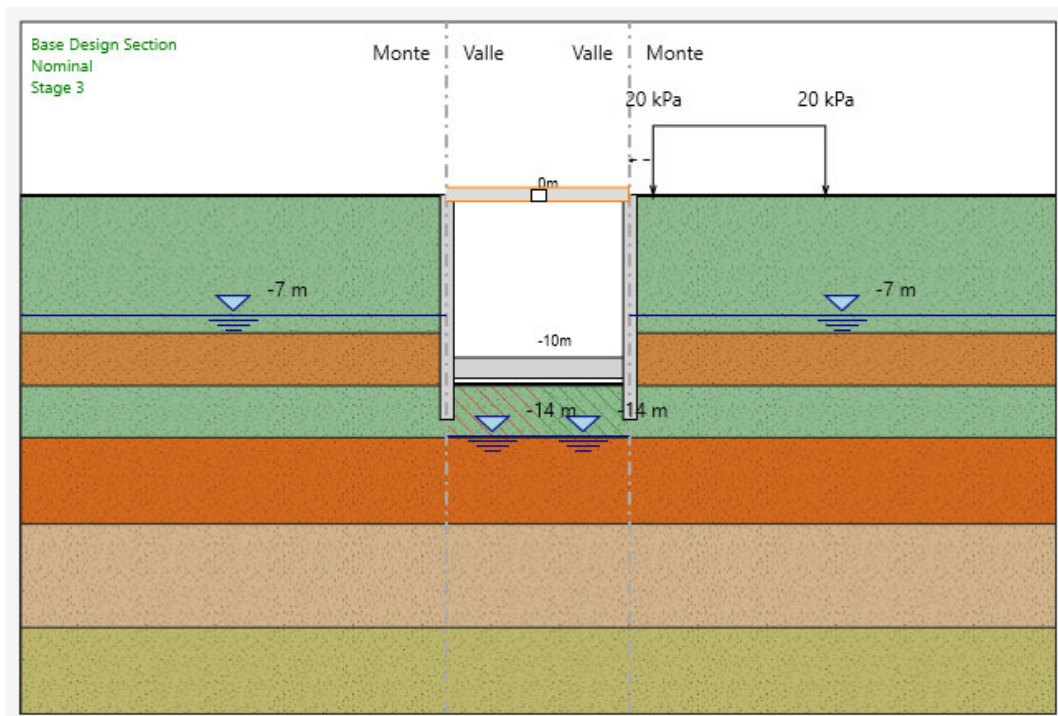


Figura 9 - Scavo fino alla quota della soletta inferiore a quota -10m

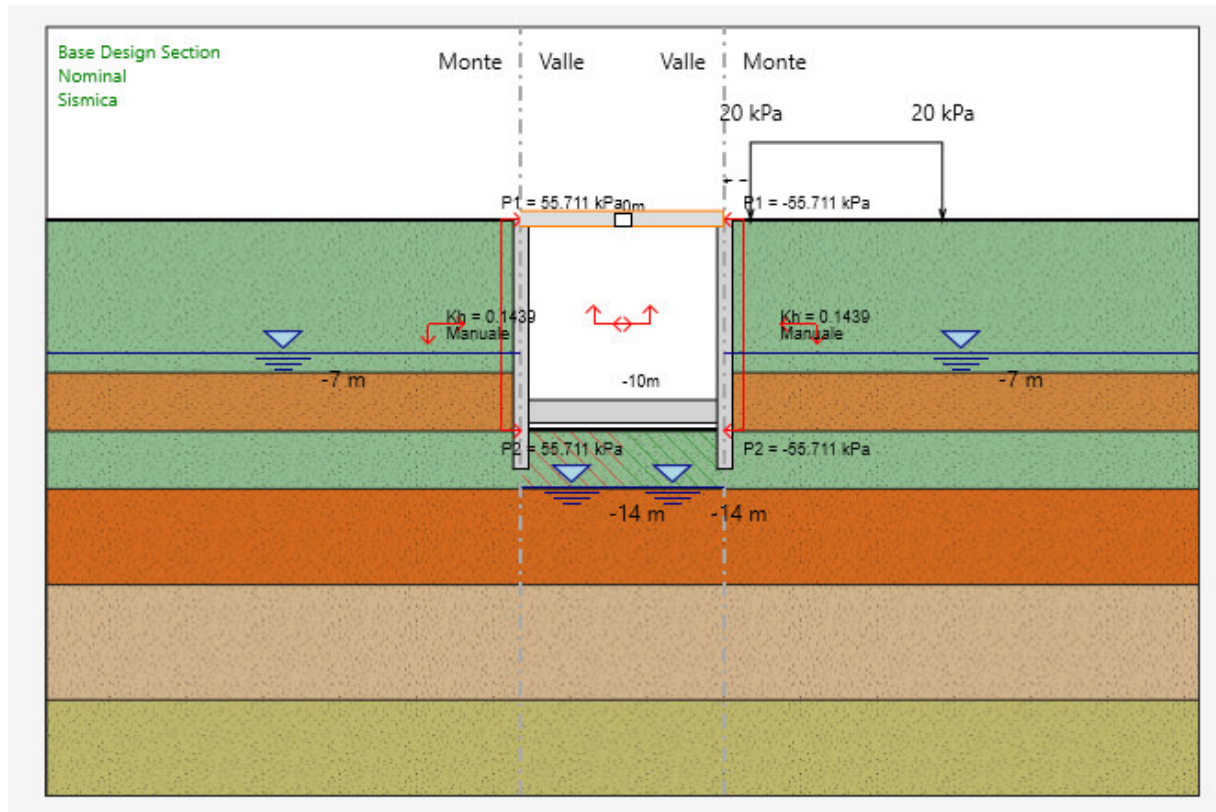


Figura 10 - Attivazione azione sismica



**RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA-  
LA SPEZIA**

**TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

PROGETTO DEFINITIVO  
RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	35 di 98

### 13.2 PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri geotecnici adottati nelle analisi come riportato nel prospetto che segue:

TRATTA 5 - DAL KM 3+250 AL KM 3+900 - PCL053B03, PCL053B04, MASW04 e HVSR04																
UNITA'	DA	A	Nspt	g <sub>n</sub>	φ'	c'	C <sub>u</sub>	G <sub>e</sub>	E <sub>e</sub>	E <sub>op2</sub>	E <sub>op1</sub>	OCR	CR	RR	kh	H falda da p.c.
(-)	(m pc)	(m pc)	(colpi/30cm)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(m/s)	(m)
L	0.00	4.00-8.00	6-15	19	27	12	60	30-45	70-100	14-20	7-10	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	5.0-8.0
G	4.00-8.00	14	47-100	19	37	0	-	90-130	200-300	40-60	20-30				2.03E-04	
L	14	19.00	17	19	27	8	100	60-70	140-160	28-32	14-16	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	19.00	25	17-100	19	37	0	-	140-160	320-370	65-75	32-37					
L	25	27	-	19	27	8	120	85	195	39	19	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	
G	27	33	77-100	19	37	0	-	180	400	80	40					
L	>33		-	19	27	8	160	90	200	40	20	3.50-6.80	0.024	0.021	9.62E-07	

### 13.3 RISULTATI DELLE ANALISI

#### 13.3.1 ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI

Di seguito si sintetizzano i risultati dei calcoli relativi alle diverse combinazioni di carico. In particolare, per si riportano i valori massimi delle sollecitazioni sulla paratia e gli andamenti delle sollecitazioni durante tutte le fasi di calcolo.

Tabella 5- Sollecitazioni massime per metro lineare agenti sulla soletta superiore

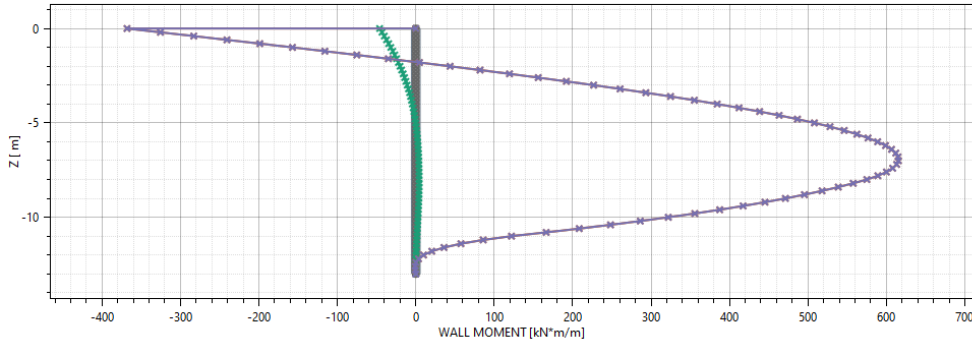
CALCOLO	SLU		SLV		SLE	
	Mmax	Vmax	Mmax	Vmax	Mmax	Vmax
<b>Con Incastro</b>	371,96	35,077	461,96	26,677	284,83	26,91
<b>Senza Incastro</b>	91,192	34,451	69,155	26,5	70	26,5
<b>Con Incastro:</b> Il calcolo con il grado di incastro agli estremi di soletta superiore sono %100						
<b>Senza Incastro:</b> Il calcolo con il grado di incastro agli estremi di soletta superiore sono %0						

Tabella 6- Sollecitazioni massime per metro lineare agenti sui diaframmi

CALCOLO	SLU		SLV		SLE	
	Mmax	Vmax	Mmax	Vmax	Mmax	Vmax
<b>Con Incastro</b>	645,23	234,65	798,52	413,91	284,83	179,08
<b>Senza Incastro</b>	712,89	250,42	922,92	447,56	544,68	191,17
<b>Con Incastro:</b> Il calcolo con il grado di incastro agli estremi di soletta superiore sono %100						
<b>Senza Incastro:</b> Il calcolo con il grado di incastro agli estremi di soletta superiore sono %0						

**WALL MOMENT**

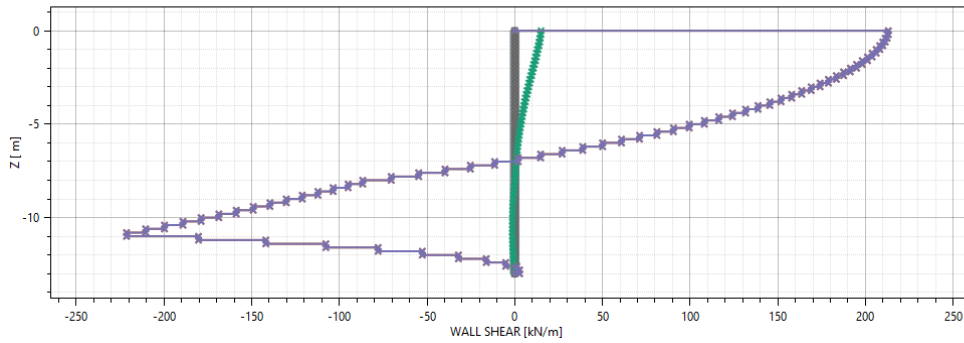
(Wallelem :WallElement (2136) Z1=0 m Z2=-13 m)



- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Geostatica
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 1
- ▲- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 2
- ★- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 3

**WALL SHEAR**

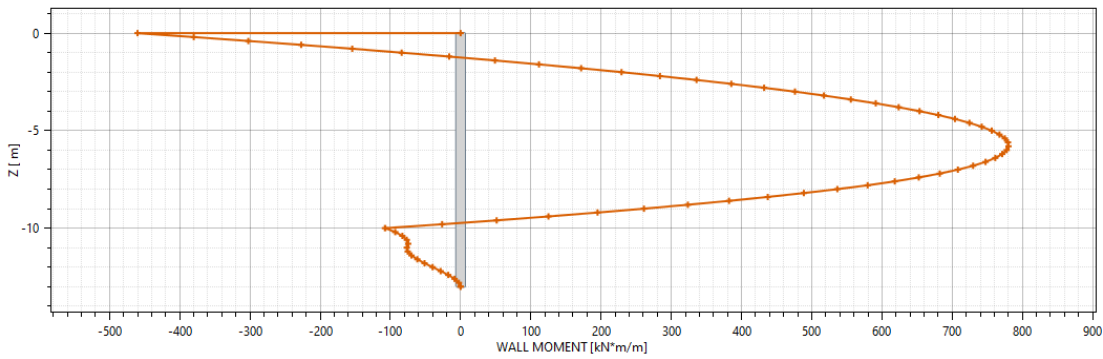
(Wallelem :WallElement (2136) Z1=0 m Z2=-13 m)



- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Geostatica
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 1
- ▲- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 2
- ★- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 3

**WALL MOMENT**

(Wallelem :WallElement (2136) Z1=0 m Z2=-13 m)



- ▲- <NTC2018: SISMICA STR> Sismica

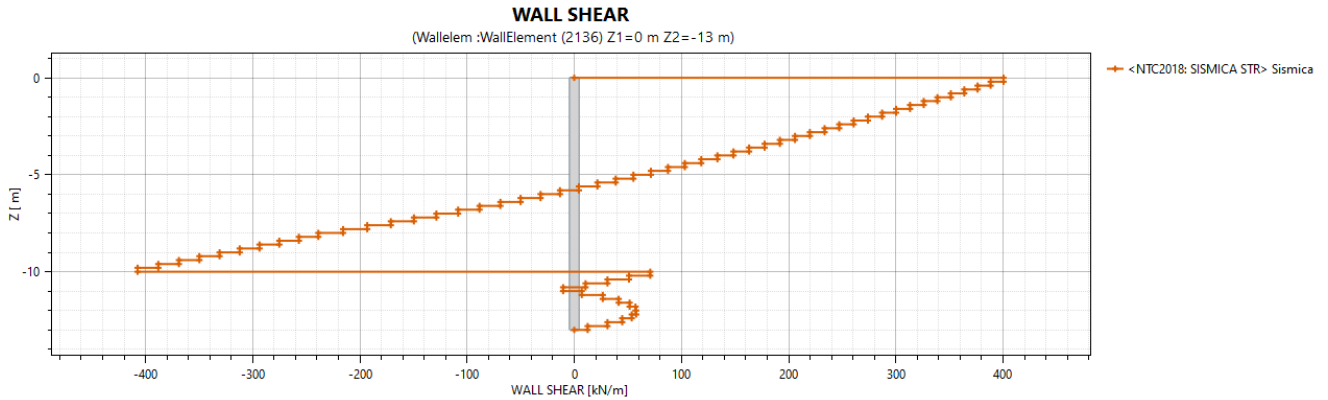
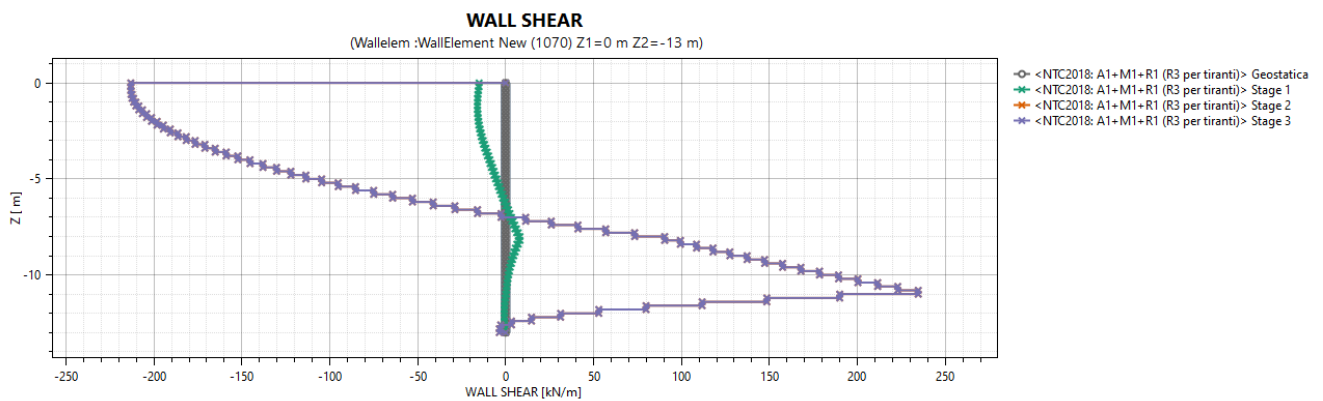
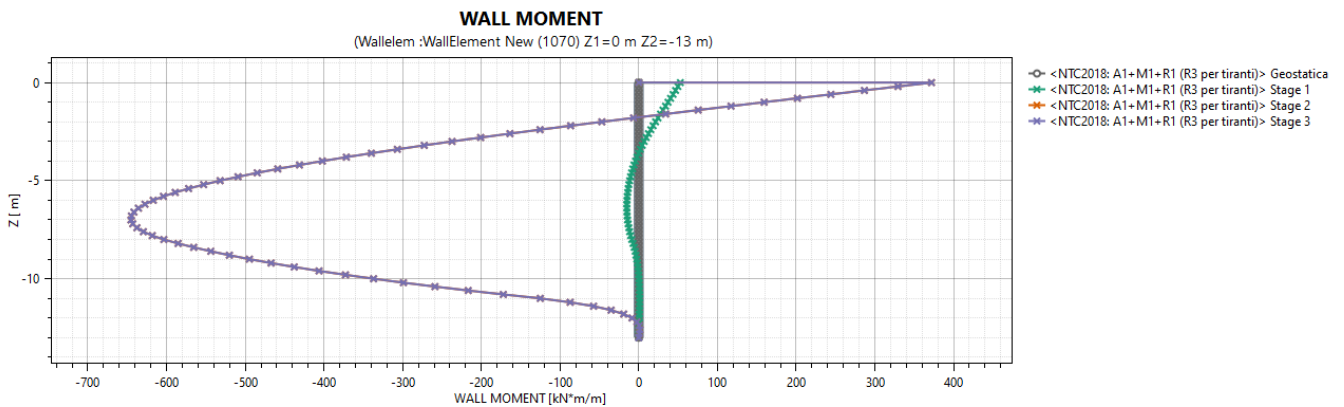


Figura 11 Andamento del momento flettente e taglio della diaframma sx in condizioni SLU e SLV per i vari fasi di calcolo (sulla condizione con incastro soletta superiore, %100)



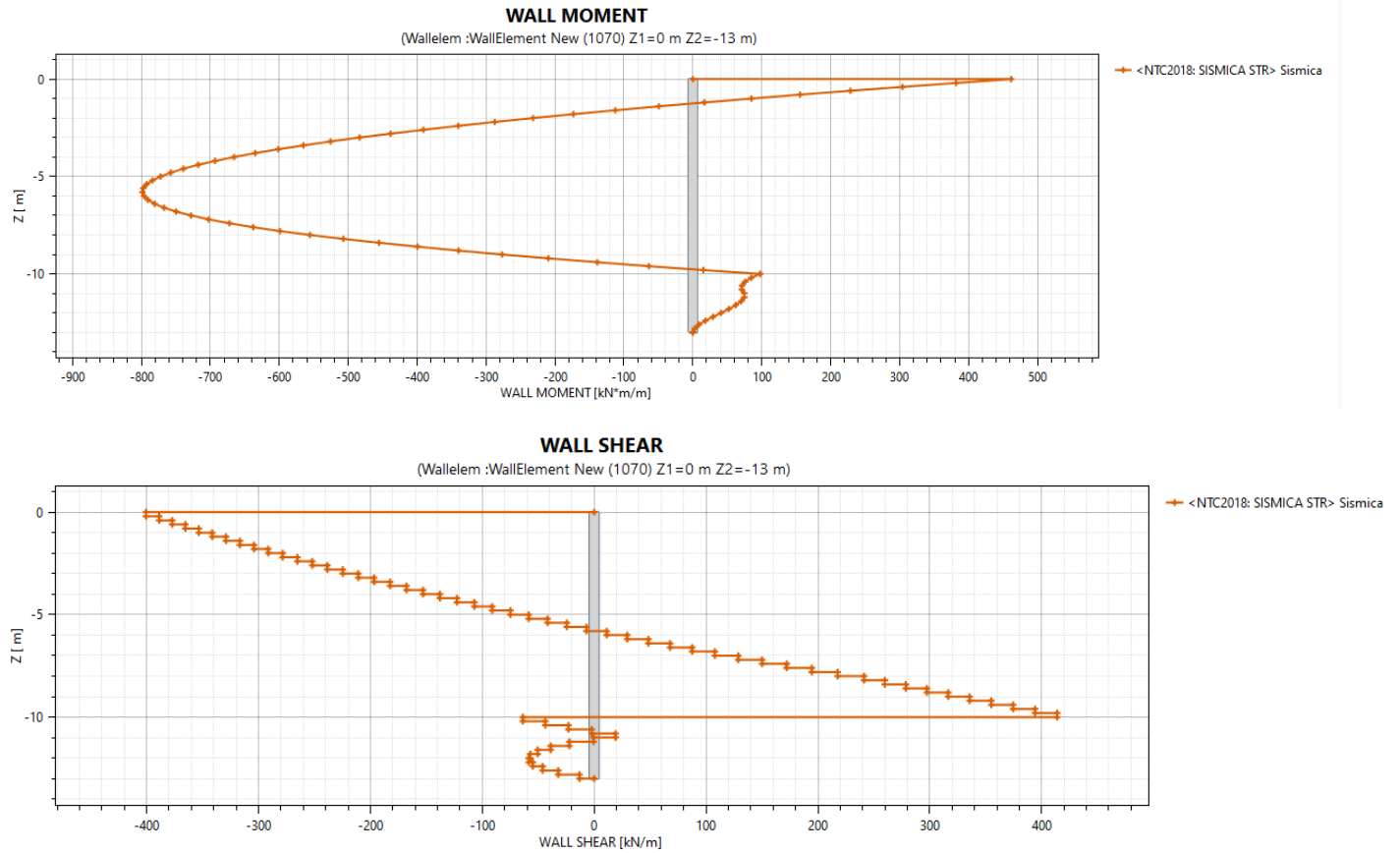
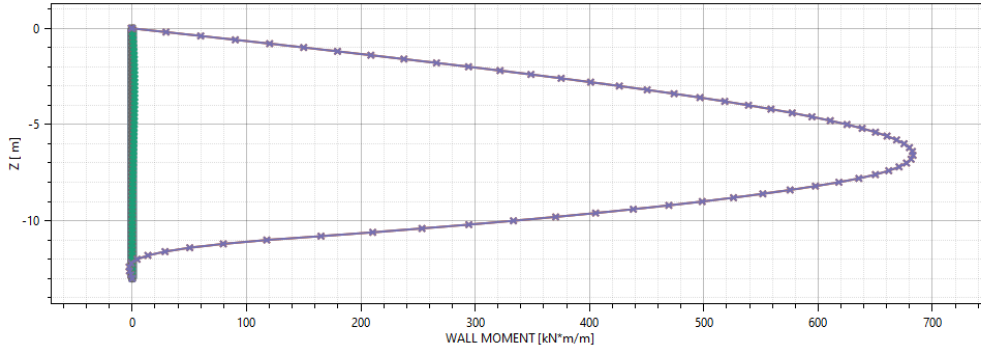


Figura 12 Andamento del momento flettente e taglio della diaframma dx in condizioni SLU e SLV per i vari fasi di calcolo (sulla condizione con incastro soletta superiore, %100)



**WALL MOMENT**

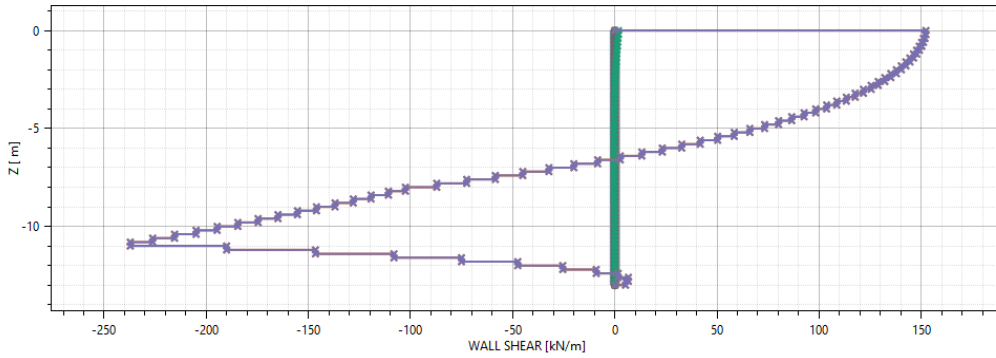
(Wallelem :WallElement (2136) Z1=0 m Z2=-13 m)



- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Geostatica
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 1
- ▲ <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 2
- ◆ <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 3

**WALL SHEAR**

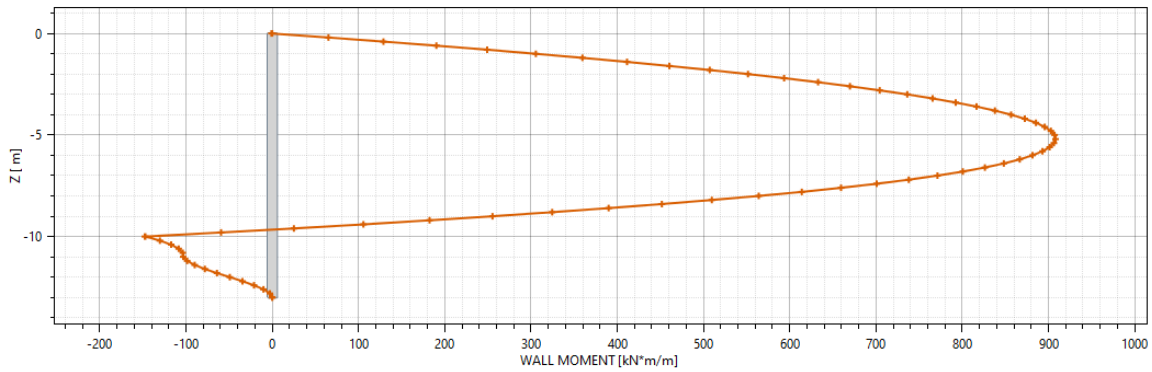
(Wallelem :WallElement (2136) Z1=0 m Z2=-13 m)



- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Geostatica
- <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 1
- ▲ <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 2
- ◆ <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)> Stage 3

**WALL MOMENT**

(Wallelem :WallElement (2136) Z1=0 m Z2=-13 m)



- <NTC2018: SISMICA STR> Sismica



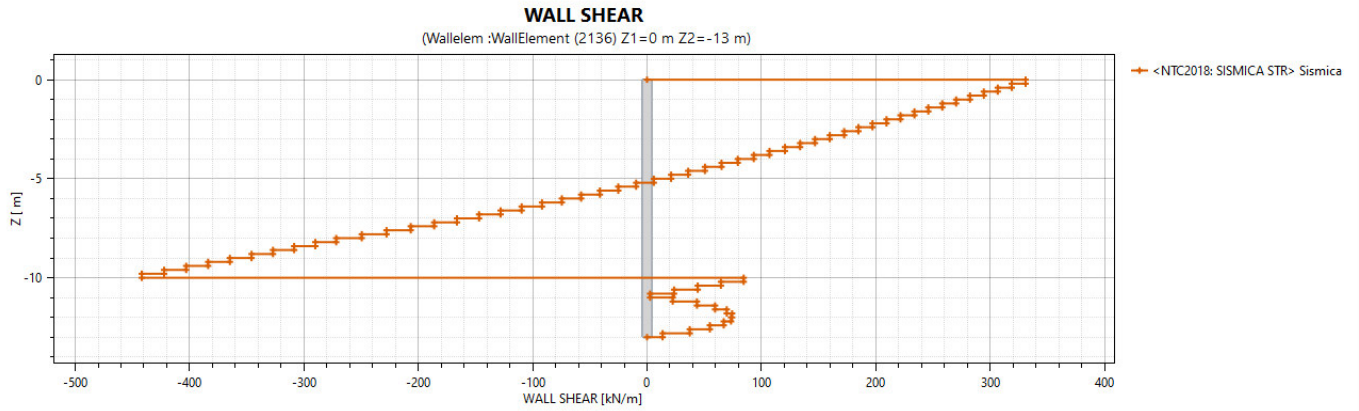
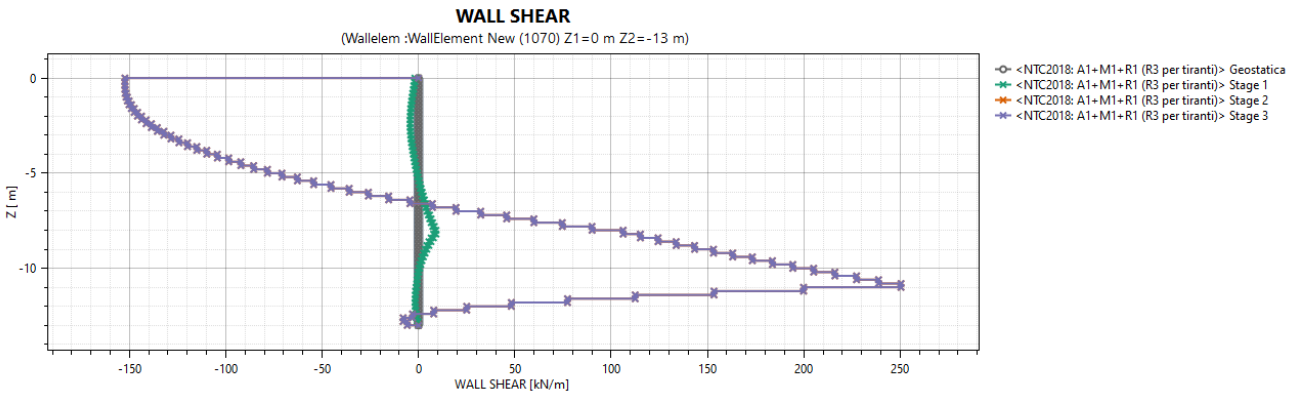
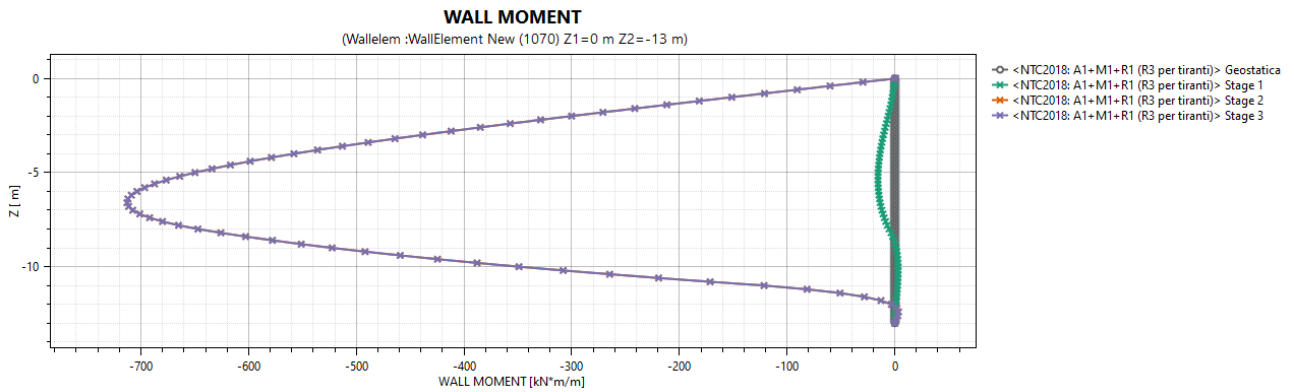


Figura 13 Andamento del momento flettente e taglio della diaframma sx in condizioni SLU e SLV per i vari fasi di calcolo (sulla condizione senza incastro soletta superiore, %0)



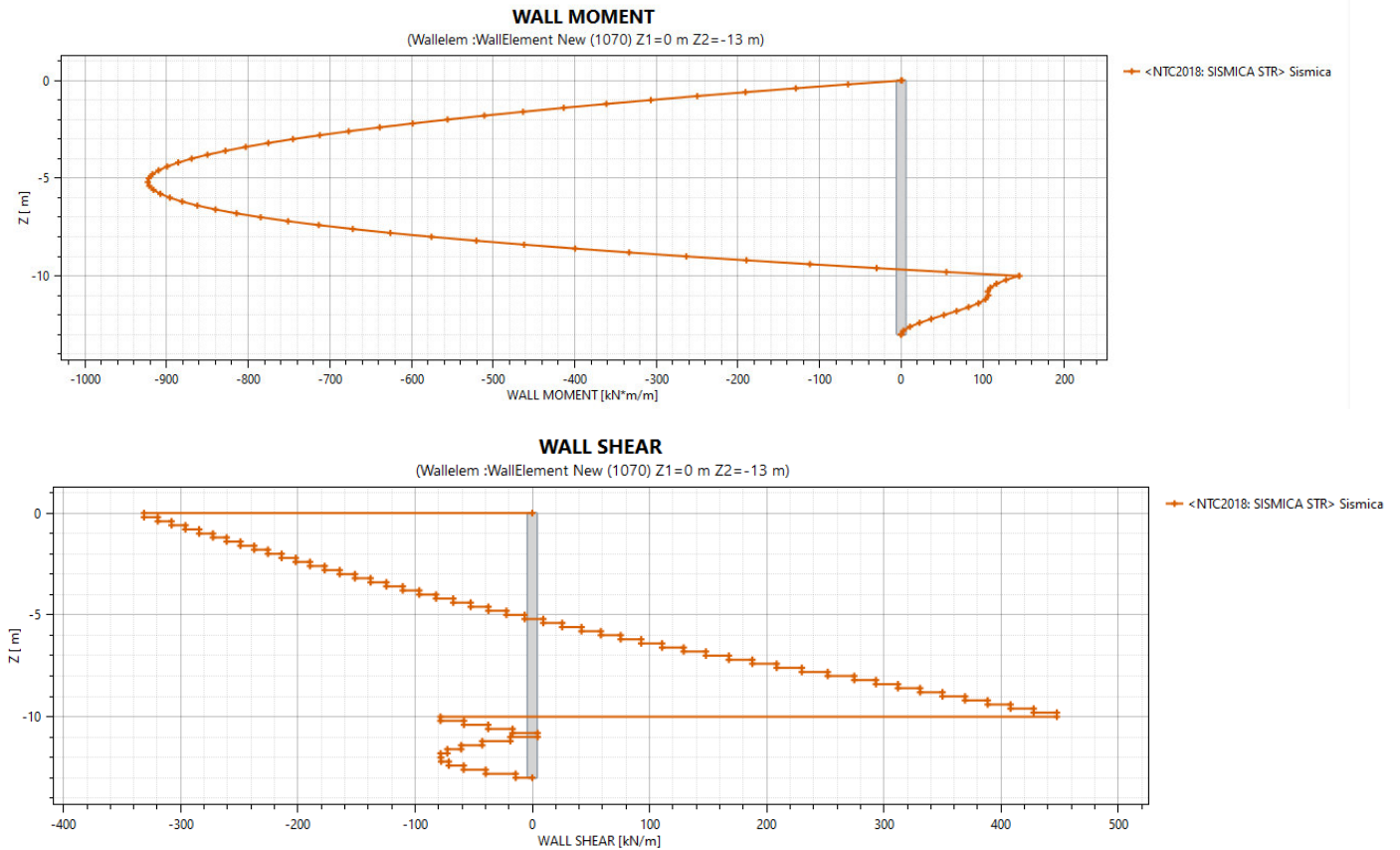


Figura 14 Andamento del momento flettente e taglio della diaframma dx in condizioni SLU e SLV per i vari fasi di calcolo (sulla condizione senza incastro soletta superiore, %0)

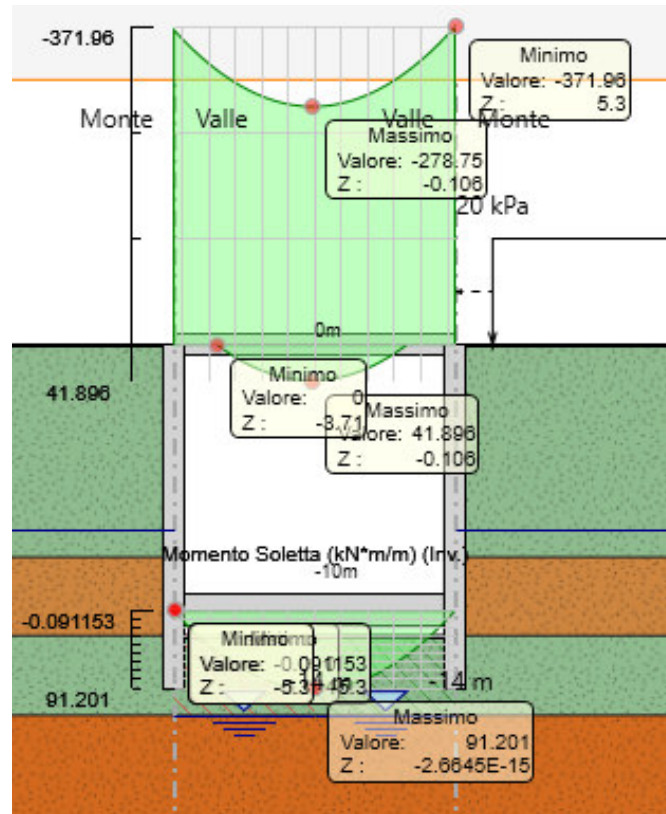


Figura 15 Andamento del momento flettente della soletta superiore in condizione SLU (sulla condizione con incastro soletta superiore).

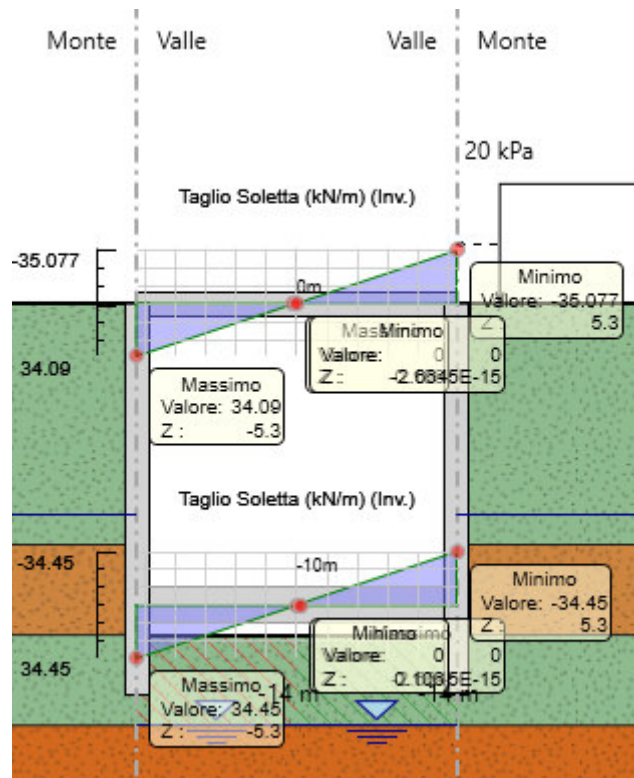


Figura 16 Andamento taglio della soletta superiore in condizione SLU (sulla condizione con incastro soletta superiore).

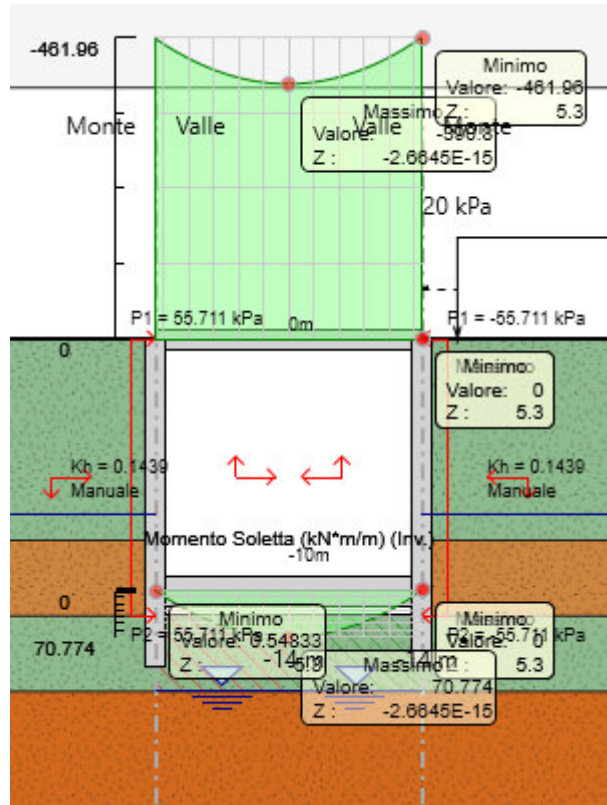


Figura 17 Andamento del momento flettente della soletta superiore in condizione SLV (sulla condizione con incastro soletta superiore).

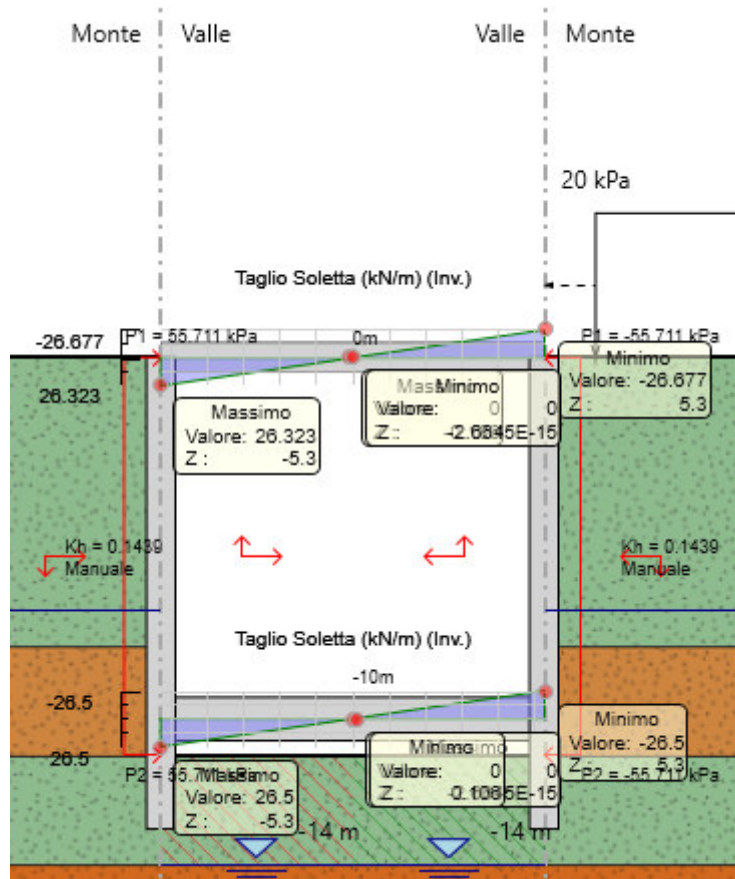


Figura 18 Andamento taglio della soletta superiore in condizione SLV (sulla condizione con incastro soletta superiore).

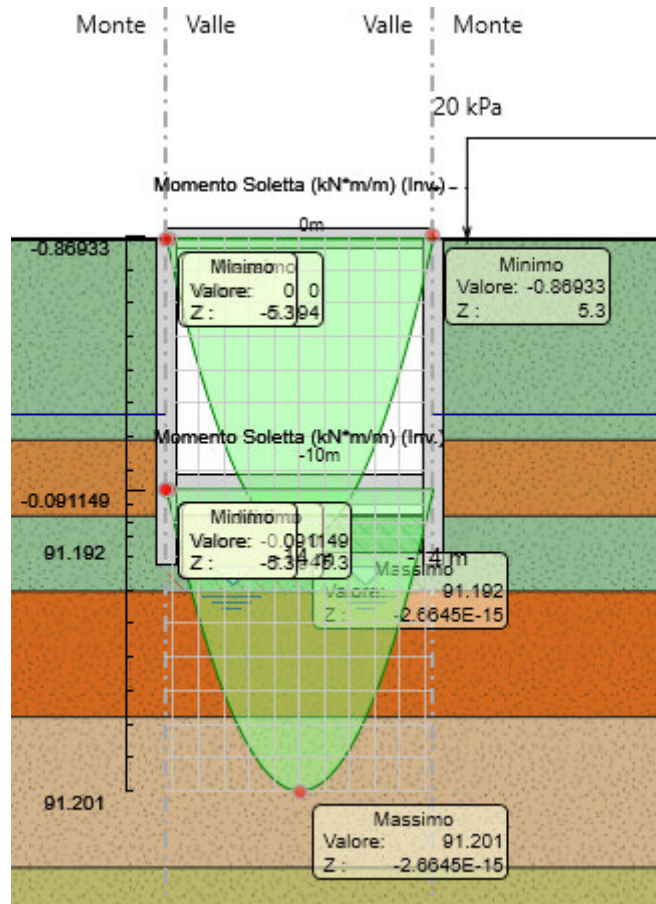


Figura 19 Andamento del momento flettente della soletta superiore in condizione SLU (sulla condizione senza incastro soletta superiore).



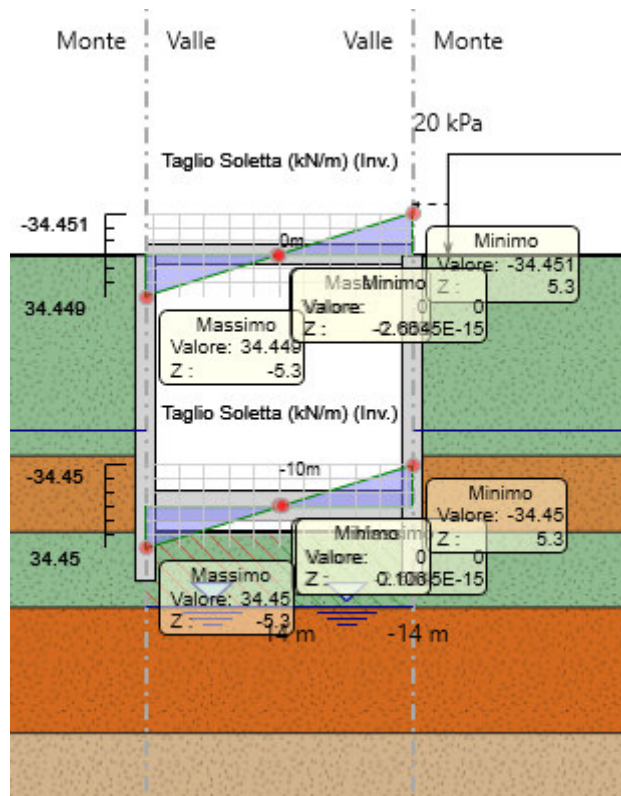


Figura 20 Andamento taglio della soletta superiore in condizione SLU (sulla condizione senza incastro soletta superiore).



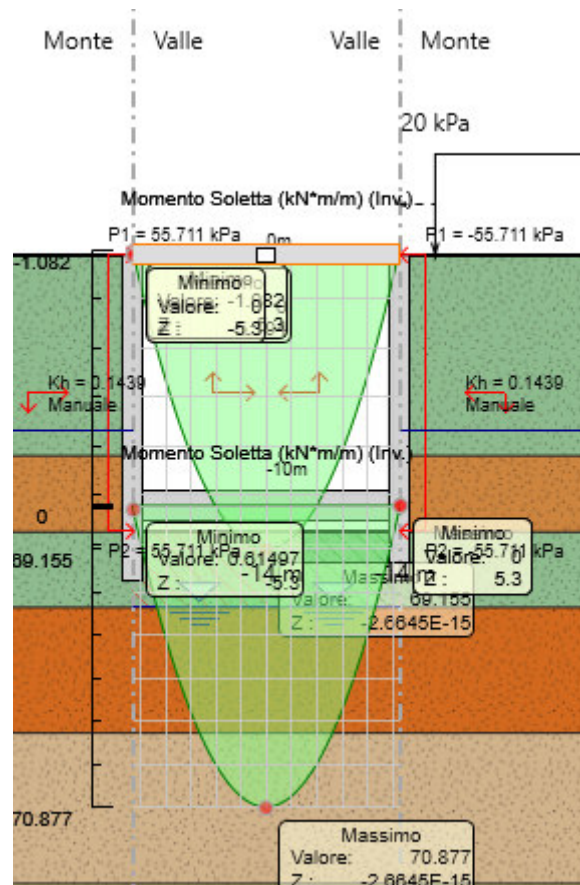


Figura 21 Andamento del momento flettente della soletta superiore in condizione SLV (sulla condizione senza incastro soletta superiore).

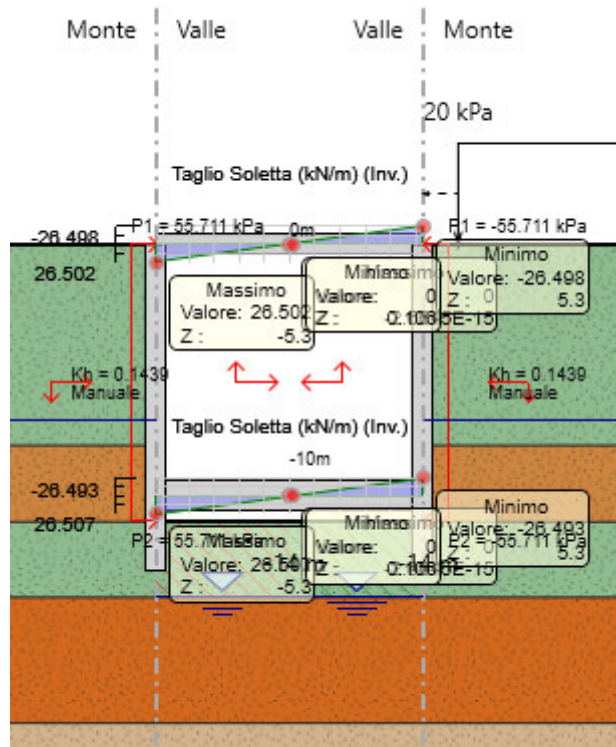


Figura 22 Andamento taglio della soletta superiore in condizione SLV (sulla condizione senza incastro soletta superiore).

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

51 di 98

### 13.3.2 VERIFICHE STRUTTURALI

#### 14 Diaframmi

Le figure seguenti mostrano rispettivamente il momento, la forza di taglio e la forza assiale estratti dalla fase di calcolo più critica per le condizioni sia con che senza soletta incastrata e diaframma.

Elemento	SLU			SLV			SLE		
	Nmax	Mmax	Vmax	Nmax	Mmax	Vmax	Nmax	Mmax	Vmax
<b>Diaframmi</b>	34,45	712,89	250,42	26,50	922,92	447,56	26,50	544,68	191,17

Per i solettoni sono state adottate delle armature con una fila 15Ø20 (B450C), cautelativamente sia in zona tesa che compressa. Con i valori di sezione e armatura proposti, la struttura risulta verificata agli SLU sismici, SLU statici, fessurazione.

**DIAFRAMMI**
**INPUT**
**SOLLECITAZIONI DI VERIFICA**

Combinazione	N <sub>Sd</sub> [kN]	M <sub>Sd</sub> [kNm]	V <sub>Sd</sub> [kN]
SLE Quasi Permanente	-26,5	544,7	191,17
SLE Frequente	-26,5	544,7	191,17
SLE Rara	-26,5	544,7	191,17
SLU	-34,5	712,9	250
SLV	-26,5	922,9	448

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.**

Geometria della sezione			
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	100	
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	80	
Altezza utile della sezione	d [cm]	72	
Area di calcestruzzo	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	8000	

Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	6,67	6,67	0
Diametro	φ [mm]	20	20	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	8,0	8,0	0,0
Area strato	As [cm <sup>2</sup> ]	20,94	20,94	0,00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0,582%		

Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	6,7	6,667	0
Diametro	φ [mm]	20	20	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	8,0	8,0	0,0
Area strato	As' [cm <sup>2</sup> ]	20,94	20,94	0,00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0,582%		

Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Numero bracci	n <sub>bi</sub>	3,333	5	0
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	30	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A <sub>sw</sub> /s <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	8,73	0,00	0,00

**CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI**

Concrete		
Resistenza cubica a compressione	RCK	35
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub> [Mpa]	28,00
Resistenza cilindrica media a compressione	f <sub>cm</sub> [Mpa]	36,00
Resistenza media a trazione per flessione	f <sub>ctm</sub> [Mpa]	2,77
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f <sub>ctk</sub> [Mpa]	1,94
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub> [Mpa]	15,87
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f <sub>cd</sub> [Mpa]	8,45
Acciaio		
Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> [Mpa]	391,30

**OUTPUT**
**VERIFICHE IN ESERCIZIO**

Verifica Tensionale		σ limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ <sub>c</sub> [Mpa] = 5,75	12,600
Calcestruzzo SLE Rara	σ <sub>c</sub> [Mpa] = 5,75	15,400
Acciaio SLE Rara	σ <sub>s</sub> [Mpa] = 198,32	337,500
Verifica di fessurazione		w limit
Combinazione SLE Quasi permanente	w <sub>d</sub> [mm] = 0,258	0,300
Combinazione SLE Frequente	w <sub>d</sub> [mm] = 0,232	0,300

**VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO**

Sollecitazioni di progetto	
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V <sub>Sd</sub> [kN] 447,6
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N <sub>Sd</sub> [kN] -26,5

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V <sub>Rd1</sub> [kN] 867,15
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Sd</sub> 1,94

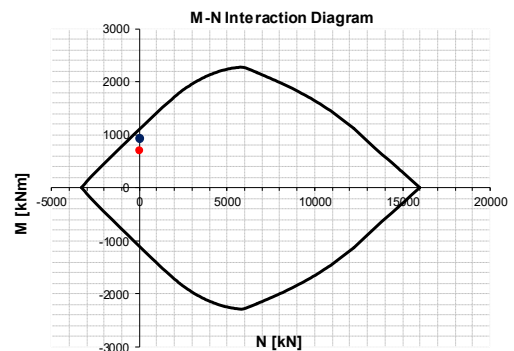
Verifica di resistenza dell'armatura specifica	
CoTan(θ) di progetto	cotan(θ) 2,5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V <sub>Rd2</sub> (θ) [kN] 1893
Resistenza a taglio dell'armatura	V <sub>Rd3</sub> (θ) [kN] 553
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd</sub> [kN] 553
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Sd</sub> 1,24

**VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE**

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M <sub>Sd</sub> [kNm]	712,9	922,9
Sforzo Normale concomitante	N <sub>Sd</sub> [kN]	-34,5	-26,5

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M <sub>Rd</sub> [kNm]	1109,2	1106,7
Coefficiente di sicurezza	M <sub>Rd</sub> /M <sub>Sd</sub>	1,56	1,20

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N <sub>Rd</sub> [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N <sub>Rd</sub> /N <sub>Sd</sub>	-	-



**RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA-  
LA SPEZIA****TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

53 di 98

**15 Soletta Superiore**

I valori massimi delle sollecitazioni la soletta superiore, sono:

Elemento	SLU			SLV			SLE		
	Nmax	Mmax	Vmax	Nmax	Mmax	Vmax	Nmax	Mmax	Vmax
<b>Soletta Superiore</b>	234,65	371,96	35,08	413,91	461,96	26,68	179,08	284,83	26,91

Per i solettoni sono state adottate delle armature con una fila 15Ø20 (B450C), cautelativamente sia in zona tesa che compressa. Con i valori di sezione e armatura proposti, la struttura risulta verificata agli SLU sismici, SLU statici, fessurazione.

**SOLETTA SUPERIORE**
**INPUT**
**SOLLECITAZIONI DI VERIFICA**

Combinazione	N <sub>Sd</sub> [kN]	M <sub>Sd</sub> [kNm]	V <sub>Sd</sub> [kN]
SLE Quasi Permanente	-179,1	284,8	26,91
SLE Frequente	-179,1	284,8	26,91
SLE Rara	-179,1	284,8	26,91
SLU	-234,7	372,0	35
SLV	-413,9	462,0	27

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.**

Geometria della sezione	
Base (ortogonale al Taglio)	B [cm] 100
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm] 80
Altezza utile della sezione	d [cm] 72
Area di calcestruzzo	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ] 8000

Armatura longitudinale tesa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n 6,67	0,00	0
Diametro	φ [mm] 20	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm] 8,0	0,0	0,0
Area strato	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ] 20,94	0,00	0,00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0,242%	

Armatura longitudinale compressa	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
Numero Barre	n 6,7	0	0
Diametro	φ [mm] 20	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm] 8,0	0,0	0,0
Area strato	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ] 20,94	0,00	0,00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0,291%	

Armatura trasversale	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO
Diametro	φ [mm] 10	0	0
Numero bracci	n <sub>bi</sub> 1,666667	0	0
Passo	s <sub>w</sub> [cm] 60	0	0
Inclinazione	α [deg] 90	90	90
Area armatura a metro	A <sub>sw</sub> /s <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m] 2,18	0,00	0,00

**CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI**

Concrete	
Resistenza cubica a compressione	RCK 35
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub> [Mpa] 28,00
Resistenza cilindrica media a compressione	f <sub>cm</sub> [Mpa] 36,00
Resistenza media a trazione per flessione	f <sub>ctm</sub> [Mpa] 2,77
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f <sub>ctk</sub> [Mpa] 1,94
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub> [Mpa] 15,87
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f <sub>cd'</sub> [Mpa] 8,45

Acciaio	
Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> [Mpa] 391,30

**OUTPUT**
**VERIFICHE IN ESERCIZIO**

Verifica Tensionale	σ <sub>c</sub> [Mpa]	σ <sub>s</sub> [Mpa]	σ <sub>limit</sub>
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	4,35		12,600
Calcestruzzo SLE Rara	4,35		15,400
Acciaio SLE Rara		165,72	337,500

Verifica di fessurazione	w <sub>d</sub> [mm]	w <sub>limit</sub>
Combinazione SLE Quasi permanente	0,000	0,300
Combinazione SLE Frequente	0,000	0,300

**VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO**

Sollecitazioni di progetto	
Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V <sub>Sd</sub> [kN] 35,1
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N <sub>Sd</sub> [kN] -234,7

Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica	
Resistenza di progetto senza armatura specifica	V <sub>Rd1</sub> [kN] 895,25
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Sd</sub> 2,52

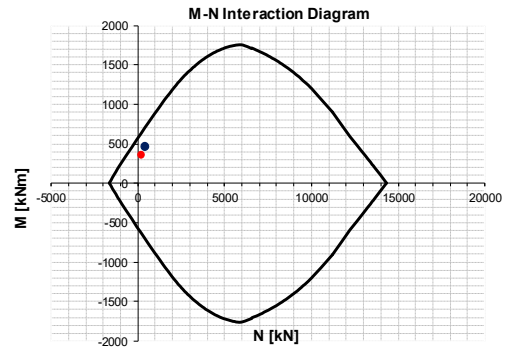
Verifica di resistenza dell'armatura specifica	
CoTan(θ) di progetto	cotang(θ) 2,5
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V <sub>Rd2</sub> (θ) [kN] 1924
Resistenza a taglio dell'armatura	V <sub>Rd3</sub> (θ) [kN] 138
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Sd</sub> [kN] 138
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Sd</sub> 3,94

**VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE**

Sollecitazioni di progetto		SLU	SLV
Momento sollecitante	M <sub>Sd</sub> [kNm]	372,0	462,0
Sforzo Normale concomitante	N <sub>Sd</sub> [kN]	-234,7	-413,9

Verifica di resistenza in termini di momento		SLU	SLV
Momento resistente	M <sub>Rd</sub> [kNm]	647,6	705,9
Coefficiente di sicurezza	M <sub>Rd</sub> /M <sub>Sd</sub>	1,74	1,53

Verifica di resistenza in termini di sforzo normale		SLU	SLV
Sforzo normale resistente	N <sub>Rd</sub> [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N <sub>Rd</sub> /N <sub>Sd</sub>	-	-



### 15.1.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

#### SLU-GEO

Per quanto riguarda le verifiche geotecniche SLU (Combinazione A2+M2+R1), la percentuale di spinta passiva mobilitata, pari al 25%, è tale da garantire la stabilità dell'opera alla rototraslazione.

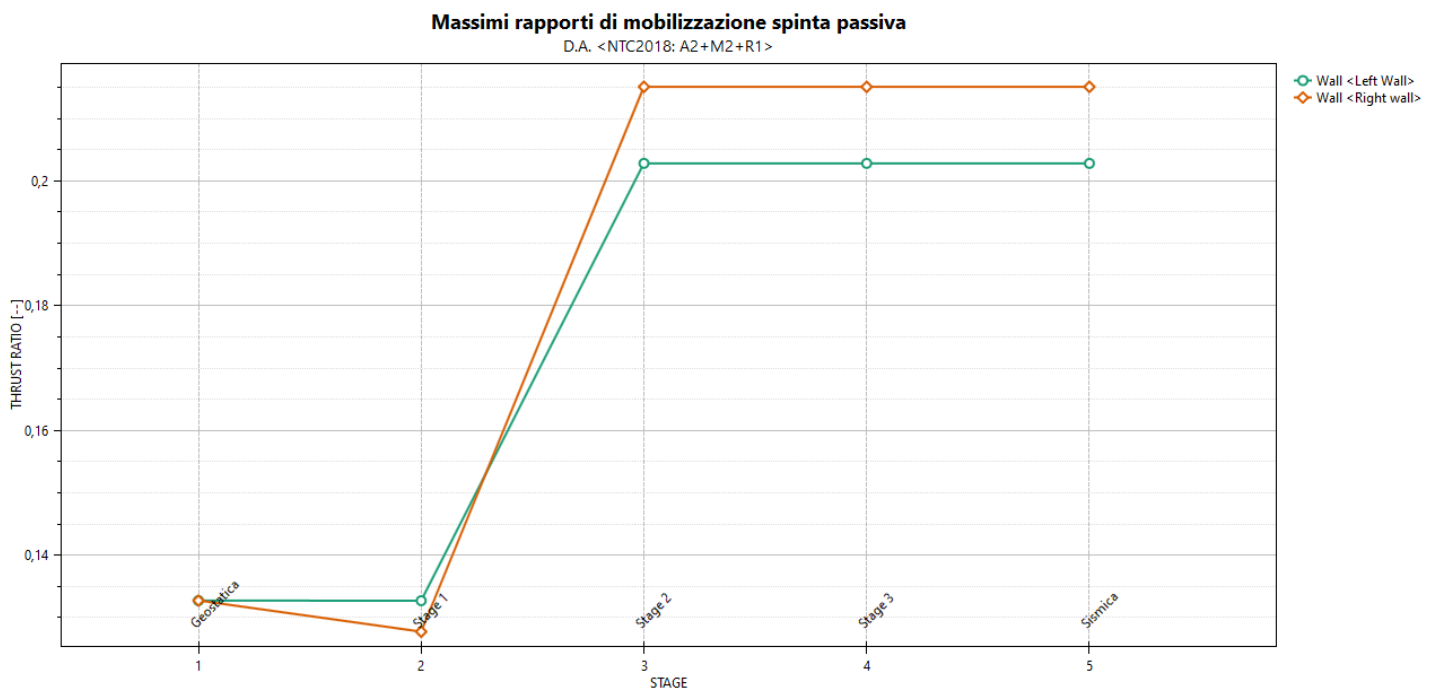


Figura 23 Rapporto di mobilitazione della spinta passiva.

### SLE

Nel rispetto dei principi di funzionalità dell'opera, è necessario eseguire anche la verifica nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE). A tal fine si controlla che gli spostamenti subiti dalla paratia siano tollerabili e compatibili con le prestazioni attese nelle condizioni di regolare esercizio.

Come evidenziato in Figura sotto, gli spostamenti laterali sono di entità tale (valore massimo pari a c.a. 5,56mm) da non indurre problematiche di funzionalità della struttura stessa e delle costruzioni adiacenti nei confronti degli SLE.

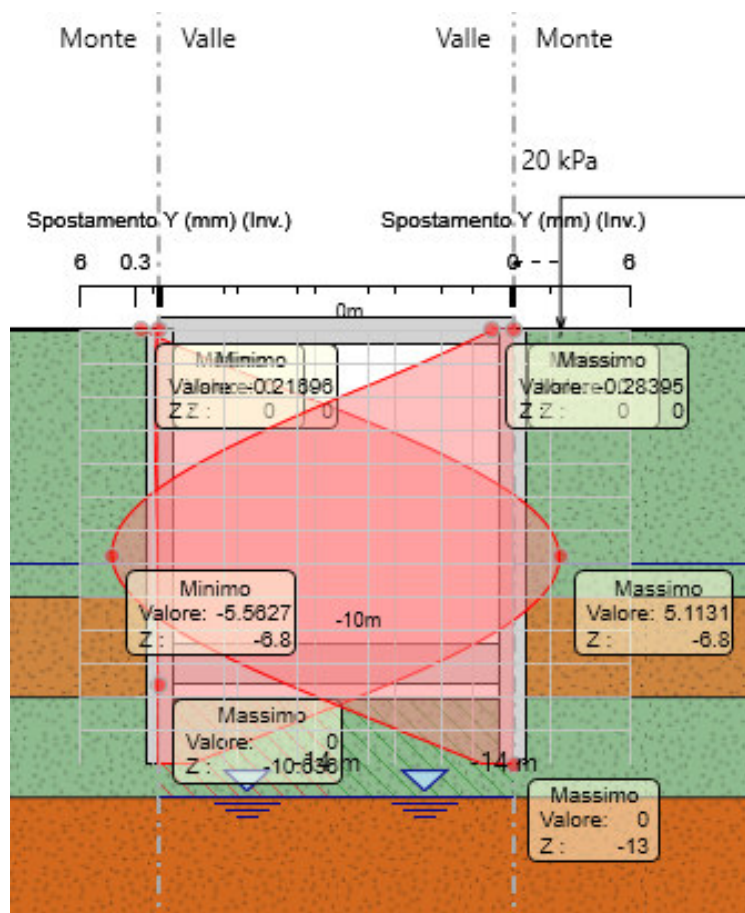


Figura 24 Inviluppo spostamenti SLE.



	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 16 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 16.1 Normativa di riferimento

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono effettuate in accordo con le prescrizioni di seguito elencate e conformi alle normative vigenti:

- ✓ Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni»
- ✓ Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 11 febbraio 2019, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- ✓ Manuale di progettazione RFI Opere Civili RFI DTC SIM AI FS 001 E e relative parti e sezioni.
- ✓ Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- ✓ 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
- ✓ UNI EN 1998-1:2013 – Strutture in zone sismiche – parte 1: generale ed edifici.
- ✓ UNI EN 1998-2:2011 – Strutture in zone sismiche –parte 2: ponti.
- ✓ UNI EN 1992-1-1: EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

58 di 98

## CARATTERISTICHE MATERIALI

### 16.2 Calcestruzzo

#### 16.2.1 Magrone

Classe di resistenza = C12/15

#### 16.2.2 Calcestruzzo per soletta di fondazione, piedritti e soletta di copertura

 $\gamma_c = \text{peso specifico} = 25.00 \text{ kN/m}^3$ 

Classe di resistenza = C30/37

 $R_{ck} = \text{resistenza cubica} = 37.00 \text{ N/mm}^2$ 
 $f_{ck} = \text{resistenza cilindrica caratteristica} = 0.83 R_{ck} = 30.0 \text{ N/mm}^2$ 
 $f_{cm} = \text{resistenza cilindrica media} = f_{ck} + 8 = 38.0 \text{ N/mm}^2$ 
 $f_{cd} = \text{resistenza di calcolo a compressione} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0.85 * 30 / 1.5 = 17.0 \text{ N/mm}^2$ 
 $f_{ctm} = \text{resistenza a trazione media} = 0.30 * f_{ck}^{(2/3)} = 2.90 \text{ N/mm}^2$ 
 $f_{ctm} = \text{resistenza a traz. per flessione media} = 1.20 * f_{ctm} = 3.63 \text{ N/mm}^2$ 
 $f_{ctk} = \text{resistenza a traz. per flessione caratt.} = 0.70 * f_{ctm} = 2.12 \text{ N/mm}^2$ 
 $E_{cm} = \text{modulo elast. tra 0 e } 0.40f_{cm} = 22000 * (f_{cm}/10)^{0.3} = 33345 \text{ N/mm}^2$ 
 $\sigma_c = \text{Resistenza a compressione (Comb. Rara)} = 0.55 * f_{ck} = 16,5 \text{ N/mm}^2$ 
 $\sigma_c = \text{Resistenza a compressione (Comb. Quasi Permanente)} = 0.45 * f_{ck} = 13.5 \text{ N/mm}^2$

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA

IP00

LOTTO

00

CODIFICA

D26CL

DOCUMENTO

IN 72 00 001

REV.

B

FOGLIO

59 di 98

## 16.3 Acciaio

### 16.3.1 Acciaio di armatura per c.a.

Tipo = B 450 C

$\gamma_a$  = peso specifico = 78.50 kN/m<sup>3</sup>

$f_{y\ nom}$  = tensione nominale di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{t\ nom}$  = tensione nominale di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$f_{y\ k\ min}$  = minima tensione caratteristica di snervamento = 450 N/mm<sup>2</sup>

$f_{t\ k\ min}$  = minima tensione caratteristica di rottura = 540 N/mm<sup>2</sup>

$(f_t/f_y)_{k\ min}$  = minimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.15

$(f_t/f_y)_{k\ max}$  = massimo rapporto tra i valori caratteristici = 1.35

$(f_y/f_{y\ nom})_k$  = massimo rapporto tra i valori nominali = 1.25

$(A_{gt})_k$  = allungamento caratteristico sotto carico massimo = 7.5 %

$\varphi_{\ min}$  = minimo diametro consentito delle barre = 6 mm

$\varphi_{\ max}$  = massimo diametro consentito delle barre = 40 mm

E = modulo di elasticità dell'acciaio = 206000 N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_T$  = coefficiente di dilatazione termica = 0.00001 °C<sup>-1</sup>

$\sigma_a$  = Resistenza a tensione (Comb. Rara) = 0.75 \*  $f_{yk}$  = 337,5 N/mm<sup>2</sup>

## 17 MODELLO DI CALCOLO

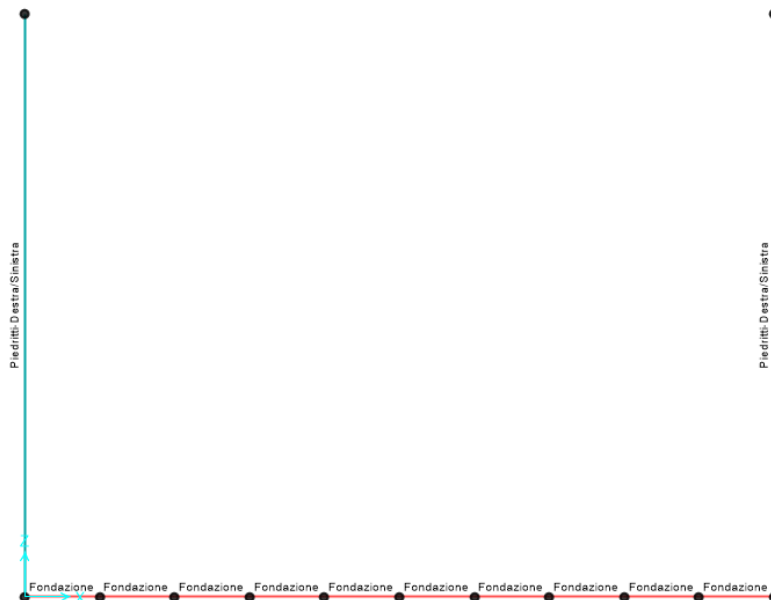
La struttura viene schematizzata con un modello di calcolo a telaio chiuso su un letto di molle alla Winkler mediante un'analisi elastico-lineare svolta con il programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000 v.20.1 (Computers and Structures®). Gli elementi frame che schematizzano il telaio piano hanno una sezione rettangolare di larghezza 1.0m ed altezza pari a:

- piedritti destra / sinistra / media  $h = 0.4 \text{ m}$
- fondazione  $h = 1.0 \text{ m}$

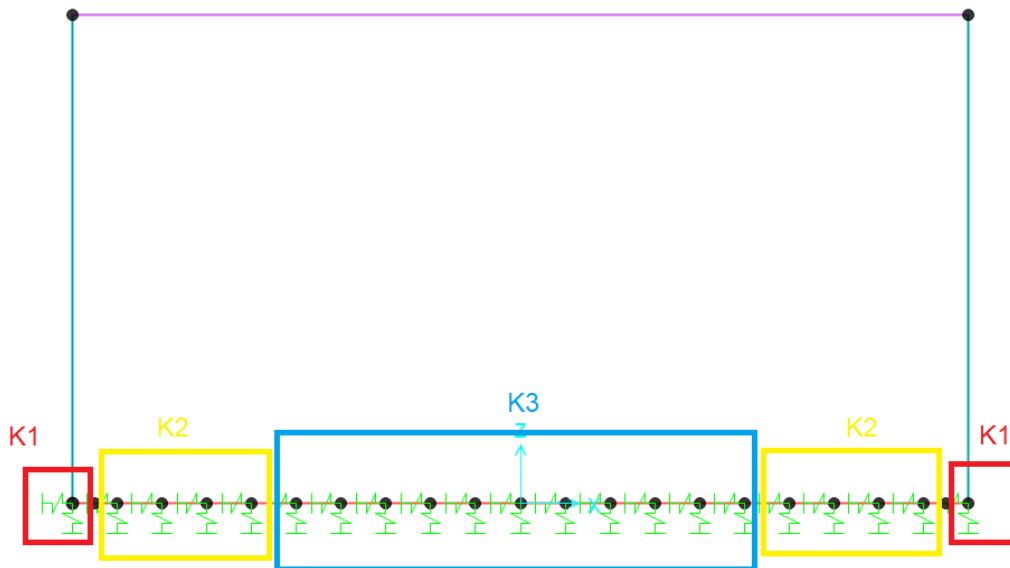
Il modulo elastico del materiale assegnato agli elementi asta è assunto:

- Struttura in elevazione  $E = 33346 \text{ N/mm}^2$  :  $\text{cls Rck} = 37\text{N/mm}^2$

Nelle successive figure si riporta lo schema di calcolo adottato con la numerazione dei nodi (Figura 4) .



**Fig. 7 – Modellazione unifilare dello scatolare**



**Fig. 8 – Vincoli alla base del modello di calcolo -tipico-**

La fondazione è appoggiata su un insieme di molle elastiche che simulano la risposta del terreno di fondazione sottostante (molle alla Winkler calibrate sul modello geotecnico del terreno).

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

62 di 98

Per la modellazione del terreno si considera la trave su suolo elastico, modellata con l'utilizzo di molle alla Winkler, aventi la seguente rigidezza (Vesic, 1965):

Per cui risulta:

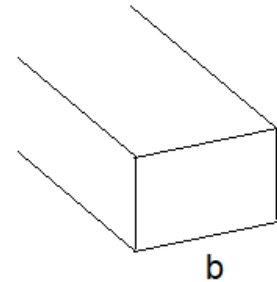
$$K = \frac{0.65E}{1-\nu^2} \sqrt[12]{\frac{Eb^4}{(EJ)_{fond}}}$$

E= 50000 kN/mq

modulo elastico del terreno

ν= 0.3

coeff. di Poisson


**trave di fondazione**

b= 1.00 m

dimensione trasversale trave

h= 1.00 m

altezza trave

 J= 0.083333 m<sup>4</sup>

inerzia trave

Rck= 37 Mpa

Ec= 34671746 kN/mq

modulo di elasticità cls

**K= 25470 kN/mc**

modulo di reazione lineare sulla trave

i =	1.00m			
hpiedritti=	0.40m	Kv	Kh	
K3	3534 x 1.00 =	25470	8490	kN/m
K1-S	2*3534 *(0.5/2 +1.0/2) =	35658	11886	kN/m
K1-D	2*3534 *(0.5/2 +1.0/2) =	35658	11886	kN/m
K2	1.5*K3 =	38205	12735	kN/m

**Tabella 7 – Calcolo della rigidezza di fondazione**

## 18 ANALISI DEI CARICHI

### 18.1 Peso proprio (PP)

Il peso proprio è stato considerato ponendo il peso per unità di volume del calcestruzzo armato pari a  $\gamma = 25.0$  kN/m<sup>3</sup>.

### 18.2 Sovraccarico permanente (PERM)

Sul solettone si considera uno spessore medio del massetto delle pendenze  $s_b = 0.25$ m con peso per unità di volume  $\gamma_b = 24.00$ kN/m<sup>3</sup>

$$G2_{\text{sov.perm.}} = 0.25\text{m} \times 24.00\text{kN/m}^3 = 6.00 \text{ kN/m}^2$$

Frame Span Loads (G2\_Sovraccarico permanente) (GLOBAL CSys)

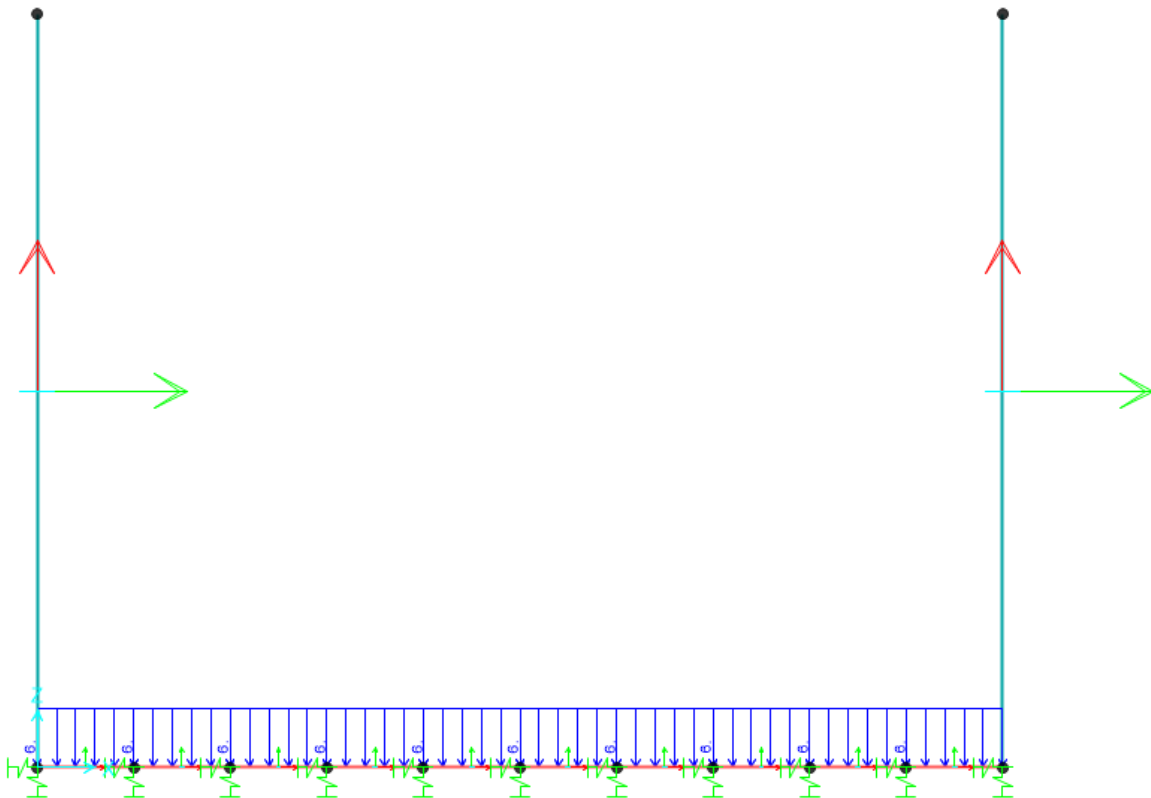


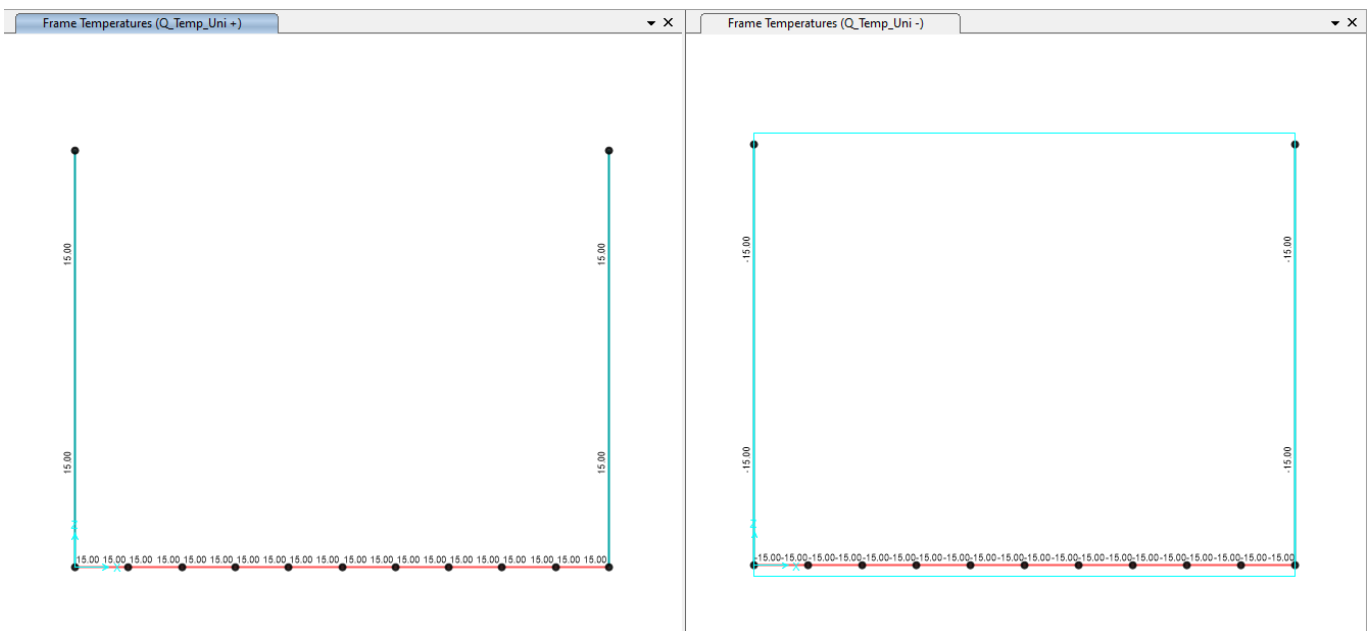
Fig. 9 – Sovraccarico permanente

PROGETTO DEFINITIVO  
RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	64 di 98

### 18.2.1 Azioni termiche uniformi (TU)

Si considera una variazione termica uniforme  $\Delta T = 15.0^{\circ}\text{C}$  sugli elementi della struttura in elevazione, adottando per il coefficiente di dilatazione termica un valore  $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ .



**Fig. 10 – Q\_Temp\_Uni +/-: Forza termiche uniformi**





RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA-  
LA SPEZIA

TRATTA PARMA - VICOFERTILE

PROGETTO DEFINITIVO  
RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	65 di 98

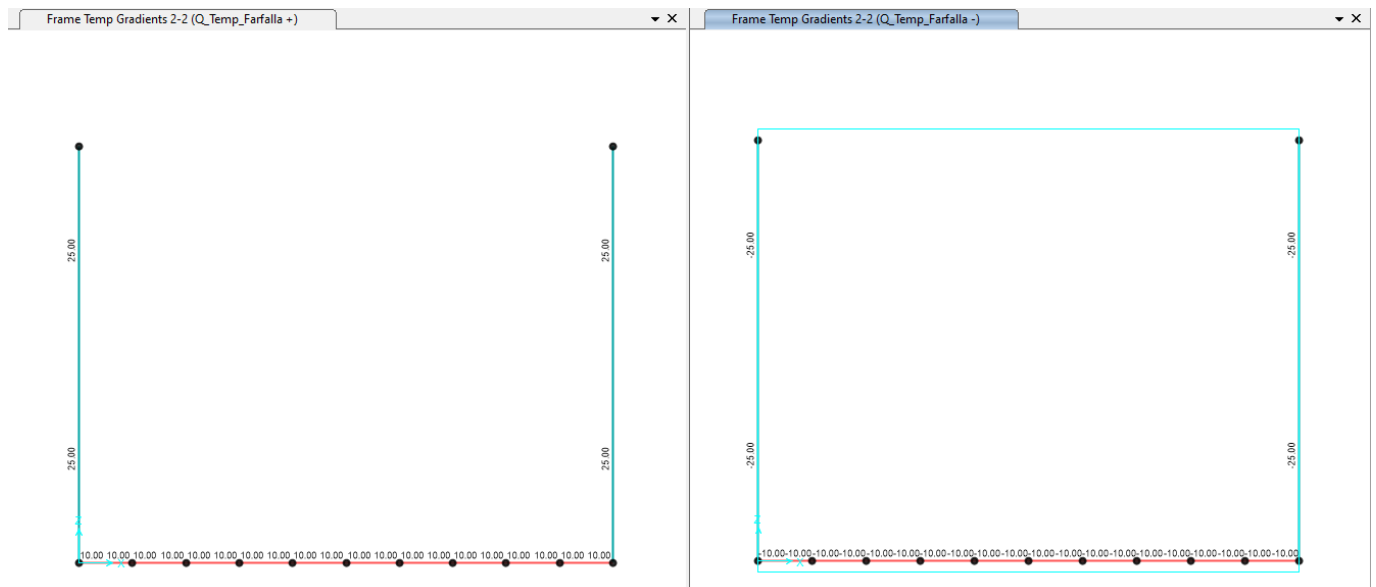
18.2.2 Azioni termiche differenziali (TF)

Si considera una variazione termica differenziale  $\Delta T = 5.0^{\circ}\text{C}$  su tutti gli elementi della struttura in elevazione, adottando per il coefficiente di dilatazione termica un valore  $\alpha = 10 \times 10^{-6}$ .

Q\_Temp\_Farfalla:

Piedritti:  $5.0^{\circ}\text{C} \times 2 / 0.4\text{m} = \pm 25^{\circ}\text{C}$ ;

Fondazione :  $5.0^{\circ}\text{C} \times 2 / 1.0\text{m} = \pm 10^{\circ}\text{C}$



– Q\_Temp\_Farfalla+/-: Forza termiche differenziali

### 18.2.3 Ritiro

Si considera una variazione termica uniforme equivalente  $\Delta T = -9.48^\circ\text{C}$  sulla soletta superiore. Il calcolo viene condotto secondo le indicazioni nell'EUROCODICE 2-UNI EN1992-1-1 Novembre 2005 e D.M.17-01-2018.

Coefficiente di viscosità				
$j(t,t_0)=j_0*\beta_c(t,t_0)$		2.6786		creep coefficient
$j_0=j_{RH}*\beta(f_{cm})*\beta(t_0)=$		2.7236		nominal creep coefficient
$j_{RH}$	1.2314		per $f_{cm}>35$ Mpa	
$j_{RH}$			per $f_{cm}\leq 35$ Mpa	
RH	75	[%]		
$\beta(f_{cm})$	2.7619			
$\beta(t_0)$	0.8008			
$h_0$	943.9461883	[mm]		
$A_c$	10000	[cm <sup>2</sup> ]		
$u$	400	[cm]		
$\beta_c(t,t_0)$	0.9835			
$t$	25550	[days]		
$t_0$	2	[days]		
$t-t_0$	25548	[days]		
$\beta_H$	1871.59		per $f_{cm}>35$ Mpa	
$\beta_H$			per $f_{cm}\leq 35$ Mpa	
$a_1$	0.9618			
$a_2$	0.9889			
$a_3$	0.9726			
$f_{cm}$	37.00	[MPa]		
$f_{ck}$	30.00	[MPa]		
DEFORMAZIONE TOTALE DA RITIRO				
$e_{cs}=e_{cd}+e_{ca}=\$		0.000348751		deformazione totale da ritiro
$e_{cd}=\$		0.000298751		deformazione da ritiro per essiccamento
$e_{ca}=\$		5E-05		deformazione da ritiro autogeno

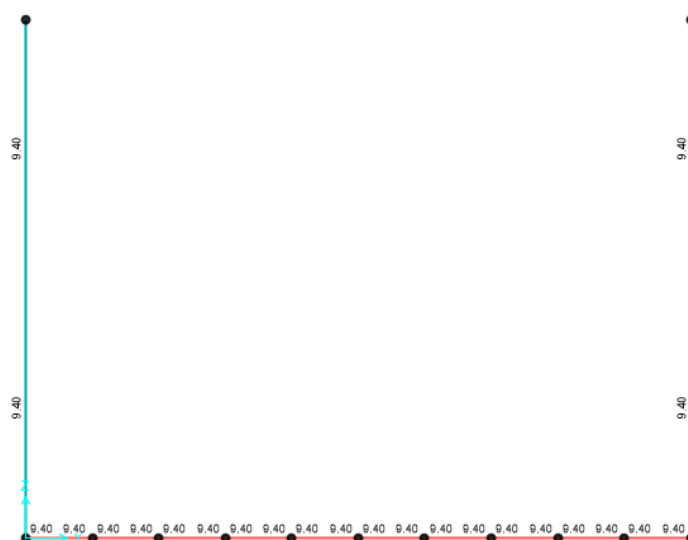
**DEFORMAZIONE DA RITIRO PER ESSICCAMENTO**

$e_{cd\infty} = k_h * e_{cd0}$	0.000312317			
$e_{cd0} =$	0.000446167	appendix B for $e_{cd0}$		
$a_{ds1} =$	6	CLS class R		
$a_{ds2} =$	0.11	CLS class R		
$b_{RH} =$	0.8961			
$RH_0 =$	100	[%]		
$f_{cm0} =$	10	[MPa]		
$b_{ds}(t, ts) =$	0.956565134			
t	25550			
ts	2			

**DEFORMAZIONE DA RITIRO AUTOGENO**

$b_{as}(t) =$	1			
t	25550			
$e_{ca}(\infty) =$	0.00005	coefficiente di dilatazione termica		
$\Delta T_{rit} =$	9.40			

Frame Temperatures (Q\_Ritiro)


**Fig. 11 – Q\_Ritiro**

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

68 di 98

### 18.2.4 G3: Spinta laterale e verticale dell'acqua

L'impatto laterale dell'acqua ( $\gamma=10 \text{ kN/m}^3$ ) nella vasca di sedazione. Il carico orizzontale dell'acqua aumenta con la profondità. Le situazioni più sfavorevoli sono considerate come vuoto e pieno d'acqua.

$$H_w \times \gamma_w = 7.80\text{m} \times 10\text{kN/m}^3 = 78\text{kN/m}^2$$

La spinta verticale dell'acqua è data dal contributo di quella dell'acqua nella scatola ( $\gamma=10 \text{ kN/m}^3$ ).

$$H_w(\text{variabile}) \times \gamma_w = 7.80\text{m} \times 10\text{kN/m}^3 = 78\text{kN/m}^2$$

Frame Span Loads (Q\_acqua) (GLOBAL CSys)

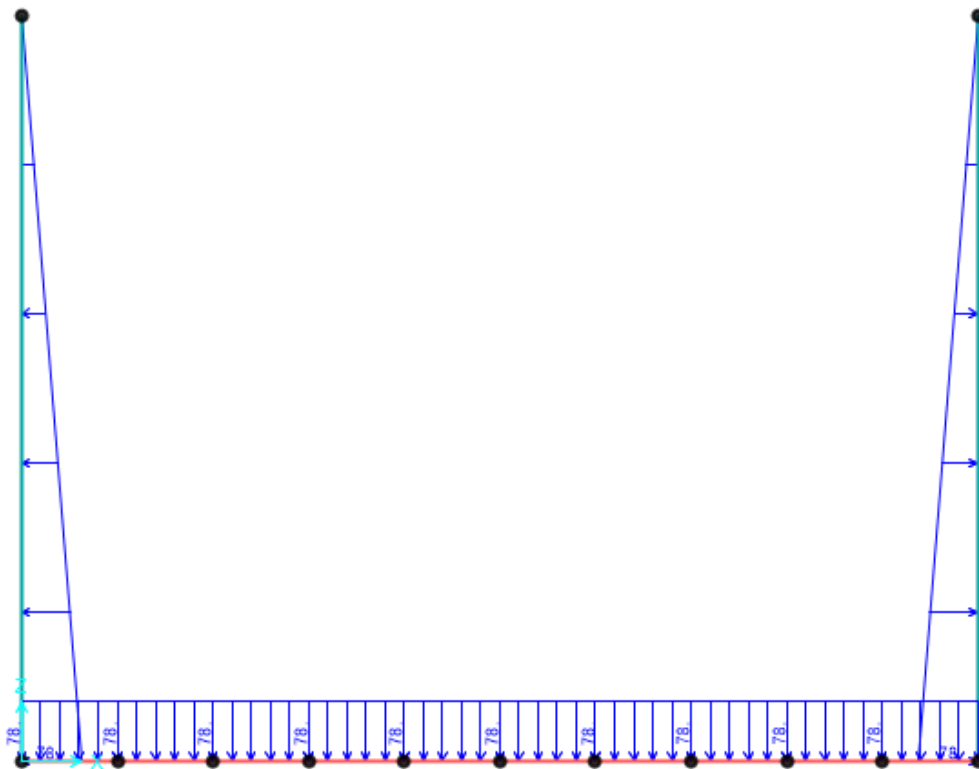


Figura - 1 Q Acqua\_H\_X+-

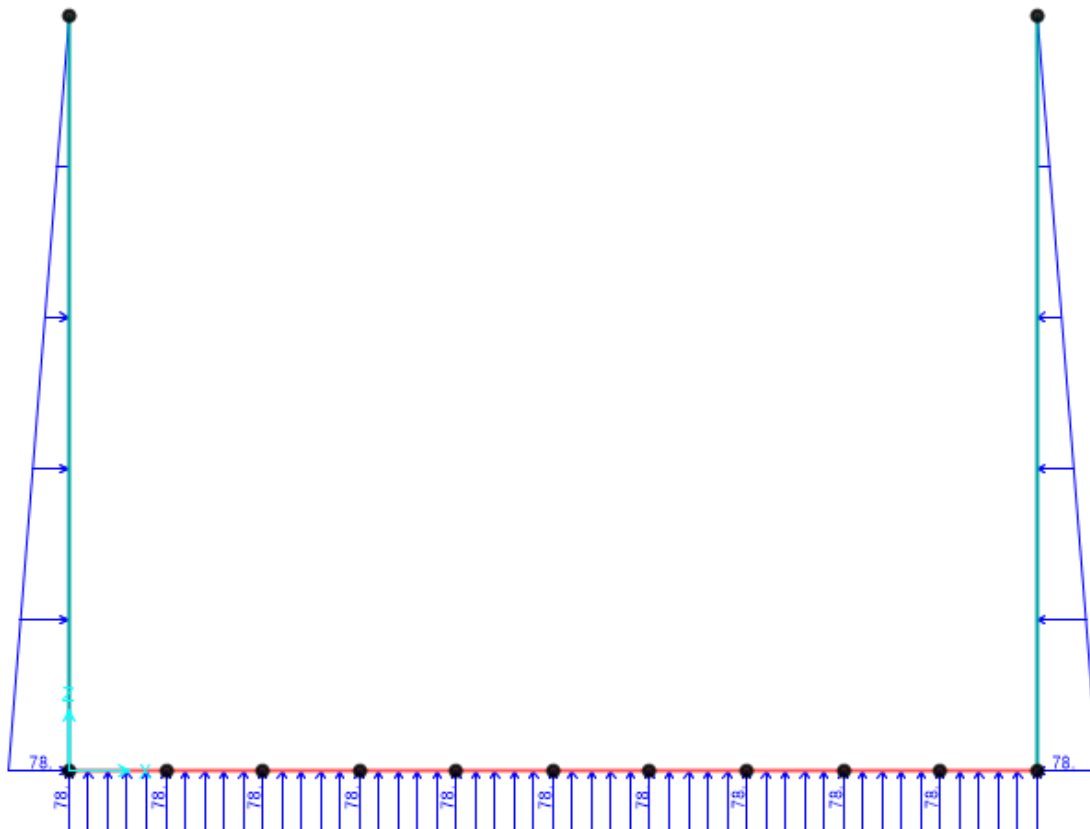
### 18.2.5 $Q_{acqua\_ug}$ Effeti dell'acqua sotterranea

L'impatto laterale dell'acqua ( $\gamma=10 \text{ kN/m}^3$ ) dovuto all'acqua sotterranea. Il carico orizzontale dell'acqua aumenta con la profondità. Le situazioni più sfavorevoli sono considerate come queste.

$$H_w \times \gamma_w = 7.80\text{m} \times 10\text{kN/m}^3 = 78\text{kN/m}^2$$

La spinta verticale dell'acqua è data dal contributo di quella dell'acqua nella scatola ( $\gamma=10 \text{ kN/m}^3$ ).

$$H_w(\text{variabile}) \times \gamma_w = 7.80\text{m} \times 10\text{kN/m}^3 = 78\text{kN/m}^2$$

 Frame Span Loads ( $Q_{acqua\_ug}$ ) (GLOBAL CSys)


**Figura 25**  $Q_{acqua\_ug}$ . effetti dell'acqua sotterranea

### 18.2.6 $Q_{variable}$

Il carico di manutenzione dovrebbe essere preso 0,5 kN/m

$Q_{live}$  : 0,5 kN/m

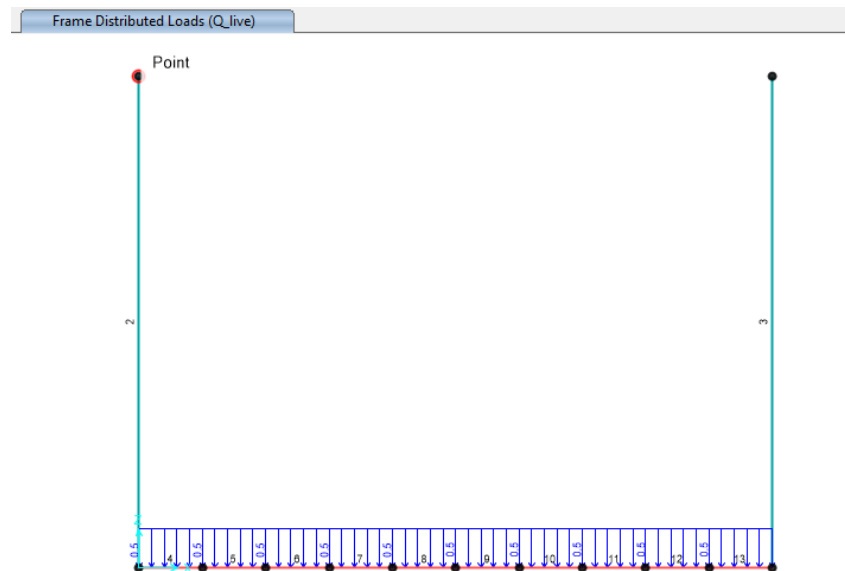


Figura 26  $Q_{live}$  carico di manutenzione

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

### 18.3 Azioni sismiche

In condizioni sismiche, il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando: nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di Danno;

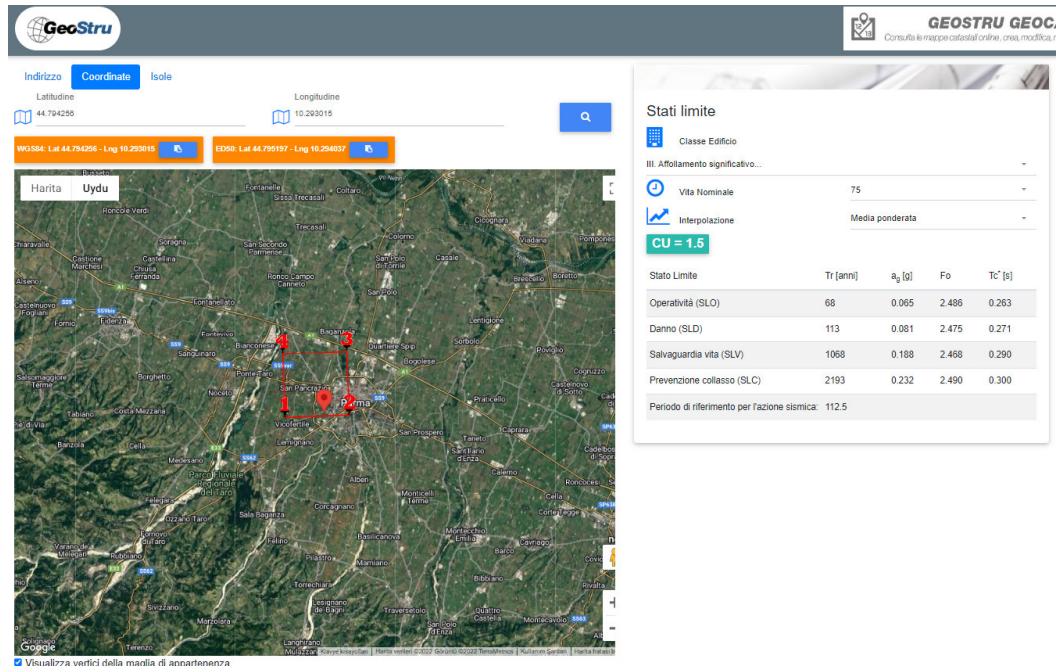
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; nel caso di specie per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Per la definizione dell'azione sismica si assumono i seguenti parametri di base:

- Categoria di suolo: C
- Categoria topografica: T1
- Vita nominale: VN = 75 anni;
- Classe d'uso : III;
- Coeff. d'uso:  $c_u = 1.5$
- Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $VR = VN \times c_u = 112.5$  anni

I parametri che definiscono l'azione sismica, calcolati mediante il documento excel Spettri-NTC.ver.1.0.3.xls fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, vengono di seguito riportati:



Per il calcolo in condizioni sismiche si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto:

- Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h W$
- Forza sismica verticale  $F_v = k_v W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono posti pari all'accelerazione massima degli spettri di progetto relativi allo stato limite considerato (SLV, SLD).

$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$	<b>Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito</b>		$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$ $k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$
	<b>Categoria di sottosuolo</b>		
	A	B, C, D, E	
	$\beta_s$	$\beta_s$	
	$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
	$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
	$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20
Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti: $\beta_s=1.0$			



Stato limite	kh	kv
SLD	0.136	0.068
SLV	0.286	0.143
sld / slv	0.477	0.476

**Tabella 8 – Coefficienti sismici**

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G1 + G2 + \psi 2j Qkj$$

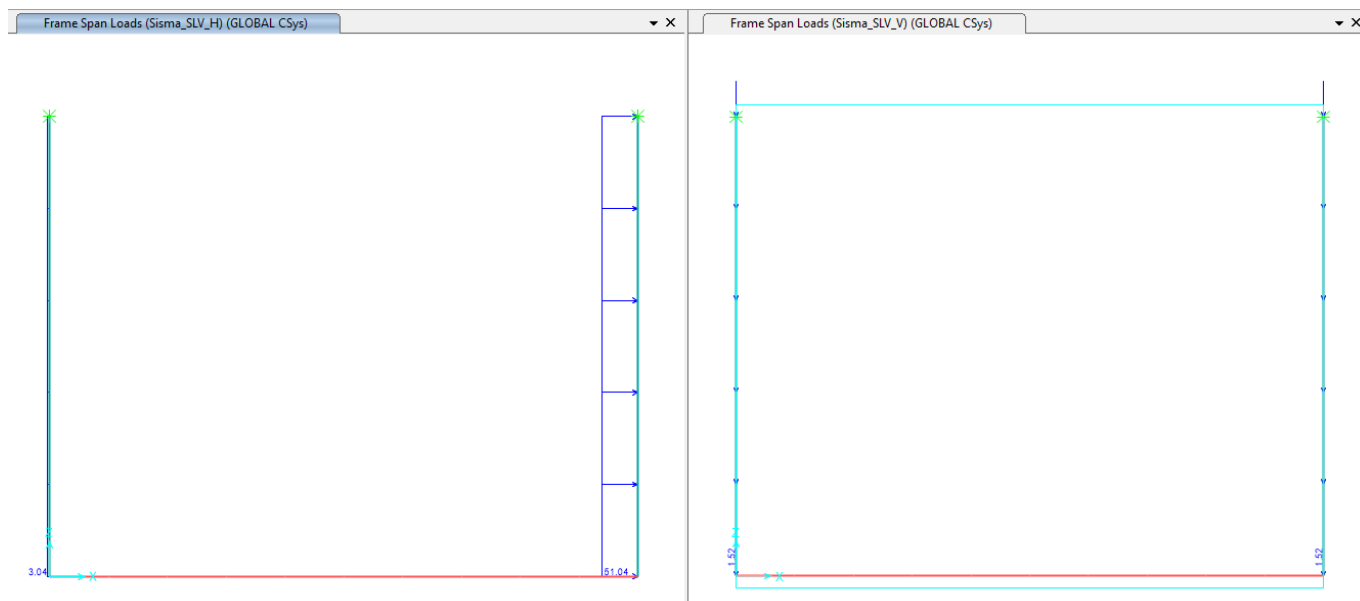
I carichi gravitazionali coinvolti dall'azione sismica sono:

### 18.3.1 Carichi Sismici

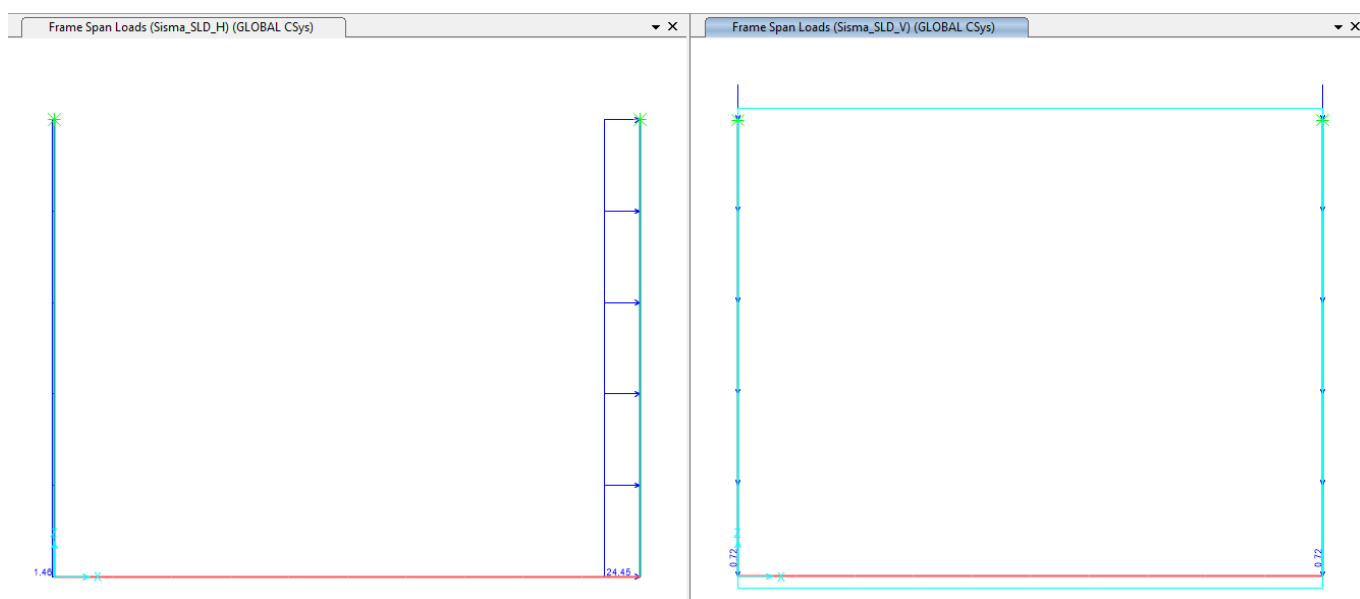
EQ - Calculation					
Stato limite	kh	kv			
SLD	0.137	0.068			
SLV	0.286	0.143			
sld / slv	0.48	0.48			
Carichi sismici					
<b>Solleta Superiore</b> Larghezza 0.00 m    Larghezza di Modello 0.0 m Spessore 0.00 m $\gamma_{conc}$ 25.00 kN/m <sup>3</sup> <b>Forze d'inerzia orizzontali (Sisma H)</b> → SLD 0.34 kN/m SLV 0.72 kN/m <b>Forze d'inerzia verticale (Sisma V)</b> ↓ SLD 0.17 kN/m SLV 0.36 kN/m			<b>Piedritti</b> Larghezza 8.30 m    Larghezza di Modello 7.8 m Spessore 0.40 m $\gamma_{conc}$ 25.00 kN/m <sup>3</sup> <b>Forze d'inerzia orizzontali (Sisma H)</b> → SLD 1.46 kN/m SLV 3.04 kN/m <b>1.1.1 Forze d'inerzia verticale (Sisma V)</b> ↓ SLD 0.72 kN/m $f_{iv} = k_v \cdot W$ SLV 1.52 kN/m $f_{iv} = k_v \cdot W$		
Spinta Del Terreno in Fase Sismica					
Ris	19.00 kN/m <sup>3</sup>			*** Fill Load start joint is right wall side therefore maximum seismic fill load is applied right wall.	
Fill Height	0				
<b>Orizzontali</b> → SLD 22.9898 $(\gamma_{fill} \cdot H_{total}^2 / H_{model} \cdot kh_{SLD})$ SLV 47.9934 $(\gamma_{fill} \cdot H_{total}^2 / H_{model} \cdot kh_{SLV})$		<b>Verticale</b> ↓ SLD 0 $(\gamma_{fill} \cdot H_{total} / H_{model} \cdot kv_{SLD})$ SLV 0 $(\gamma_{fill} \cdot H_{total} / H_{model} \cdot kv_{SLV})$			
<b>Sisma SLD_H</b> → Right Wall 24.45 kN/m Left Wall 1.46 kN/m Top Slab 0.34 kN/m		<b>Sisma SLD_V</b> ↓ Right Wall 0.72 kN/m Left Wall 0.72 kN/m Top Slab 0.17 kN/m			
<b>Sisma SLV_H</b> → Right Wall 51.04 kN/m Left Wall 3.04 kN/m Top Slab 0.72 kN/m		<b>Sisma SLV_V</b> ↓ Right Wall 1.52 kN/m Left Wall 1.52 kN/m Top Slab 0.36 kN/m			

**Tabella 9 – Carichi sismici**

Le forze d'inerzia orizzontali relative allo SLV sono applicate come un carico  $f_h$  uniformemente distribuito lungo lo sviluppo dell'elemento agente da sinistra verso destra.



**Fig. 12 – Sisma SLV\_H e Sisma SLV\_V – Forze inerziali orizzontali**



**Fig. 21– Sisma SLD\_H e Sisma SLD\_V – Forze inerziali orizzontali**

**RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA-  
LA SPEZIA****TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

75 di 98

**19 VERIFICA AL MARTELLAMENTO**

Tutte le strutture che costituiscono la galleria artificiale sono posizionate in continuità tra le parti. Il giunto strutturale presente tra i singoli tratti è un giunto necessario per consentire il ritiro della struttura ma non permette spostamenti relativi tra le due strutture contigue. Di fatto tale giunto garantisce per i due tratti un comportamento indipendente solo trasversalmente. Dal punto di vista longitudinale, infatti, vista l'enorme rigidità strutturale in tale direzione, gli spostamenti relativi possono essere trascurati.

Per tali ragioni le verifiche al martellamento possono ritenersi soddisfatte.

**20 VERIFICHE SLD E SLO**

Con riferimento alle verifiche allo Stato Limite di Danno ed allo Stato Limite di Operatività (SLD e SLO) si mette in evidenza che sono verifiche di deformabilità relativa (verifiche sugli spostamenti relativi di interpiano). Nel caso in esame, le strutture sono interamente interrate e in caso di sisma subiscono un moto traslazionale di tipo rigido, con spostamenti di interpiano quindi trascurabili. Pertanto, le verifiche SLD e SLO non sono significative e non vengono riportate e si ritengono implicitamente verificate.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 21 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico, considerate ai fini delle verifiche, sono stabilite in modo da garantire la sicurezza in conformità a quanto prescritto nei capitoli 2 e 5 del DM 17/01/2018.

Gli stati limite ultimi analizzati si riferiscono al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono l'opera ed allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno.

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere eseguiti in riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche della fondazione possono essere condotte secondo l'approccio progettuale "Approccio 1", utilizzando i coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 5.1.V delle NTC per i parametri geotecnici e le azioni.

- combinazione 1 → (A1+M1+R1) → generalmente dimensionante per STR
- combinazione 2 → (A2+M2+R2) → generalmente dimensionante per GEO (carico limite)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

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

$$\text{STR)} \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d = \Phi_k')$$

$$\text{GEO)} \Rightarrow \gamma_{G1} \cdot G1 + \gamma_{G2} \cdot G2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\text{spinte } \Phi_d = \tan^{-1}(\tan \Phi_k' / \gamma_\Phi))$$

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

$$\text{Rara)} \Rightarrow G1 + G2 + Q_{k1} + \sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki} \quad \text{controllo tensioni cls / acc}$$

$$\text{Frequente)} \Rightarrow G1 + G2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad \text{controllo apertura fessure}$$

$$\text{Quasi permanente)} \Rightarrow G1 + G2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad \text{controllo tensioni cls}$$

Per la condizione sismica, le combinazioni per gli stati limite da prendere in considerazione sono le seguenti:

$$\text{STR)} \Rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\Phi_d = \Phi_k')$$

$$\text{GEO)} \Rightarrow E + G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \Rightarrow (\text{spinte } \Phi_d = \tan^{-1}(\tan \Phi_k' / \gamma_\Phi))$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

I valori del coefficiente  $\psi_{2i}$  sono quelli riportati nella tabella 2.5.I della norma; la stessa propone nel caso di ponti, di assumere per i carichi dovuti al transito dei mezzi  $\psi_{2i} = 0.2$  solo quando rilevanti.

Nel caso in esame si è posto  $\Psi_2 = 0$ .

Le condizioni elementari di carico, riportate nella tabella sottostante, sono state combinate in modo da determinare gli effetti più gravosi per la struttura.

TABLE: Load Pattern Definitions		
LoadPat	DesignType	SelfWtMult
Text	Text	Unitless
G1_DEAD	Dead	1
Q_Temp_Uni +	Temperature	0
Q_Temp_Uni -	Temperature	0
Q_Temp_Farfalla +	Temperature	0
Q_Temp_Farfalla -	Temperature	0
Q_Ritiro	Temperature	0
Sisma_SLD_H	Quake	0
Sisma_SLD_V	Quake	0
Sisma_SLV_V	Quake	0
Sisma_SLV_H	Quake	0
G2_Sovraccarico permanente	Dead	0
Q_live	Live	0
Q_acqua.ug.	Live	0
Q_acqua	Live	0

**Tabella 10 - Condizioni elementari di carico definite nel modello di calcolo**

PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	79 di 98

Combo Name	CaseName	Scale Factor	Combo Name	CaseName	Scale Factor
Text	Text	Unitless	Text	Text	Unitless
SLU-1	G1_DEAD	1.35	SLEC-2	G1_DEAD	1
SLU-1	G2_Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-2	G2_Sovraccarico permanente	1
SLU-1	Q_acqua	1.5	SLEC-2	Q_acqua	1
SLU-1	Q_acqua.ug.	1.5	SLEC-2	Q_Ritiro	0.72
SLU-1	Q_live	1.5	SLEC-2	Q_acqua.ug.	1
SLU-1	Q_Ritiro	0.72	SLEC-2	Q_Temp_Farfalla -	0
SLU-1	Q_Temp_Farfalla -	0	SLEC-2	Q_Temp_Farfalla +	0.72
SLU-1	Q_Temp_Farfalla +	0.72	SLEC-2	Q_Temp_Uni -	0
SLU-1	Q_Temp_Uni -	0	SLEC-2	Q_Temp_Uni +	0.72
SLU-1	Q_Temp_Farfalla +	0.72	SLEC-2	Q_live	1
SLU-2	G1_DEAD	1.35	SLEC-3	G1_DEAD	1
SLU-2	G2_Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-3	G2_Sovraccarico permanente	1
SLU-2	Q_acqua	0	SLEC-3	Q_acqua	1
SLU-2	Q_acqua.ug.	1.5	SLEC-3	Q_Ritiro	0.72
SLU-2	Q_live	1.5	SLEC-3	Q_acqua.ug.	0
SLU-2	Q_Ritiro	0.72	SLEC-3	Q_Temp_Farfalla -	0
SLU-2	Q_Temp_Farfalla -	0	SLEC-3	Q_Temp_Farfalla +	0.72
SLU-2	Q_Temp_Farfalla +	0.72	SLEC-3	Q_Temp_Uni -	0
SLU-2	Q_Temp_Uni -	0	SLEC-3	Q_Temp_Uni +	0.72
SLU-2	Q_Temp_Farfalla +	0.72	SLEC-3	Q_live	1
SLU-3	G1_DEAD	1.35	SLEC-4	G1_DEAD	1
SLU-3	G2_Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-4	G2_Sovraccarico permanente	1
SLU-3	Q_acqua	0	SLEC-4	Q_acqua	0
SLU-3	Q_acqua.ug.	0	SLEC-4	Q_Ritiro	0.72
SLU-3	Q_live	1.5	SLEC-4	Q_acqua.ug.	0
SLU-3	Q_Ritiro	0.72	SLEC-4	Q_Temp_Farfalla -	0
SLU-3	Q_Temp_Farfalla -	0	SLEC-4	Q_Temp_Farfalla +	0.72
SLU-3	Q_Temp_Farfalla +	0.72	SLEC-4	Q_Temp_Uni -	0
SLU-3	Q_Temp_Uni -	0	SLEC-4	Q_Temp_Uni +	0.72
SLU-3	Q_Temp_Farfalla +	0.72	SLEC-4	Q_live	1
SLU-4	G1_DEAD	1.35	SLEC-5	G1_DEAD	1
SLU-4	G2_Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-5	G2_Sovraccarico permanente	1
SLU-4	Q_acqua	1	SLEC-5	Q_acqua	1
SLU-4	Q_acqua.ug.	0	SLEC-5	Q_Ritiro	1.2
SLU-4	Q_live	1.5	SLEC-5	Q_acqua.ug.	0

PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	80 di 98

SLU-4	Q Ritiro	0.72	SLEC-5	Q Temp Farfalla -	0
SLU-4	Q Temp Farfalla -	0	SLEC-5	Q Temp Farfalla +	1.2
SLU-4	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-5	Q Temp Uni -	0
SLU-4	Q Temp Uni -	0	SLEC-5	Q Temp Uni +	1.2
SLU-4	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-5	Q live	0
SLU-5	G1 DEAD	1.35	SLEC-6	G1 DEAD	1
SLU-5	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-6	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-5	Q acqua	1.5	SLEC-6	Q acqua	0
SLU-5	Q acqua.ug.	0	SLEC-6	Q Ritiro	1.2
SLU-5	Q live	0	SLEC-6	Q acqua.ug.	1
SLU-5	Q Ritiro	0.72	SLEC-6	Q Temp Farfalla -	0
SLU-5	Q Temp Farfalla -	0	SLEC-6	Q Temp Farfalla +	1.2
SLU-5	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-6	Q Temp Uni -	0
SLU-5	Q Temp Uni -	0	SLEC-6	Q Temp Uni +	1.2
SLU-5	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-6	Q live	0
SLU-6	G1 DEAD	1.35	SLEC-7	G1 DEAD	1
SLU-6	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-7	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-6	Q acqua	0	SLEC-7	Q acqua	0
SLU-6	Q acqua.ug.	0	SLEC-7	Q Ritiro	1.2
SLU-6	Q live	0	SLEC-7	Q acqua.ug.	0.8
SLU-6	Q Ritiro	0.72	SLEC-7	Q Temp Farfalla -	0
SLU-6	Q Temp Farfalla -	0	SLEC-7	Q Temp Farfalla +	1.2
SLU-6	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-7	Q Temp Uni -	0
SLU-6	Q Temp Uni -	0	SLEC-7	Q Temp Uni +	1.2
SLU-6	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-7	Q live	0
SLU-7	G1 DEAD	1.35	SLEC-8	G1 DEAD	1
SLU-7	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-8	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-7	Q acqua	1.5	SLEC-8	Q acqua	0
SLU-7	Q acqua.ug.	1.5	SLEC-8	Q Ritiro	1.2
SLU-7	Q live	0	SLEC-8	Q acqua.ug.	0.8
SLU-7	Q Ritiro	0.72	SLEC-8	Q Temp Farfalla -	0
SLU-7	Q Temp Farfalla -	0	SLEC-8	Q Temp Farfalla +	1.2
SLU-7	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-8	Q Temp Uni -	0
SLU-7	Q Temp Uni -	0	SLEC-8	Q Temp Uni +	1.2
SLU-7	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-8	Q live	0.8
SLU-8	G1 DEAD	1.35	SLEC-9	G1 DEAD	1
SLU-8	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-9	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-8	Q acqua	0	SLEC-9	Q acqua	1
SLU-8	Q acqua.ug.	0	SLEC-9	Q Ritiro	0



PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	81 di 98

SLU-8	Q live	1.16	SLEC-9	Q acqua.ug.	1
SLU-8	Q Ritiro	0.72	SLEC-9	Q Temp Farfalla -	0.72
SLU-8	Q Temp Farfalla -	0	SLEC-9	Q Temp Farfalla +	0
SLU-8	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-9	Q Temp Uni -	0.72
SLU-8	Q Temp Uni -	0	SLEC-9	Q Temp Uni +	0
SLU-8	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-9	Q live	1
SLU-9	G1 DEAD	1.35	SLEC-10	G1 DEAD	1
SLU-9	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-10	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-9	Q acqua	1.5	SLEC-10	Q acqua	1
SLU-9	Q acqua.ug.	0	SLEC-10	Q Ritiro	0
SLU-9	Q live	1.16	SLEC-10	Q acqua.ug.	1
SLU-9	Q Ritiro	0.72	SLEC-10	Q Temp Farfalla -	0.72
SLU-9	Q Temp Farfalla -	0	SLEC-10	Q Temp Farfalla +	0
SLU-9	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-10	Q Temp Uni -	0.72
SLU-9	Q Temp Uni -	0	SLEC-10	Q Temp Uni +	0
SLU-9	Q Temp Farfalla +	0.72	SLEC-10	Q live	1
SLU-10	G1 DEAD	1.35	SLEC-11	G1 DEAD	1
SLU-10	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-11	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-10	Q acqua	1.5	SLEC-11	Q acqua	0
SLU-10	Q acqua.ug.	1.5	SLEC-11	Q Ritiro	0
SLU-10	Q live	1.5	SLEC-11	Q acqua.ug.	1
SLU-10	Q Ritiro	0	SLEC-11	Q Temp Farfalla -	0.72
SLU-10	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEC-11	Q Temp Farfalla +	0
SLU-10	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-11	Q Temp Uni -	0.72
SLU-10	Q Temp Uni -	0.72	SLEC-11	Q Temp Uni +	0
SLU-10	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-11	Q live	1.45
SLU-11	G1 DEAD	1.35	SLEC-12	G1 DEAD	1
SLU-11	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-12	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-11	Q acqua	0	SLEC-12	Q acqua	0
SLU-11	Q acqua.ug.	1.5	SLEC-12	Q Ritiro	0.72
SLU-11	Q live	1.5	SLEC-12	Q acqua.ug.	1
SLU-11	Q Ritiro	0	SLEC-12	Q Temp Farfalla -	0.72
SLU-11	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEC-12	Q Temp Farfalla +	0
SLU-11	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-12	Q Temp Uni -	0.72
SLU-11	Q Temp Uni -	0.72	SLEC-12	Q Temp Uni +	0
SLU-11	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-12	Q live	1
SLU-12	G1 DEAD	1.35	SLEC-13	G1 DEAD	1
SLU-12	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-13	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-12	Q acqua	0	SLEC-13	Q acqua	1

PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	82 di 98

SLU-12	Q acqua.ug.	0	SLEC-13	Q Ritiro	0
SLU-12	Q live	1.5	SLEC-13	Q acqua.ug.	0.8
SLU-12	Q Ritiro	0	SLEC-13	Q Temp Farfalla -	0.72
SLU-12	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEC-13	Q Temp Farfalla +	0
SLU-12	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-13	Q Temp Uni -	0.72
SLU-12	Q Temp Uni -	0.72	SLEC-13	Q Temp Uni +	0
SLU-12	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-13	Q live	0.8
SLU-13	G1 DEAD	1.35	SLEC-14	G1 DEAD	1
SLU-13	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-14	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-13	Q acqua	1.5	SLEC-14	Q acqua	1
SLU-13	Q acqua.ug.	0	SLEC-14	Q Ritiro	0
SLU-13	Q live	1.5	SLEC-14	Q acqua.ug.	0.8
SLU-13	Q Ritiro	0	SLEC-14	Q Temp Farfalla -	1.2
SLU-13	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEC-14	Q Temp Farfalla +	0
SLU-13	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-14	Q Temp Uni -	1.2
SLU-13	Q Temp Uni -	0.72	SLEC-14	Q Temp Uni +	0
SLU-13	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-14	Q live	0.8
SLU-14	G1 DEAD	1.35	SLEC-15	G1 DEAD	1
SLU-14	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-15	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-14	Q acqua	1.5	SLEC-15	Q acqua	0
SLU-14	Q acqua.ug.	0	SLEC-15	Q Ritiro	0
SLU-14	Q live	0	SLEC-15	Q acqua.ug.	0.8
SLU-14	Q Ritiro	0	SLEC-15	Q Temp Farfalla -	1.2
SLU-14	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEC-15	Q Temp Farfalla +	0
SLU-14	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-15	Q Temp Uni -	1.2
SLU-14	Q Temp Uni -	0.72	SLEC-15	Q Temp Uni +	0
SLU-14	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-15	Q live	0.8
SLU-15	G1 DEAD	1.35	SLEC-16	G1 DEAD	1
SLU-15	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEC-16	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-15	Q acqua	0	SLEC-16	Q acqua	0
SLU-15	Q acqua.ug.	0	SLEC-16	Q Ritiro	0
SLU-15	Q live	0	SLEC-16	Q acqua.ug.	0.8
SLU-15	Q Ritiro	0	SLEC-16	Q Temp Farfalla -	1.2
SLU-15	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEC-16	Q Temp Farfalla +	0
SLU-15	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-16	Q Temp Uni -	1.2
SLU-15	Q Temp Uni -	0.72	SLEC-16	Q Temp Uni +	0
SLU-15	Q Temp Farfalla +	0	SLEC-16	Q live	0.8
SLU-16	G1 DEAD	1.35	SLEF-1	G1 DEAD	1
SLU-16	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEF-1	G2 Sovraccarico permanente	1

PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	83 di 98

SLU-16	Q acqua	1.5	SLEF-1	Q acqua	0
SLU-16	Q acqua.ug.	1.5	SLEF-1	Q Ritiro	0
SLU-16	Q live	0	SLEF-1	Q acqua.ug.	0.9
SLU-16	Q Ritiro	0	SLEF-1	Q Temp Farfalla -	0
SLU-16	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEF-1	Q Temp Farfalla +	0
SLU-16	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-1	Q Temp Uni -	0
SLU-16	Q Temp Uni -	0.72	SLEF-1	Q Temp Uni +	0
SLU-16	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-1	Q live	0.8
SLU-17	G1 DEAD	1.35	SLEF-2	G1 DEAD	1
SLU-17	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEF-2	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-17	Q acqua	0	SLEF-2	Q acqua	0.9
SLU-17	Q acqua.ug.	0	SLEF-2	Q Ritiro	0
SLU-17	Q live	1.16	SLEF-2	Q acqua.ug.	0.8
SLU-17	Q Ritiro	0	SLEF-2	Q Temp Farfalla -	0
SLU-17	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEF-2	Q Temp Farfalla +	0
SLU-17	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-2	Q Temp Uni -	0
SLU-17	Q Temp Uni -	0.72	SLEF-2	Q Temp Uni +	0
SLU-17	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-2	Q live	0.8
SLU-18	G1 DEAD	1.35	SLEF-3	G1 DEAD	1
SLU-18	G2 Sovraccarico permanente	1.5	SLEF-3	G2 Sovraccarico permanente	1
SLU-18	Q acqua	1.5	SLEF-3	Q acqua	0.8
SLU-18	Q acqua.ug.	0	SLEF-3	Q Ritiro	0
SLU-18	Q live	1.16	SLEF-3	Q acqua.ug.	0
SLU-18	Q Ritiro	0	SLEF-3	Q Temp Farfalla -	0
SLU-18	Q Temp Farfalla -	0.72	SLEF-3	Q Temp Farfalla +	0
SLU-18	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-3	Q Temp Uni -	0
SLU-18	Q Temp Uni -	0.72	SLEF-3	Q Temp Uni +	0
SLU-18	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-3	Q live	0.9
SLV-1	G1 DEAD	1	SLEF-4	G1 DEAD	1
SLV-1	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-4	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-1	Q acqua	0.8	SLEF-4	Q acqua	0
SLV-1	Q acqua.ug.	0	SLEF-4	Q Ritiro	0
SLV-1	Q live	0	SLEF-4	Q acqua.ug.	0
SLV-1	Q Ritiro	0.5	SLEF-4	Q Temp Farfalla -	0
SLV-1	Q Temp Farfalla -	0	SLEF-4	Q Temp Farfalla +	0
SLV-1	Q Temp Farfalla +	0.5	SLEF-4	Q Temp Uni -	0
SLV-1	Q Temp Uni -	0	SLEF-4	Q Temp Uni +	0
SLV-1	Q Temp Uni +	0.5	SLEF-4	Q live	0.9
SLV-1	Sisma SLD H	1	SLEF-5	G1 DEAD	1

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

84 di 98

SLV-1	Sisma SLD V	1	SLEF-5	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-1	Sisma SLV H	1	SLEF-5	Q acqua	1
SLV-1	Sisma SLV V	1	SLEF-5	Q Ritiro	0.6
SLV-2	G1 DEAD	1	SLEF-5	Q acqua.ug.	0
SLV-2	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-5	Q Temp Farfalla -	0
SLV-2	Q acqua	0.8	SLEF-5	Q Temp Farfalla +	0.6
SLV-2	Q acqua.ug.	0.8	SLEF-5	Q Temp Uni -	0
SLV-2	Q live	0	SLEF-5	Q Temp Uni +	0.6
SLV-2	Q Ritiro	0.5	SLEF-5	Q live	0
SLV-2	Q Temp Farfalla -	0.5	SLEF-6	G1 DEAD	1
SLV-2	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-6	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-2	Q Temp Uni -	0.5	SLEF-6	Q acqua	0
SLV-2	Q Temp Uni +	0	SLEF-6	Q Ritiro	0.8
SLV-2	Sisma SLD H	1	SLEF-6	Q acqua.ug.	0.9
SLV-2	Sisma SLD V	1	SLEF-6	Q Temp Farfalla -	0
SLV-2	Sisma SLV H	1	SLEF-6	Q Temp Farfalla +	0.8
SLV-2	Sisma SLV V	1	SLEF-6	Q Temp Uni -	0
SLV-3	G1 DEAD	1	SLEF-6	Q Temp Uni +	0.8
SLV-3	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-6	Q live	0
SLV-3	Q acqua	0	SLEF-7	G1 DEAD	1
SLV-3	Q acqua.ug.	0	SLEF-7	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-3	Q live	0	SLEF-7	Q acqua	0
SLV-3	Q Ritiro	0	SLEF-7	Q Ritiro	0.8
SLV-3	Q Temp Farfalla -	0	SLEF-7	Q acqua.ug.	0
SLV-3	Q Temp Farfalla +	0.5	SLEF-7	Q Temp Farfalla -	0
SLV-3	Q Temp Uni -	0	SLEF-7	Q Temp Farfalla +	0.8
SLV-3	Q Temp Uni +	0.5	SLEF-7	Q Temp Uni -	0
SLV-3	Sisma SLD H	1	SLEF-7	Q Temp Uni +	0.8
SLV-3	Sisma SLD V	1	SLEF-7	Q live	0.9
SLV-3	Sisma SLV H	1	SLEF-8	G1 DEAD	1
SLV-3	Sisma SLV V	1	SLEF-8	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-4	G1 DEAD	1	SLEF-8	Q acqua	0
SLV-4	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-8	Q Ritiro	0.9
SLV-4	Q acqua	0.8	SLEF-8	Q acqua.ug.	0
SLV-4	Q acqua.ug.	0.8	SLEF-8	Q Temp Farfalla -	0
SLV-4	Q live	0	SLEF-8	Q Temp Farfalla +	0.8
SLV-4	Q Ritiro	0	SLEF-8	Q Temp Uni -	0
SLV-4	Q Temp Farfalla -	0.5	SLEF-8	Q Temp Uni +	0.8
SLV-4	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-8	Q live	0

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

85 di 98

SLV-4	Q Temp Uni -	0.5	SLEF-9	G1 DEAD	1
SLV-4	Q Temp Uni +	0	SLEF-9	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-4	Sisma SLD H	1	SLEF-9	Q acqua	0
SLV-4	Sisma SLD V	1	SLEF-9	Q Ritiro	0
SLV-4	Sisma SLV H	1	SLEF-9	Q acqua.ug.	0.9
SLV-4	Sisma SLV V	1	SLEF-9	Q Temp Farfalla -	0.8
SLV-5	G1 DEAD	1	SLEF-9	Q Temp Farfalla +	0
SLV-5	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-9	Q Temp Uni -	0.8
SLV-5	Q acqua	0.8	SLEF-9	Q Temp Uni +	0
SLV-5	Q acqua.ug.	0	SLEF-9	Q live	0.8
SLV-5	Q live	0.8	SLEF-10	G1 DEAD	1
SLV-5	Q Ritiro	0.5	SLEF-10	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-5	Q Temp Farfalla -	0	SLEF-10	Q acqua	1
SLV-5	Q Temp Farfalla +	0.5	SLEF-10	Q Ritiro	0
SLV-5	Q Temp Uni -	0	SLEF-10	Q acqua.ug.	0.8
SLV-5	Q Temp Uni +	0.5	SLEF-10	Q Temp Farfalla -	0.6
SLV-5	Sisma SLD H	1	SLEF-10	Q Temp Farfalla +	0
SLV-5	Sisma SLD V	1	SLEF-10	Q Temp Uni -	0.6
SLV-5	Sisma SLV H	1	SLEF-10	Q Temp Uni +	0
SLV-5	Sisma SLV V	1	SLEF-10	Q live	0.9
SLV-6	G1 DEAD	1	SLEF-11	G1 DEAD	1
SLV-6	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-11	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-6	Q acqua	0.8	SLEF-11	Q acqua	0.8
SLV-6	Q acqua.ug.	0	SLEF-11	Q Ritiro	0
SLV-6	Q live	0.8	SLEF-11	Q acqua.ug.	0.9
SLV-6	Q Ritiro	0.5	SLEF-11	Q Temp Farfalla -	0.6
SLV-6	Q Temp Farfalla -	0.5	SLEF-11	Q Temp Farfalla +	0
SLV-6	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-11	Q Temp Uni -	0.6
SLV-6	Q Temp Uni -	0.5	SLEF-11	Q Temp Uni +	0
SLV-6	Q Temp Uni +	0	SLEF-11	Q live	0.8
SLV-6	Sisma SLD H	1	SLEF-12	G1 DEAD	1
SLV-6	Sisma SLD V	1	SLEF-12	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-6	Sisma SLV H	1	SLEF-12	Q acqua	0
SLV-6	Sisma SLV V	1	SLEF-12	Q Ritiro	0.8
SLV-7	G1 DEAD	1	SLEF-12	Q acqua.ug.	0.8
SLV-7	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-12	Q Temp Farfalla -	0.8
SLV-7	Q acqua	0	SLEF-12	Q Temp Farfalla +	0
SLV-7	Q acqua.ug.	0	SLEF-12	Q Temp Uni -	0.8
SLV-7	Q live	0.8	SLEF-12	Q Temp Uni +	0

PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	86 di 98

SLV-7	Q Ritiro	0.5	SLEF-12	Q live	0.9
SLV-7	Q Temp Farfalla -	0	SLEF-13	G1 DEAD	1
SLV-7	Q Temp Farfalla +	0.5	SLEF-13	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-7	Q Temp Uni -	0	SLEF-13	Q acqua	0.9
SLV-7	Q Temp Uni +	0.5	SLEF-13	Q Ritiro	0
SLV-7	Sisma SLD H	1	SLEF-13	Q acqua.ug.	0.8
SLV-7	Sisma SLD V	1	SLEF-13	Q Temp Farfalla -	0.6
SLV-7	Sisma SLV H	1	SLEF-13	Q Temp Farfalla +	0
SLV-7	Sisma SLV V	1	SLEF-13	Q Temp Uni -	0.6
SLV-8	G1 DEAD	1	SLEF-13	Q Temp Uni +	0
SLV-8	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-13	Q live	0.8
SLV-8	Q acqua	0	SLEF-14	G1 DEAD	1
SLV-8	Q acqua.ug.	0	SLEF-14	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-8	Q live	0.8	SLEF-14	Q acqua	0.8
SLV-8	Q Ritiro	0.5	SLEF-14	Q Ritiro	0
SLV-8	Q Temp Farfalla -	0.5	SLEF-14	Q acqua.ug.	0.9
SLV-8	Q Temp Farfalla +	0	SLEF-14	Q Temp Farfalla -	0.6
SLV-8	Q Temp Uni -	0.5	SLEF-14	Q Temp Farfalla +	0
SLV-8	Q Temp Uni +	0	SLEF-14	Q Temp Uni -	0.6
SLV-8	Sisma SLD H	1	SLEF-14	Q Temp Uni +	0
SLV-8	Sisma SLD V	1	SLEF-14	Q live	0.6
SLV-8	Sisma SLV H	1	SLEF-15	G1 DEAD	1
SLV-8	Sisma SLV V	1	SLEF-15	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-9	G1 DEAD	1	SLEF-15	Q acqua	0
SLV-9	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-15	Q Ritiro	0
SLV-9	Q acqua	0.8	SLEF-15	Q acqua.ug.	0.8
SLV-9	Q acqua.ug.	0	SLEF-15	Q Temp Farfalla -	0.6
SLV-9	Q live	0	SLEF-15	Q Temp Farfalla +	0
SLV-9	Q Ritiro	0.5	SLEF-15	Q Temp Uni -	0.6
SLV-9	Q Temp Farfalla -	0	SLEF-15	Q Temp Uni +	0
SLV-9	Q Temp Farfalla +	0.5	SLEF-15	Q live	0.9
SLV-9	Q Temp Uni -	0	SLEF-16	G1 DEAD	1
SLV-9	Q Temp Uni +	0.5	SLEF-16	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-9	Sisma SLD H	1	SLEF-16	Q acqua	0
SLV-9	Sisma SLD V	1	SLEF-16	Q Ritiro	0
SLV-9	Sisma SLV H	1	SLEF-16	Q acqua.ug.	0.6
SLV-9	Sisma SLV V	1	SLEF-16	Q Temp Farfalla -	0.6
SLV-10	G1 DEAD	1	SLEF-16	Q Temp Farfalla +	0
SLV-10	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEF-16	Q Temp Uni -	0.6

PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	87 di 98

SLV-10	Q acqua	0.8	SLEF-16	Q Temp Uni +	0
SLV-10	Q acqua.ug.	0	SLEF-16	Q live	0.9
SLV-10	Q live	0.8	SLEQP-1	G1 DEAD	1
SLV-10	Q Ritiro	0.5	SLEQP-1	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-10	Q Temp Farfalla -	0.5	SLEQP-1	Q acqua	1
SLV-10	Q Temp Farfalla +	0	SLEQP-1	Q Ritiro	0.5
SLV-10	Q Temp Uni -	0.5	SLEQP-1	Q acqua.ug.	0
SLV-10	Q Temp Uni +	0	SLEQP-1	Q Temp Farfalla -	0
SLV-10	Sisma SLD H	1	SLEQP-1	Q Temp Farfalla +	0.5
SLV-10	Sisma SLD V	1	SLEQP-1	Q Temp Uni -	0
SLV-10	Sisma SLV H	1	SLEQP-1	Q Temp Uni +	0.5
SLV-10	Sisma SLV V	1	SLEQP-1	Q live	0
SLV-11	G1 DEAD	1	SLEQP-2	G1 DEAD	1
SLV-11	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEQP-2	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-11	Q acqua	0	SLEQP-2	Q acqua	1
SLV-11	Q acqua.ug.	0	SLEQP-2	Q Ritiro	0.5
SLV-11	Q live	0	SLEQP-2	Q acqua.ug.	0
SLV-11	Q Ritiro	0	SLEQP-2	Q Temp Farfalla -	0.5
SLV-11	Q Temp Farfalla -	0	SLEQP-2	Q Temp Farfalla +	0
SLV-11	Q Temp Farfalla +	0.5	SLEQP-2	Q Temp Uni -	0.5
SLV-11	Q Temp Uni -	0	SLEQP-2	Q Temp Uni +	0
SLV-11	Q Temp Uni +	0.5	SLEQP-2	Q live	0
SLV-11	Sisma SLD H	1	SLEQP-3	G1 DEAD	1
SLV-11	Sisma SLD V	1	SLEQP-3	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-11	Sisma SLV H	1	SLEQP-3	Q acqua	0
SLV-11	Sisma SLV V	1	SLEQP-3	Q Ritiro	0
SLV-12	G1 DEAD	1	SLEQP-3	Q acqua.ug.	0
SLV-12	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEQP-3	Q Temp Farfalla -	0
SLV-12	Q acqua	0.8	SLEQP-3	Q Temp Farfalla +	0.5
SLV-12	Q acqua.ug.	0	SLEQP-3	Q Temp Uni -	0
SLV-12	Q live	0.8	SLEQP-3	Q Temp Uni +	0.5
SLV-12	Q Ritiro	0	SLEQP-3	Q live	0
SLV-12	Q Temp Farfalla -	0.5	SLEQP-4	G1 DEAD	1
SLV-12	Q Temp Farfalla +	0	SLEQP-4	G2 Sovraccarico permanente	1
SLV-12	Q Temp Uni -	0.5	SLEQP-4	Q acqua	0
SLV-12	Q Temp Uni +	0	SLEQP-4	Q Ritiro	0
SLV-12	Sisma SLD H	1	SLEQP-4	Q acqua.ug.	0
SLV-12	Sisma SLD V	1	SLEQP-4	Q Temp Farfalla -	0.5
SLV-12	Sisma SLV H	1	SLEQP-4	Q Temp Farfalla +	0

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

88 di 98

SLV-12	Sisma SLV V	1	SLEQP-4	Q Temp Uni -	0.5
SLV-13	G1 DEAD	1	SLEQP-4	Q Temp Uni +	0
SLV-13	G2 Sovraccarico permanente	1	SLEQP-4	Q live	0
SLV-13	Q acqua	0.8	INV-SLU	SLU-1	1
SLV-13	Q acqua.ug.	0	INV-SLU	SLU-8	1
SLV-13	Q live	0.8	INV-SLU	SLU-10	1
SLV-13	Q Ritiro	0.5	INV-SLU	SLU-11	1
SLV-13	Q Temp Farfalla -	0	INV-SLU	SLU-12	1
SLV-13	Q Temp Farfalla +	0.5	INV-SLU	SLU-2	1
SLV-13	Q Temp Uni -	0	INV-SLU	SLU-14	1
SLV-13	Q Temp Uni +	0.5	INV-SLU	SLU-15	1
SLV-13	Sisma SLD H	1	INV-SLU	SLU-16	1
SLV-13	Sisma SLD V	1	INV-SLU	SLU-17	1
SLV-13	Sisma SLV H	1	INV-SLU	SLU-18	1
SLV-13	Sisma SLV V	1	INV-SLU	SLU-3	1
SLV-14	G1 DEAD	1	INV-SLU	SLU-4	1
SLV-14	G2 Sovraccarico permanente	1	INV-SLU	SLU-6	1
SLV-14	Q acqua	0.8	INV-SLU	SLU-7	1
SLV-14	Q acqua.ug.	0	INV-SLU	SLU-9	1
SLV-14	Q live	0.8	INV-SLU	SLU-13	1
SLV-14	Q Ritiro	0.5	INV-SLV	SLV-1	1
SLV-14	Q Temp Farfalla -	0.5	INV-SLV	SLV-10	1
SLV-14	Q Temp Farfalla +	0	INV-SLV	SLV-11	1
SLV-14	Q Temp Uni -	0.5	INV-SLV	SLV-12	1
SLV-14	Q Temp Uni +	0	INV-SLV	SLV-13	1
SLV-14	Sisma SLD H	1	INV-SLV	SLV-14	1
SLV-14	Sisma SLD V	1	INV-SLV	SLV-15	1
SLV-14	Sisma SLV H	1	INV-SLV	SLV-16	1
SLV-14	Sisma SLV V	1	INV-SLV	SLV-2	1
SLV-15	G1 DEAD	1	INV-SLV	SLV-3	1
SLV-15	G2 Sovraccarico permanente	1	INV-SLV	SLV-4	1
SLV-15	Q acqua	0	INV-SLV	SLV-5	1
SLV-15	Q acqua.ug.	0	INV-SLV	SLV-6	1
SLV-15	Q live	0.8	INV-SLV	SLV-7	1
SLV-15	Q Ritiro	0.5	INV-SLV	SLV-8	1
SLV-15	Q Temp Farfalla -	0	INV-SLV	SLV-9	1
SLV-15	Q Temp Farfalla +	0.5	INV-SLEC	SLEC-1	1
SLV-15	Q Temp Uni -	0	INV-SLEC	SLEC-10	1
SLV-15	Q Temp Uni +	0.5	INV-SLEC	SLEC-11	1



PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

RELAZIONI DI CALCOLO

IP00

00

D26CL

IN 72 00 001

B

89 di 98

SLV-15	Sisma SLD H	1	INV-SLEC	SLEC-12	1
SLV-15	Sisma SLD V	1	INV-SLEC	SLEC-13	1
SLV-15	Sisma SLV H	1	INV-SLEC	SLEC-14	1
SLV-15	Sisma SLV V	1	INV-SLEC	SLEC-15	1
SLV-16	G1 DEAD	1	INV-SLEC	SLEC-16	1
SLV-16	G2 Sovraccarico permanente	1	INV-SLEC	SLEC-2	1
SLV-16	Q acqua	1	INV-SLEC	SLEC-3	1
SLV-16	Q acqua.ug.	0	INV-SLEC	SLEC-4	1
SLV-16	Q live	0.8	INV-SLEC	SLEC-5	1
SLV-16	Q Ritiro	0	INV-SLEC	SLEC-6	1
SLV-16	Q Temp Farfalla -	0.5	INV-SLEC	SLEC-7	1
SLV-16	Q Temp Farfalla +	0	INV-SLEC	SLEC-8	1
SLV-16	Q Temp Uni -	0.5	INV-SLEC	SLEC-9	1
SLV-16	Q Temp Uni +	0	INV-SLEF	SLEF-1	1
SLV-16	Sisma SLD H	1	INV-SLEF	SLEF-10	1
SLV-16	Sisma SLD V	1	INV-SLEF	SLEF-11	1
SLV-16	Sisma SLV H	1	INV-SLEF	SLEF-12	1
SLV-16	Sisma SLV V	1	INV-SLEF	SLEF-13	1
SLEC-1	G1 DEAD	1	INV-SLEF	SLEF-14	1
SLEC-1	G2 Sovraccarico permanente	1	INV-SLEF	SLEF-15	1
SLEC-1	Q acqua	0	INV-SLEF	SLEF-16	1
SLEC-1	Q Ritiro	0.72	INV-SLEF	SLEF-2	1
SLEC-1	Q acqua.ug.	1	INV-SLEF	SLEF-3	1
SLEC-1	Q Temp Farfalla -	0	INV-SLEF	SLEF-4	1
SLEC-1	Q Temp Farfalla +	0.72	INV-SLEF	SLEF-5	1
SLEC-1	Q Temp Uni -	0	INV-SLEF	SLEF-6	1
SLEC-1	Q Temp Uni +	0.72	INV-SLEF	SLEF-7	1
SLEC-1	Q live	1	INV-SLEF	SLEF-8	1
			INV-SLEF	SLEF-9	1
			INV-SLEQP	SLEQP-1	1
			INV-SLEQP	SLEQP-2	1
			INV-SLEQP	SLEQP-3	1
			INV-SLEQP	SLEQP-4	1

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO PARMA- LA SPEZIA</b> <b>TRATTA PARMA - VICOFERTILE</b>					
	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONI DI CALCOLO	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO IN 72 00 001	REV. B

## 22 RISULTATI DELLE ANALISI

Le verifiche sono state condotte con riferimento alle seguenti sezioni significative.



Fig. 13 – Sezioni di verifica

Si riportano di seguito una sintesi dei risultati delle analisi espressi in forma tabellare delle sollecitazioni lungo gli elementi.

La convenzione adottata per i segni delle sollecitazioni prevede che

$N < 0$             compressione

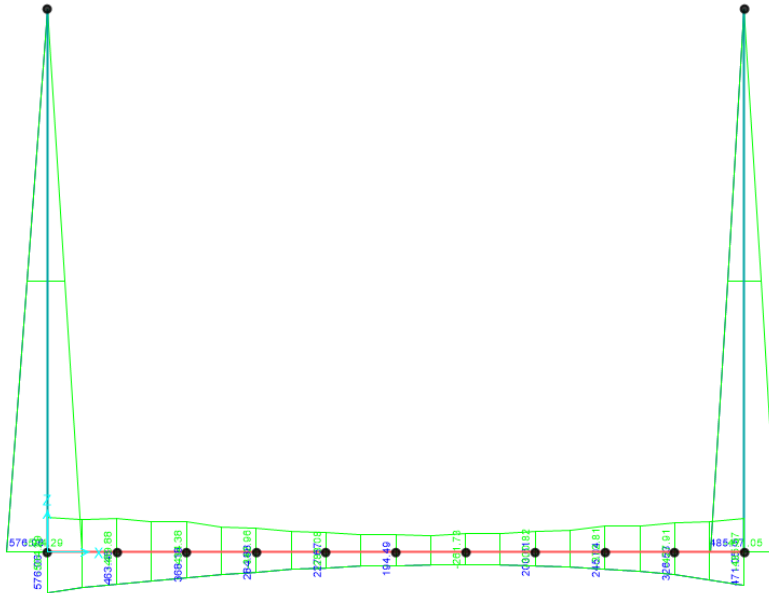
$M > 0$             fibre tese sul lato interno allo scatolare

Le unità di misura adottate sono

Momenti        kNm

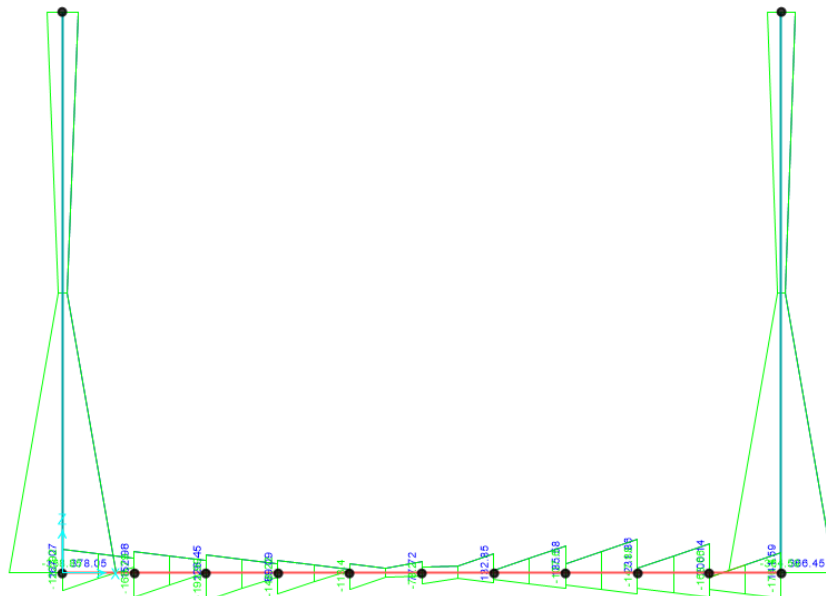
Forze            kN

Moment 3-3 Diagram (INV-SLU - Max/Min)



**Fig. 14 – Involuppo SLU\_Static – Momenti Flettenti**

Shear Force 2-2 Diagram (INV-SLU - Max/Min)



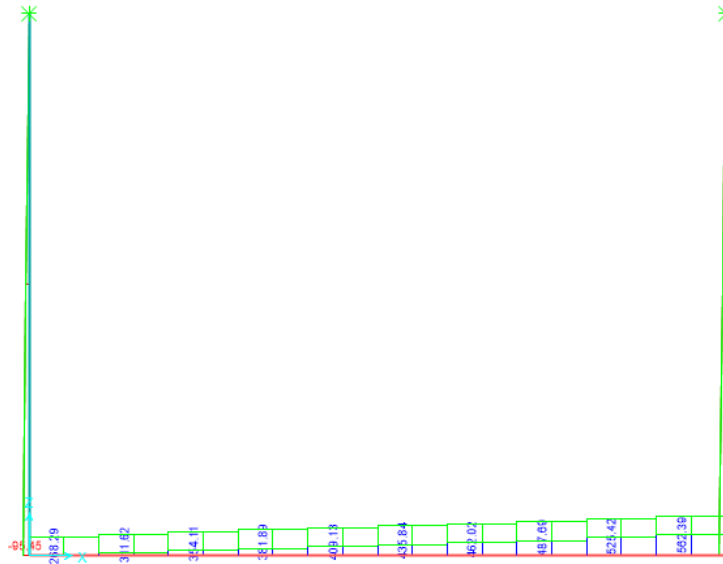
**Fig. 15 – Involuppo SLU\_Static – Sforzo di taglio**







Axial Force Diagram (INV-SLV - Max/Min)



**Fig. 22 – Involuppo SLV\_Sismic – Sforzo Normale**

PROGETTO DEFINITIVO  
RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	96 di 98

## PIEDRITTI 40CM

### INPUT

#### SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N <sub>Sd</sub> [kN]	M <sub>Sd</sub> [kNm]	V <sub>Sd</sub> [kN]
SLE Quasi Permanente	0,0	415,8	256,112
SLE Frequente	0,0	415,8	256,112
SLE Rara	0,0	415,8	256,112
SLU	0,0	577,3	378,2
SLV	0,0	772,2	596,2

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

##### Geometria della sezione

	B [cm]	H [cm]	d [cm]	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]
Base (ortogonale al Taglio)	100			
Altezza (parallela al Taglio)		40		
Altezza utile della sezione			33	
Area di calcestruzzo				4000

##### Armatura longitudinale tesa

	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	10,00	0,00	0
Diametro	φ [mm]	32	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	6,6	11,6	0,0
Area strato	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	80,42	0,00	0,00
Rapporto di armatura	ρ [%]	2,408%		

##### Armatura longitudinale compressa

	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	10,0	0	0
Diametro	φ [mm]	32	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	6,6	11,6	0,0
Area strato	A <sub>s</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]	80,42	0,00	0,00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	2,408%		

##### Armatura trasversale

	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Numero bracci	n <sub>bi</sub>	10	0	0
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	10	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A <sub>sw</sub> /s <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	78,54	0,00	0,00

#### CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

##### Concrete

Resistenza cubica a compressione	RCK	37
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub> [Mpa]	30,00
Resistenza cilindrica media a compressione	f <sub>cm</sub> [Mpa]	38,00
Resistenza media a trazione per flessione	f <sub>ctm</sub> [Mpa]	2,90
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f <sub>ctk</sub> [Mpa]	2,03
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub> [Mpa]	17,00
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f <sub>cd'</sub> [Mpa]	8,98

##### Acciaio

Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> [Mpa]	391,30
--------------------------------------	-----------------------	--------

### OUTPUT

#### VERIFICHE IN ESERCIZIO

##### Verifica Tensionale

	σ limit	
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	σ <sub>c</sub> [Mpa] = 0,00	13,500
Calcestruzzo SLE Rara	σ <sub>c</sub> [Mpa] = 0,00	16,500
Acciaio SLE Rara	σ <sub>s</sub> [Mpa] = 0,00	337,500

##### Verifica di fessurazione

	w limit	
Combinazione SLE Quasi permanente	w <sub>d</sub> [mm] = 0,000	0,200
Combinazione SLE Frequente	w <sub>d</sub> [mm] = 0,000	0,300

#### VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

##### Sollecitazioni di progetto

Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V <sub>Rd1</sub> [kN]	596,2
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N <sub>Sd</sub> [kN]	0,0

##### Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica

Resistenza di progetto senza armatura specifica	V <sub>Rd1</sub> [kN]	414,66
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>Sd</sub>	0,70

##### Verifica di resistenza dell'armatura specifica

CoTan(θ) di progetto	cotan(θ)	1,4
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cls	V <sub>Rd2</sub> (θ) [kN]	1280
Resistenza a taglio dell'armatura	V <sub>Rd3</sub> (θ) [kN]	1280
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd</sub> [kN]	1280
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Sd</sub>	2,15

#### VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

##### Sollecitazioni di progetto

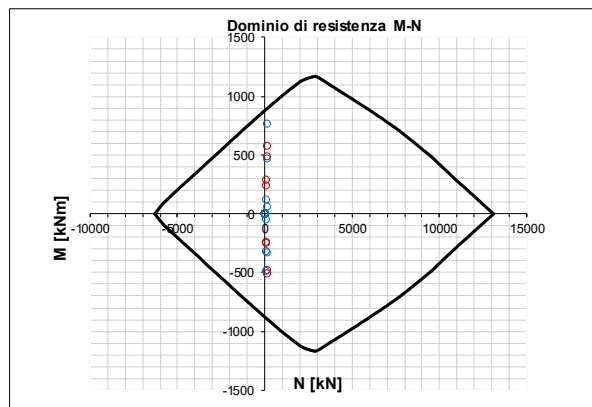
	SLU	SLV	
Momento sollecitante	M <sub>Sd</sub> [kNm]	577,3	772,2
Sforzo Normale concomitante	N <sub>Sd</sub> [kN]	0,0	0,0

##### Verifica di resistenza in termini di momento

	SLU	SLV	
Momento resistente	M <sub>Rd</sub> [kNm]	877,6	877,6
Coefficiente di sicurezza	M <sub>Rd</sub> /M <sub>Sd</sub>	1,52	1,14

##### Verifica di resistenza in termini di sforzo normale

	SLU	SLV	
Sforzo normale resistente	N <sub>Rd</sub> [kN]	-	-
Coefficiente di sicurezza	N <sub>Rd</sub> /N <sub>Sd</sub>	-	-





PROGETTO DEFINITIVO  
 RELAZIONI DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26CL	IN 72 00 001	B	97 di 98

## FONDAZIONE

### INPUT

#### SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

Combinazione	N <sub>sd</sub> [kN]	M <sub>sd</sub> [kNm]	V <sub>sd</sub> [kN]
SLE Quasi Permanente	230,5	415,8	157,002
SLE Frequente	230,5	415,8	157,002
SLE Rara	230,5	415,8	157,002
SLU	380,4	577,3	224,0
SLV	562,4	772,2	186,0

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SEZIONE IN C.A.

##### Geometria della sezione

Base (ortogonale al Taglio)	B [cm]	100
Altezza (parallela al Taglio)	H [cm]	100
Altezza utile della sezione	d [cm]	93
Area di calcestruzzo	A <sub>c</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10000

##### Armatura longitudinale tesa

	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	10,00	0,00	0
Diametro	φ [mm]	20	0	0
Posizione dal lembo esterno	c [cm]	6,6	11,6	0,0
Area strato	A <sub>s</sub> [cm <sup>2</sup> ]	31,42	0,00	0,00
Rapporto di armatura	ρ [%]	0,336%		

##### Armatura longitudinale compressa

	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	
Numero Barre	n	10,0	0	0
Diametro	φ [mm]	20	0	0
Posizione dal lembo esterno	c' [cm]	6,6	11,6	0,0
Area strato	A <sub>s</sub> ' [cm <sup>2</sup> ]	31,42	0,00	0,00
Rapporto di armatura	ρ' [%]	0,336%		

##### Armatura trasversale

	1° TIPO	2° TIPO	3° TIPO	
Diametro	φ [mm]	10	0	0
Numero bracci	n <sub>bi</sub>	10	0	0
Passo	s <sub>w</sub> [cm]	10	0	0
Inclinazione	α [deg]	90	90	90
Area armatura a metro	A <sub>sw</sub> /s <sub>w</sub> [cm <sup>2</sup> /m]	78,54	0,00	0,00

#### CARATTERISTICHE REOLOGICHE DEI MATERIALI

##### Concrete

Resistenza cubica a compressione	RCK	37
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub> [Mpa]	30,00
Resistenza cilindrica media a compressione	f <sub>cm</sub> [Mpa]	38,00
Resistenza media a trazione per flessione	f <sub>ctm</sub> [Mpa]	2,90
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	f <sub>ctk</sub> [Mpa]	2,03
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub> [Mpa]	17,00
Resistenza di progetto delle bielle compresse	f <sub>cd'</sub> [Mpa]	8,98

##### Acciaio

Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub> [Mpa]	391,30
--------------------------------------	-----------------------	--------

### OUTPUT

#### VERIFICHE IN ESERCIZIO

##### Verifica Tensionale

	σ <sub>c</sub> [Mpa]	σ <sub>c</sub> limit
Calcestruzzo SLE Quasi Permanente	3,01	13,500
Calcestruzzo SLE Rara	3,01	16,500
Acciaio SLE Rara	188,59	337,500

##### Verifica di fessurazione

	w <sub>d</sub> [mm]	w <sub>d</sub> limit
Combinazione SLE Quasi permanente	0,000	0,200
Combinazione SLE Frequente	0,000	0,300

#### VERIFICA DI RESISTENZA A TAGLIO

##### Sollecitazioni di progetto

Taglio sollecitante = max Taglio(SLU,SLV)	V <sub>sd</sub> [kN]	224,0
Sforzo Normale concomitante al massimo taglio	N <sub>sd</sub> [kN]	0,0

##### Verifica di resistenza in assenza di armatura specifica

Resistenza di progetto senza armatura specifica	V <sub>Rd1</sub> [kN]	1159,57
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd1</sub> /V <sub>sd</sub>	5,18

##### Verifica di resistenza dell'armatura specifica

CoTan(θ) di progetto	cotAn(θ)	1,4
Resistenza a taglio delle bielle compresse in cl	V <sub>Rd2</sub> (θ) [kN]	3580
Resistenza a taglio dell'armatura	V <sub>Rd3</sub> (θ) [kN]	3580
Resistenza a taglio di progetto	V <sub>Rd</sub> [kN]	3580
Coefficiente di sicurezza	V <sub>Rd</sub> /V <sub>sd</sub>	15,98

#### VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO-FLESSIONE

##### Sollecitazioni di progetto

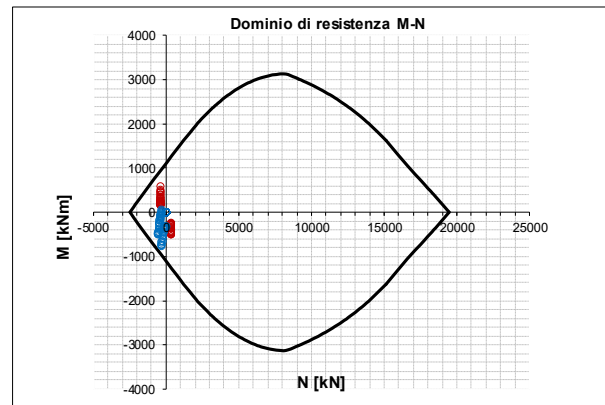
	SLU	SLV	
Momento sollecitante	M <sub>sd</sub> [kNm]	577,3	772,2
Sforzo Normale concomitante	N <sub>sd</sub> [kN]	380,4	562,4

##### Verifica di resistenza in termini di momento

	SLU	SLV	
Momento resistente	M <sub>Rd</sub> [kNm]	936,4	856,8
Coefficiente di sicurezza	M <sub>Rd</sub> /M <sub>sd</sub>	1,62	1,11

##### Verifica di resistenza in termini di sforzo normale

	SLU	SLV	
Sforzo normale resistente	N <sub>Rd</sub> [kN]	1196,0	732,2
Coefficiente di sicurezza	N <sub>Rd</sub> /N <sub>sd</sub>	3,14	1,30



INCIDENZA			
DIAFRAMMI	SOLETTA	PIEDRITTI	FONDAZIONE
120 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>	350 kg/m <sup>3</sup>	150 kg/m <sup>3</sup>

Per il calcolo dell'incidenza della struttura si è utilizzato Excel, grazie al quale tali valori possono essere calcolati automaticamente per ogni elemento. Nell'immagine di seguito si possono vedere quali sono le operazioni di calcolo (e le rispettive formule) collegate direttamente ai fogli di INPUT presenti all'interno di ogni relazione nel capitolo dedicato al risultato delle analisi.

	RIPARTITORI (ACCIAIO)	n	Φ	dist.
		1.00	<b>26</b>	<b>100</b>
$B \times H \times 1m = V$	Volume di calcestruzzo (m3):	0.80		
$\Sigma((\pi \times \Phi^2 / 4) \times 1m \times \gamma_{acciaio}) = P1$	Peso delle armature (kg):	12.50		
$\Sigma((\pi \times \Phi^2 / 4) \times (H+0.3m) \times \gamma_{acciaio}) = P2$	Peso delle staffe (kg):	4.58		
$(P1 + P2) / V =$	INCIDENZA (kg/m3):	21.35		
	<b>INCIDENZA (%10~%30 fattore di sicurezza approssimativo)</b>	<b>25.62</b>		

#### Calcolo della Incidenza

B = larghezza del calcestruzzo

H = altezza del calcestruzzo

$\gamma_{acciaio}$  = peso unitario dell'acciaio

Una volta calcolati i pesi delle armature e delle staffe, vengono divisi per il volume di calcestruzzo per trovare il peso dell'armatura al metro cubo (il peso dell'acciaio è stato considerato pari a 78.5 kN/m3) al quale viene aggiunto un incremento percentuale come fattore di sicurezza. Tale valore, per l'oggetto della struttura, è stato considerato pari a %5.