

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



U.O. OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO

NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA

RADDOPPIO COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO

GALLERIE ARTIFICIALI

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

SCALA:

-

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

RC1C 03 R 11 CL GA0000 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Brunori	Novembre 2021	G. Scasserra A.F. Rotunno	Novembre 2021	I. D'Amore	Novembre 2021	L. Berardi Giugno 2022
B	Emissione a seguito di richiesta integrazioni CSLLPP Parere n°5/2022	F. Brunori	Giugno 2022	G. Scasserra	Giugno 2022	I. D'Amore	Giugno 2022	


File: RC1C.0.3.R.11.CL.GA.00.0.0.001.B.docx

n. Elab.:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 2 di 139</p>

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	Studi pregressi.....	6
1.2	Inquadramento generale della nuova Linea AV	9
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	14
3	SOFTWARE E CODICI DI CALCOLO	15
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	15
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE	16
5.1	Muri a U tra diaframmi (MU05-MU08).....	16
5.2	GA02	18
5.3	GA03 – GA04	19
6	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	21
6.1	MU05 - GA02 - GA03 - GA04.....	23
6.1.1	Parametri geotecnici di calcolo.....	24
6.2	MU08.....	25
6.2.1	Parametri geotecnici di calcolo.....	26
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	27
7.1	Vita nominale e classe d’uso	27
7.2	Parametri di pericolosità sismica	27
8	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	29
9	MODELLO DI CALCOLO	31
9.1	Parametri di spinta del terreno	32


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

9.2	Parametri di deformabilità del terreno	32
10	ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE.....	34
10.1	MU05.....	34
10.1.1	Modello geotecnico.....	34
10.1.2	Analisi dei carichi	35
10.1.2.1	Peso proprio	35
10.1.2.2	Spinta del terreno	35
10.1.2.3	Carichi variabili.....	35
10.1.2.4	Azione sismica	35
10.1.3	Fasi di calcolo	37
10.1.4	Risultati delle analisi.....	43
10.1.4.1	Sollecitazioni SLU	43
10.1.4.2	Spostamenti orizzontali SLE.....	51
10.1.4.3	Parete interna di rivestimento.....	53
10.1.4.4	Verifica Tiranti.....	55
10.1.4.5	Tappo di fondo.....	60
10.2	MU08.....	61
10.2.1	Modello geotecnico.....	61
10.2.2	Analisi dei carichi	62
10.2.2.1	Peso proprio	62
10.2.2.2	Spinta del terreno	62
10.2.2.3	Azione sismica	62
10.2.3	Fasi di calcolo	64
10.2.4	Risultati delle analisi.....	68
10.2.4.1	Sollecitazioni SLU	68
10.2.4.2	Spostamenti orizzontali SLE.....	73
10.2.4.3	Parete interna di rivestimento.....	74
10.2.4.4	Verifica Tiranti.....	74
10.2.4.5	Tappo di fondo.....	80
10.3	GA02.....	81
10.3.1	Modello geotecnico.....	81
10.3.2	Analisi dei carichi	82
10.3.2.1	Peso proprio	82

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	4 di 139

10.3.2.2	Spinta del terreno	82
10.3.2.3	Carichi variabili.....	82
10.3.2.4	Azione sismica	82
10.3.3	Fasi di calcolo	83
10.3.4	Risultati delle analisi.....	90
10.3.4.1	Sollecitazioni SLU	90
10.3.4.2	Spostamenti orizzontali SLE.....	99
10.3.4.3	Parete interna di rivestimento.....	101
10.3.4.4	Verifica Tiranti.....	102
10.3.4.5	Tappo di fondo	107
10.4	GA03-GA04	108
10.4.1	Modello geotecnico.....	108
10.4.2	Analisi dei carichi	109
10.4.2.1	Peso proprio	109
10.4.2.2	Spinta del terreno	109
10.4.2.3	Carichi permanenti	109
10.4.2.4	Carichi variabili.....	109
10.4.2.5	Azione sismica	109
10.4.3	Fasi di calcolo	110
10.4.4	Risultati delle analisi.....	123
10.4.4.1	Sollecitazioni SLU	123
10.4.4.2	Spostamenti orizzontali SLE.....	133
10.4.4.3	Parete interna di rivestimento.....	137
10.4.4.4	Verifica Puntoni	138
10.4.4.5	Tappo di fondo	139

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 5 di 139

1 PREMESSA

Il 19 maggio 2020 con Decreto Legge n. 34 “*Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all’economia, nonché di politiche sociali connesse all’emergenza epidemiologica da COVID-19*”, convertito in legge il 17 luglio 2020, con la legge n.77, all’art. 208 recante “*disposizioni per il rilancio del settore ferroviario*” al comma 3 è stato sancito che “*a valere sulle risorse attribuite a Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. nell’ambito del riparto delle risorse del Fondo di cui all’articolo 1, comma 140, della legge 11 dicembre 2016, n.232, e non finalizzate a specifici interventi nell’ambito del Contratto di programma 2017-2021, la predetta Società è autorizzata ad utilizzare l’importo di euro 25 milioni per l’anno 2020 e di euro 15 milioni per l’anno 2021 per la realizzazione del progetto di fattibilità tecnico-economica degli interventi di potenziamento, con caratteristiche di alta velocità, delle direttrici ferroviarie Salerno-Reggio Calabria, Taranto-Metaponto-Potenza-Battipaglia e Genova-Ventimiglia.*”, dando il via libera alla progettazione di fattibilità tecnica ed economica della linea ad alta velocità per la tratta Salerno-Reggio Calabria.

L’alta velocità nel sud del paese rappresenta un’opportunità importante per le regioni meridionali per un recupero del gap infrastrutturale esistente. La nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria costituisce la continuità di un itinerario strategico passeggeri e merci per la connessione tra il sud della penisola e il nord attraverso il corridoio dorsale, asse principale del paese. In particolare:

- a livello europeo fa parte del corridoio Scandinavo – Mediterraneo della rete TEN-T;
- a livello nazionale fa parte della rete SNIT di primo livello ed è necessaria per ridurre il gap infrastrutturale fra nord e sud del Paese;
- a livello locale rappresenta un progetto strategico per collegare le regioni interessate con la parte centro-settentrionale del paese.

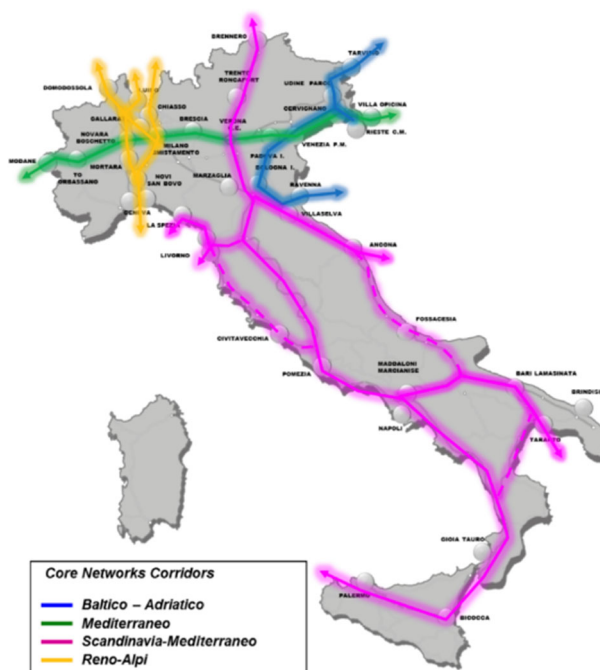



Figura 1 Corridoi Europei TEN-T in Italia

Il nuovo collegamento consentirà di incrementare i livelli di accessibilità alla rete AV per diverse zone a elevata valenza territoriale quali il Cilento e il Vallo di Diano, la costa Jonica, l'alto e il basso Cosentino, l'area del Porto di Gioia Tauro e il Reggino, oltre che velocizzare anche collegamenti verso Potenza, verso la Sicilia, verso i territori della Calabria sul Mar Jonio (Sibari, Crotona) e verso Cosenza e, allo stesso tempo, contribuirà in maniera significativa al potenziamento dell'itinerario merci Gioia Tauro – Paola – Bari (corridoio Adriatico).

Questa configurazione risponde perfettamente anche al modello di servizi Lunga Percorrenza, garantendo non solo un collegamento tra i principali nodi metropolitani e i punti di adduzione dell'offerta regionale quali Praia, Paola, Lamezia, Rosarno, Gioia Tauro, Villa S. Giovanni, ma anche località ad alta valenza turistica quali Maratea, Vallo della Lucania, Scalea, Vibo Pizzo e, con opportuni interventi, anche verso la costa ionica.

La realizzazione di una nuova infrastruttura tra Salerno e Reggio Calabria avrà dei parametri di prestazione tali da poter assicurare non solo il traffico passeggeri veloce, ma anche il trasporto merci. Questo in particolare nei tratti di linea dove l'itinerario alternativo sulla storica non consente flussi di trasporto merci con le prestazioni oggi richieste dal mercato. In particolare, si fa riferimento al tratto Salerno – Battipaglia – Paola in cui la linea attuale è caratterizzata da pendenze accentuate e da sagoma P/C 32. Per questo motivo le caratteristiche della nuova linea dovrebbero consentire le prestazioni più elevate per il trasporto merci.

1.1 Studi pregressi

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 7 di 139

Il prolungamento della linea AV verso il sud del paese è stato già oggetto negli anni passati di studi di fattibilità e fasi preliminari della progettazione, in particolare:

- Per quanto riguarda la tratta Salerno – Battipaglia, nel 2003 RFI ha inviato al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) il progetto preliminare “Quadruplicamento Salerno – Battipaglia”, avviando di fatto l’iter di approvazione in procedura Legge Obiettivo (Legge 443/01), modificato nel 2005 a seguito delle richieste, formulate nell’ambito dello svolgimento della VIA, di individuare delle possibili configurazioni alternative di tracciato tali da ridurre delle interferenze con delle aree fortemente antropizzate. Il progetto ottenne nel 2005 un parere positivo VIA con prescrizioni.
- Per la tratta Battipaglia – Reggio Calabria nel 2005 RFI ha sviluppato uno studio di fattibilità dell’opera rispondendo alla Legge Obiettivo che aveva individuato nella Linea AV/AC tra Battipaglia e Reggio Calabria elemento essenziale del “Corridoio europeo I Berlino – Palermo”, oggi corridoio Scandinavo Mediterraneo, ed elemento di completamento della rete nazionale, mirato ad aumentare capacità e prestazioni a favore dei servizi passeggeri di media e lunga percorrenza e di alcuni importanti itinerari merci.

Nello studio di fattibilità dell’opera furono individuati e studiati cinque diversi tracciati in grado di mantenere le caratteristiche tecnico prestazionali delle linee AV/AC più a nord del paese, con una velocità di tracciato di 300km/h.

In particolare, furono individuati 3 corridoi principali (Figura 2) così denominati:

- *tirrenico*
- *autostradale*
- *ionico*

in cui il Corridoio Autostradale e il Corridoio Tirrenico coincidevano per il tracciato a sud di Lamezia Terme, e due ulteriori corridoi, determinati dalla combinazione dei precedenti:

- *autostradale + ionico*
- *tirrenico + ionico*



Figura 2 Nuova linea AV SA – RC. Studio corridoi tratta Battipaglia – Reggio Calabria.

La lunghezza dei tracciati individuati e studiati variava da un minimo di 343 km (Tirrenico) ad un massimo di 495 km (Alternativa Ionica) e i tempi di percorrenza tra Roma e Reggio Calabria nelle diverse alternative, erano compresi tra 3 ore e 44 minuti e 4 ore e 15 minuti; l'accessibilità ottenibile dai vari corridoi variava in modo consistente a seconda del tracciato e dei territori toccati (Figura 3).

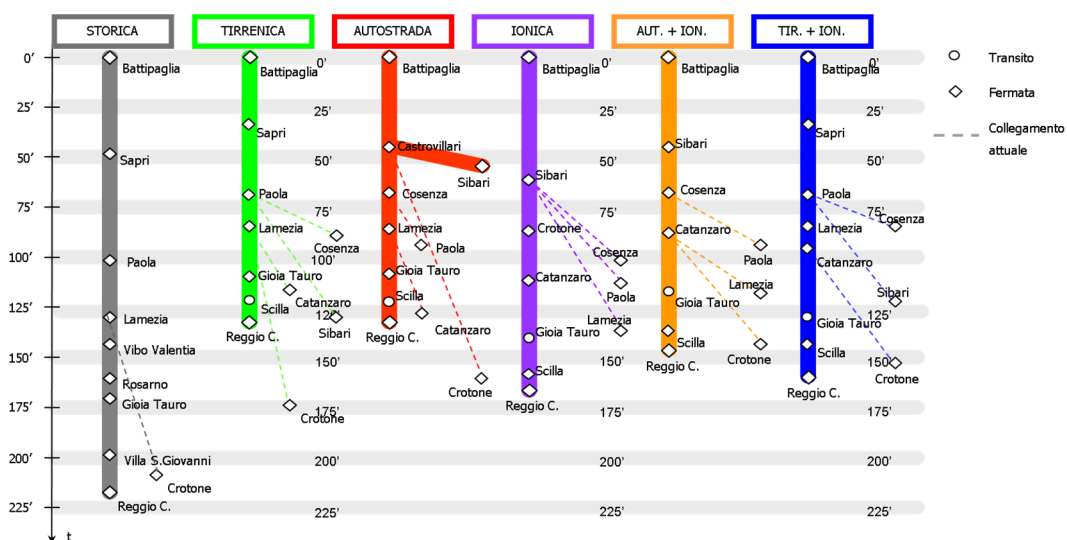


Figura 3 Nuova linea AV SA – RC. Tempi di percorrenza e accessibilità alternative di tracciato tratta Battipaglia – Reggio Calabria.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

L'opera risulta particolarmente complessa dal punto di vista costruttivo; infatti, la lunghezza del tracciato e la particolare orografia del territorio (prevalentemente montuoso) rendono necessaria la realizzazione di numerose opere d'arte quali viadotti e gallerie. Esprimendo la complessità come la quota del tracciato che si sviluppa in viadotto o galleria le cinque alternative studiate variavano da un minimo del 73% ad un massimo dell'84% (Figura 4).

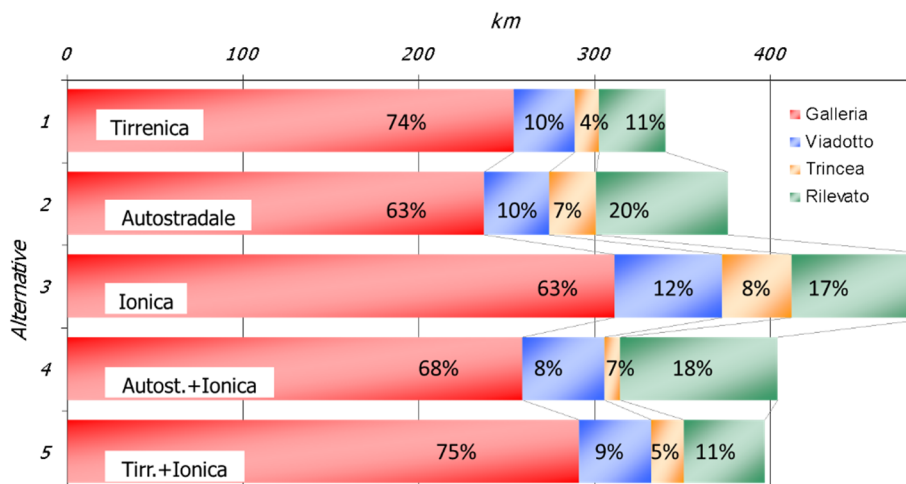


Figura 4 Nuova linea AV SA – RC. Incidenza tipologia di opere alternative di tracciato tratta Battipaglia – Reggio Calabria.

Al fine di definire l'alternativa migliore nello Studio furono valutate le singole alternative in un'analisi multi-obiettivo, individuando criteri che fossero valutabili e quantificabili e che fossero in grado di rappresentare, con diverso livello di dettaglio, l'insieme degli effetti delle diverse alternative di progetto, dal punto di vista progettuale, trasportistico, territoriale, economico-finanziario ed ambientale.

La verifica economico-finanziaria delle cinque alternative sopra richiamate indicò che nessuna di queste risultava in grado di generare una redditività sociale, mentre l'analisi multicriteria indicava come soluzione preferibile la tirrenica. Tuttavia, la molteplicità di interessi e la complessità del progetto non consentivano nemmeno a questa alternativa di soddisfare appieno tutti gli obiettivi della collettività.

1.2 Inquadramento generale della nuova Linea AV

L'attuale progettazione ha ridefinito gli obiettivi alla base della scelta del corridoio infrastrutturale in:

- ridurre i tempi di percorrenza tra Roma e il Sud del Paese, in particolare verso Reggio Calabria e la Sicilia, entro le 4 ore, realizzando una sorta di isocrona dalla Capitale in conformità con quanto già in essere con altre località del Nord del Paese.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 10 di 139

- rendere il sistema ferroviario veloce più accessibile, ricercando soluzioni tali da ampliarne l’area di influenza, sia in termini di capillarità dei servizi AV offerti che di soluzioni infrastrutturali, prevedendo nuove interconnessioni, piuttosto che nuove fermate lungo linea, in un’ottica di mobilità integrata.
- ricercare degli interventi “sostenibili”, in primis dall’impatto ambientale generato, ma anche in termini di loro fattibilità (realizzativa, gestionale...) e conseguentemente economica.

Alla luce della ridefinizione degli obiettivi, **il corridoio infrastrutturale tra Salerno e Reggio Calabria definito “autostradale” è stato individuato come il miglior compromesso**, data la sua posizione baricentrica rispetto ai territori attraversati, in termini di dimensione della domanda soddisfatta e di miglioramento delle prestazioni.

La nuova Linea AV Salerno – Reggio Calabria è suddivisa nei seguenti lotti funzionali (Figura 5):

- Lotto 0: Salerno – Battipaglia
- Lotto 1: Battipaglia – Praia:
 - Lotto 1a: Battipaglia – Romagnano
 - Lotto 1b: Romagnano – Buonabitacolo
 - Lotto 1c: Buonabitacolo - Praia
- Lotto 2: Praia – Tarsia
- Lotto 3: Tarsia – Cosenza + Raddoppio Paola/S. Lucido-Cosenza (interconnessione con LS)
- Lotto 4: Cosenza – Lamezia Terme
- Lotto 5: Lamezia Terme – Gioia Tauro
- Lotto 6: Gioia Tauro – Reggio Calabria



Figura 5 Nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria: suddivisione in lotti funzionali

Tra la realizzazione dei vari lotti, è stato individuato lo scenario prioritario costituito dagli interventi (Figura 6):

- Lotto 1: Battipaglia – Praia
- Lotto 2: Praia – Tarsia
- Lotto 3: Raddoppio Paola/S. Lucido-Cosenza (interconnessione con LS)



Figura 6 Nuova linea AV Salerno – Reggio Calabria: scenario prioritario in rosso

La presente progettazione di fattibilità tecnica ed economica ha ad oggetto il Raddoppio Paola/S. Lucido – Cosenza (**Galleria Santomarco**), individuato come strettamente correlato alla realizzazione della nuova linea AV e finalizzato a potenziare il traffico passeggeri/merci della linea.

L'intervento di raddoppio si sviluppa per un'estensione di circa 22.2 km, di cui circa 17 km in sotterraneo (galleria naturale e gallerie artificiali). L'opera più rilevante dell'intervento è rappresentata dalla nuova galleria Santomarco inserita nell'itinerario tra la tratta Paola/S. Lucido – Cosenza, la cui configurazione finale prevede la realizzazione di una galleria a doppia canna e a singolo binario con interasse di circa 60 m e con la presenza dei bypass (collegamenti trasversali tra le canne) ogni 500 m.

I restanti 5,2 km sono relativi a tratte all'aperto, che comprendono altre opere quali trincee, rilevati e viadotti. La tratta all'aperto lato Cosenza prevede una sezione di lunghezza pari a circa 3,2 km, si sviluppa prevalentemente come raddoppio della linea esistente (incluso tratti in rilevato in stretto affiancamento e due nuovi importanti viadotti in raddoppio a quelli esistenti), cui si aggiunge un tratto di nuova realizzazione a doppio binario che conduce all'imbocco della nuova

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	13 di 139

galleria a doppia canna. In questo tratto si inseriscono brevi tratti in rilevato e trincea a doppio binario, ma soprattutto in esso è inserita la nuova fermata di Rende.

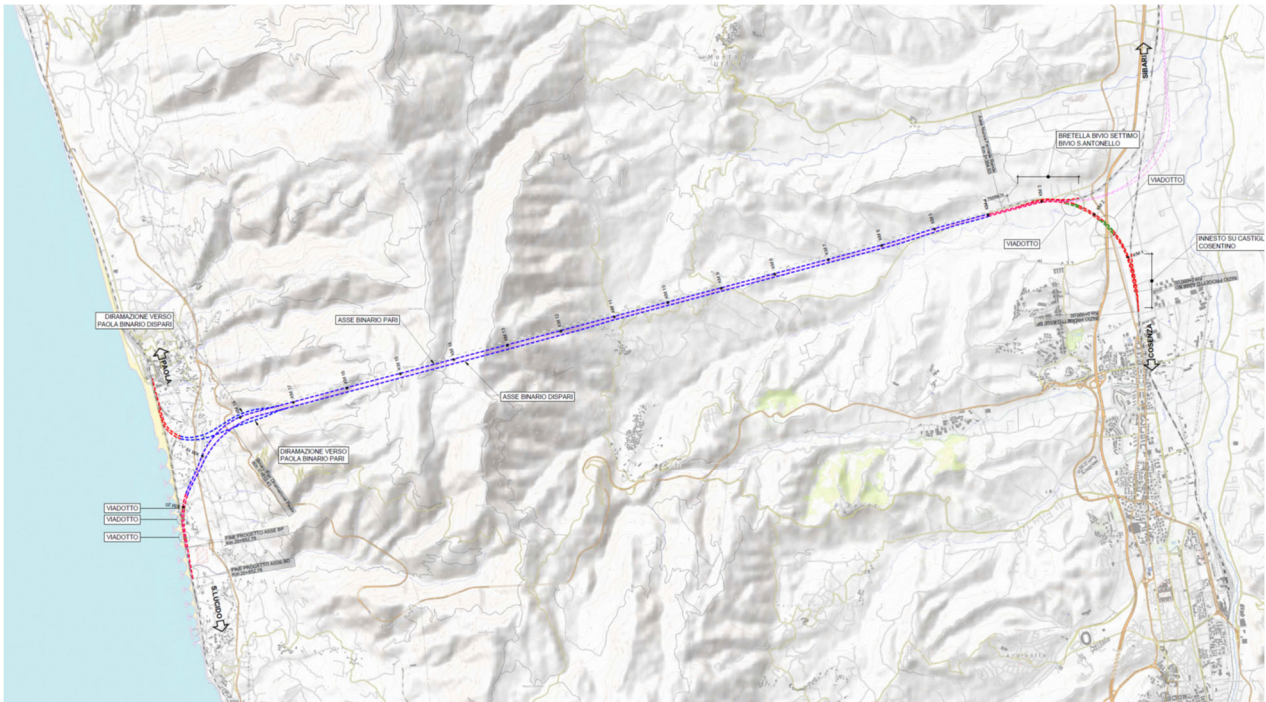


Figura 7 Corografia dell'intervento

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 14 di 139</p>

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- [1]. L. n. 1086 del 5/11/1971“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- [2]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [3]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [4]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.
- [5]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [6]. RFI DTC SI MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [7]. RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [8]. UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [9]. UNI EN 1992-1-1:2015 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- [10]. UNI EN 1992-2:2006 Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi
- [11]. UNI EN 1997-1:2013 Parte 1: Regole generali
- [12]. UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo
- [13]. UNI EN 1998-1:2013 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [14]. UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 15 di 139</p>

3 SOFTWARE E CODICI DI CALCOLO

- Il programma di calcolo utilizzato è “PARATIEPLUS” della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Relazione geotecnica delle opere all’aperto

RC1C.0.3.R.11.GE.GE.00.0.1.001

- Profili geotecnici

RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.001

RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.002

RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.003

RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.004

RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.005

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 16 di 139

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Oggetto della presente relazione è il predimensionamento delle GA e, in continuità ad esse, i muri ad U tra diaframmi, le casistiche riscontrabili nel progetto sono:

- Muri a U realizzati tra diaframmi tirantati in fase provvisoriale (MU05 – MU08)
- Gallerie artificiali doppio binario scavate tra diaframmi tirantati in fase provvisoriale, con realizzazione di una scatola interna con separazione dei binari mediante setto centrale (GA02-GA20)
- Gallerie artificiali singolo binario, scavate tra diaframmi puntonati in fase provvisoriale, con realizzazione di una scatola interna (GA03-GA04)

Nei paragrafi successivi verranno analizzate le sezioni ritenute maggiormente significative in funzione delle condizioni geotecniche, della falda e del ricoprimento.

5.1 Muri a U tra diaframmi (MU05-MU08)

Per quanto riguarda i muri ad U realizzati tra diaframmi, si considerano due tipologie di sezioni. La prima sezione è rappresentativa della WBS **MU05**. Essa è situata in corrispondenza di TR20 (stazione di Rende) ed è realizzata mediante paratie di diaframmi di spessore 1.2 e lunghezza 20m, con due ordini di tiranti (a profondità -2.0 e -6.0 da p.c.) in fase provvisoriale. A seguire si riportano le fasi di realizzazione:

- realizzazione dei diaframmi, e del tappo di fondo in *jet-grouting*;
- scavo (per step con inserimento dei tiranti provvisoriale) fino a quota intradosso soletta di base;
- realizzazione della soletta di base di spessore 1.1m;
- realizzazione delle pareti del muro ad U di rivestimento di spessore 1.1m, con progressiva dismissione dei tiranti, (nei successivi calcoli non è modellata la struttura dei muri interni).

In questa zona la falda si trova a circa 2.2m da p.c., pertanto è stato previsto l'utilizzo di un tappo di fondo per impermeabilizzare l'opera.

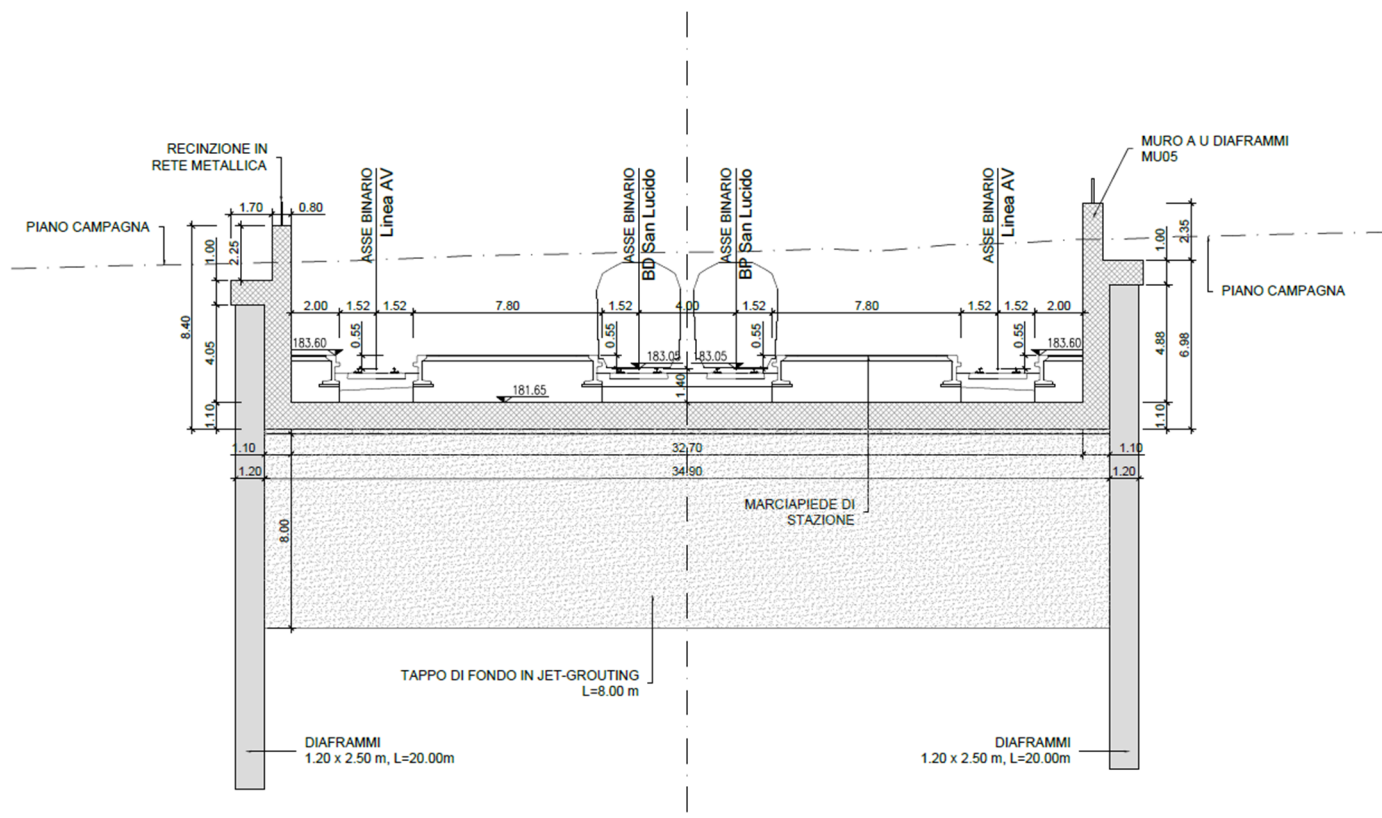


Figura 8 Sezioni Tipo Muro a U tra diaframmi Tipo 1

La seconda tipologia di muri ad U tra diaframmi è stata adottata per la WBS **MU08** (e per analogia assimilabile anche alla MU07) ed è situata in corrispondenza della TR03. Essa è realizzata mediante paratie di diaframmi di spessore 1.2 e lunghezza 20m per la paratia di monte e 15m per la paratia di valle, dovuto ad un salto di quota del p.c. tra monte e valle. La paratia di monte presenta anche un ordine di tiranti provvisionali (a profondità -3.5 da p.c.); di seguito si riportano le fasi di realizzazione:

- realizzazione dei diaframmi, e del tappo di fondo in *jet-grouting*,
- scavo (per step con inserimento dei tiranti provvisionali) fino a quota intradosso soletta di base;
- realizzazione della soletta di base di spessore 1.1m;
- realizzazione delle pareti del muro ad U di rivestimento di spessore 1.1m, con progressiva dismissione dei tiranti, (nei successivi calcoli non è modellata la struttura dei muri interni).

In questa zona la falda si trova a circa 4.2m da p.c., pertanto è stato previsto l'utilizzo di un tappo di fondo per impermeabilizzare l'opera.

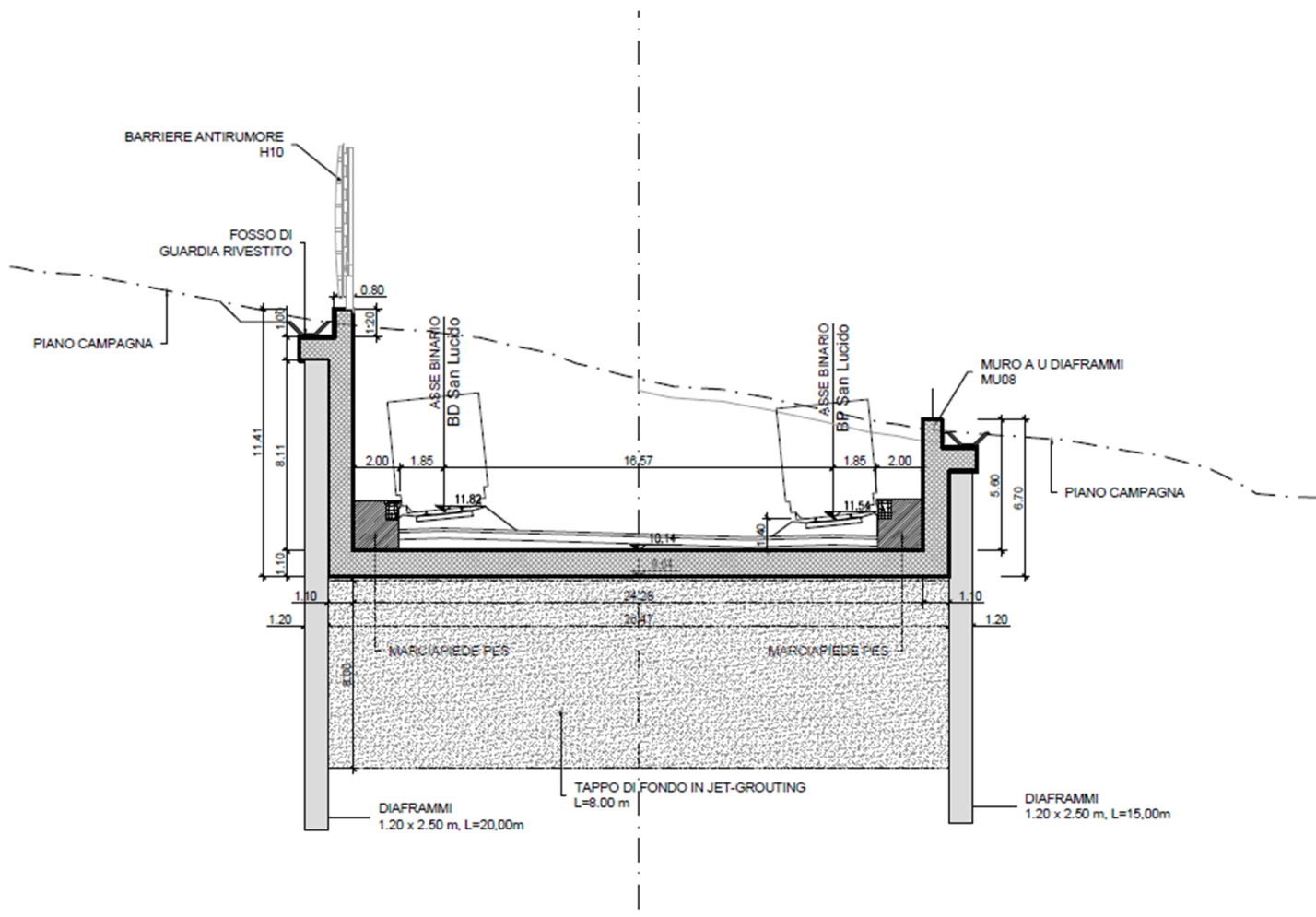


Figura 9 Sezioni Tipo Muro a U tra diaframmi Tipo2

5.2 GA02

La GA02, è situata tra le gallerie artificiali di imbocco alla nuova galleria naturale GN01 e la stazione di Rende ed è realizzata mediante lo scavo dall'alto tra diaframmi di spessore 1.2m e lunghezza 22m. Durante le fasi di scavo si prevede l'installazione di due ordini di tiranti a carattere provvisorio posti a quota -2.0 e -6.0m da p.c.; di seguito si riportano le fasi di realizzazione:

- realizzazione dei diaframmi, e del tappo di fondo in *jet-grouting*,
- scavo (per step con inserimento dei tiranti provvisori) fino a quota intradosso soletta di base;
- realizzazione della soletta di base di spessore 1.1m;
- realizzazione delle pareti di rivestimento di spessore 1.1m, con progressiva dismissione dei tiranti, e del setto centrale, (nei successivi calcoli non è modellata la struttura delle pareti interne).
- realizzazione della soletta di copertura di spessore 1.1m

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	19 di 139

- ricoprimento della soletta superiore.

In questa zona la falda si trova a circa 2.2m da p.c., pertanto è stato previsto l'utilizzo di un tappo di fondo.

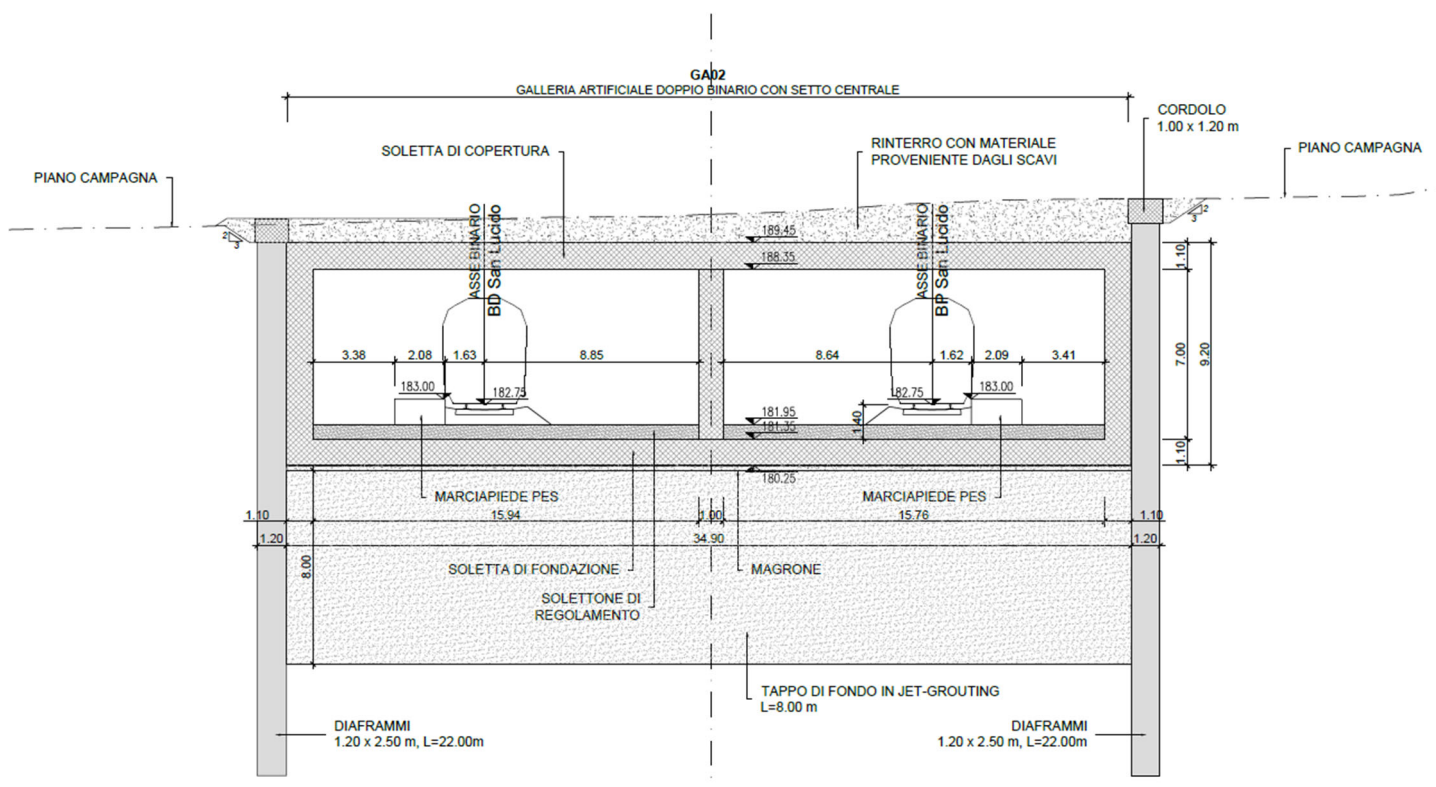


Figura 10 Sezioni Tipo GA02 tra diaframmi

5.3 GA03 – GA04

La GA03 e la GA04, sono situate tra la galleria artificiale GA02 e la nuova galleria naturale GN01. Sono scatolari a singolo binario, realizzati mediante lo scavo dall'alto tra diaframmi di spessore 1.0m e lunghezza 25m. Durante le fasi di scavo si prevede l'installazione di tre ordini di puntoni a carattere provvisorio posti a quota -0.5, -3.5 e -10.0m da p.c.; di seguito si riportano le fasi di realizzazione:

- realizzazione dei diaframmi, e del tappo di fondo in *jet-grouting*,
- scavo (per step con inserimento dei puntoni provvisori) fino a quota intradosso soletta di base;
- realizzazione della soletta di base di spessore 1.3m;
- realizzazione delle pareti di rivestimento di spessore 1.1m, con progressiva dismissione dei tiranti, e del setto centrale, (nei successivi calcoli non è modellata la struttura delle pareti interne).
- realizzazione della soletta di copertura di spessore 1.1m
- ricoprimento della soletta superiore.

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	20 di 139

In questa zona la falda si trova a circa 2.2m da p.c., pertanto è stato previsto l'utilizzo di un tappo di fondo per impermeabilizzare l'opera.

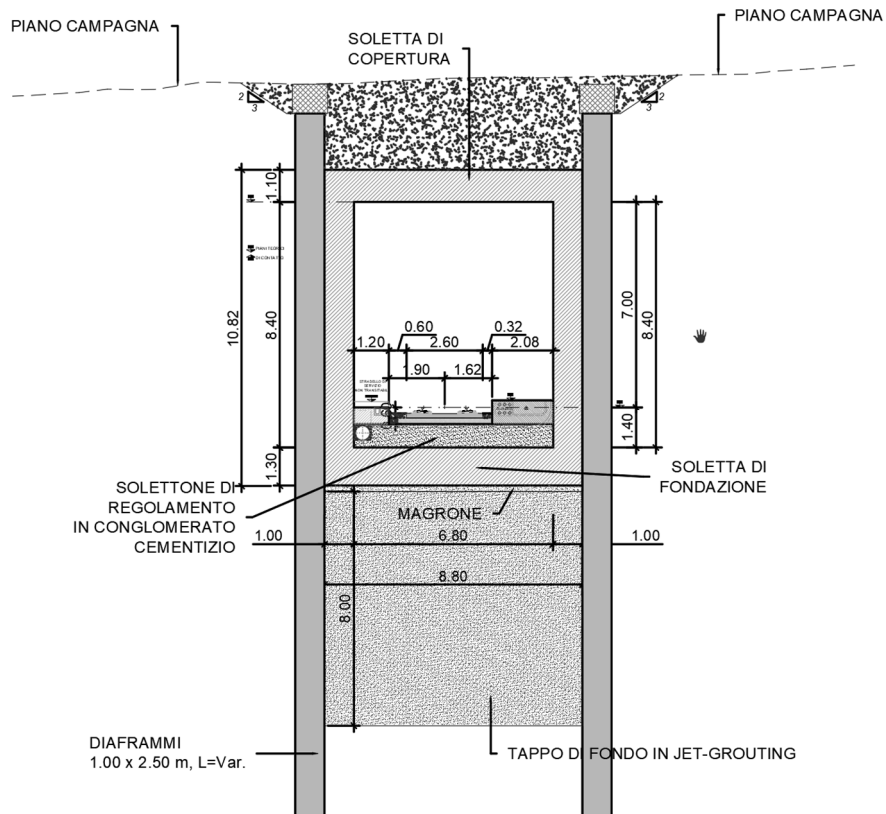



Figura 11 Sezioni Tipo GA03-GA04 tra diaframmi

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

6 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

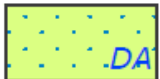
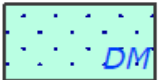
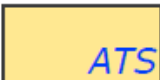
La caratterizzazione geotecnica di riferimento adottata nelle seguenti analisi fa riferimento alla Relazione geotecnica opere all'aperto, mentre per l'assetto stratigrafico e la falda si fa riferimento ai Profili geotecnici di cui si riportano di seguito i riferimenti:

Relazione geotecnica opere all'aperto	-	RC1C.0.3.R.11.GE.GE.00.0.1.001
Profilo geotecnico - Tav. 1 di 5	1:2500/250	RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.001
Profilo geotecnico - Tav. 2 di 5	1:2500/250	RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.002
Profilo geotecnico - Tav. 3 di 5	1:2500/250	RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.003
Profilo geotecnico - Tav. 4 di 5	1:2500/250	RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.004
Profilo geotecnico - Tav. 5 di 5	1:2500/250	RC1C.0.3.R.11.LZ.GE.00.0.1.005

I parametri geotecnici e il modello stratigrafico di riferimento sono riportati in dettaglio nel capitolo 10, dove vengono riportati i risultati delle analisi delle opere.


La falda di progetto, sulla base di quanto riportato nel profilo geotecnico, si trova a profondità variabili, in alcune sezioni è così profonda da non essere interferente con le opere mentre in altre si trova più superficiale, a 4-5 m dal piano campagna. L'indicazione della profondità della falda è inclusa nella descrizione di ciascuna sezione analizzata.

Le unità geotecniche individuate sono riepilogate nello schema seguente:

Unità DA: Depositi Alluvionali (Successioni Continentali Quaternarie)		
	Ghiaie eterometriche, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa	Ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante, talora da poco a mediamente cementate; sabbie e sabbie limose a struttura indistinta o laminata, con locali ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, a luoghi debolmente cementate.
Unità DM: Depositi Marini (Successioni Marine Quaternarie)		
	Ghiaie eterometriche, in matrice sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa	Ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa da scarsa ad abbondante, talora da poco a mediamente cementate; sabbie e sabbie limose a stratificazione indistinta o incrociata, con locali ghiaie eterometriche, da sub-arrotondate ad arrotondate, a luoghi debolmente cementate, talora sono presenti livelli di limi argilloso-sabbiosi.
Unità ATS: Argille del Torrente Settimo (Successioni Marine Plio-Pleistoceniche)		
	Argille limose e limi argillosi	Argille limose e limi argillosi grigi e grigio-azzurri, con frequenti intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi; talora sono presenti passaggi decimetrici di sabbie e sabbie limose; a luoghi si rinvengono lenti di ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbioso limosa, da scarsa ad abbondante.
Unità ALD: Argille Marnose (Successioni Marine Mioceniche)		

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	22 di 139

	Argille limose / mar- nose	Argille limo e argille marnose, in genere sottilmente stratificate, locali livelli di argille nodulari e frequenti intercalazioni millimetriche e centimetriche di sabbie e sabbie limose, a struttura indistinta o laminata. A luoghi si rinvencono intercalazioni di arenarie, calcari e marne, finemente laminate, e lenti di ghiaie poligeniche ed eterometriche in abbondante matrice sabbioso-limosa.
---	-------------------------------	---

Di seguito il riepilogo dei parametri delle unità geotecniche.

UNITÀ				
	DA	ATS	DM	ALD
γ [kn/m ³]	19.5	20	20	20.5
e[-]	0.6	0.6	0.6	0.5
Ip[%]	na	20	na	30
IC[%]	na	1.1	na	1.5
ϕ [°]	30 ÷ 35	25.0÷27	30-38	22 ÷ 26
c' [kPa]	0 ÷ 10	20 ÷ 25	0 ÷ 5	10 ÷ 40
cu [kPa]	na	100-220	na	200-300
Eyoung [MPa]	z<10: 20	z<15: 15	z<10: 30	z<10: 20
	10<z<30: 35	15<z<45: 25	z>10: 45	10<z<25: 40
				z>25: 60
K [m/s]	1.00E-06	5.00E-08	2.00E-06	5.00E-08
OCR	na	1.5	na	1.5
Cc	na	0.216	na	0.158
Cs	na	0.076	na	0.052
C _{ae}	na	Vedi Rel. Geo- tecnica	na	Vedi Rel. Geo- tecnica

6.1 MU05 - GA02 - GA03 - GA04

Nel seguito una descrizione delle principali unità geotecniche identificate a seguito della campagna di indagini effettuata, e i principali parametri geotecnici e dei livelli di falda, assunti per la progettazione.

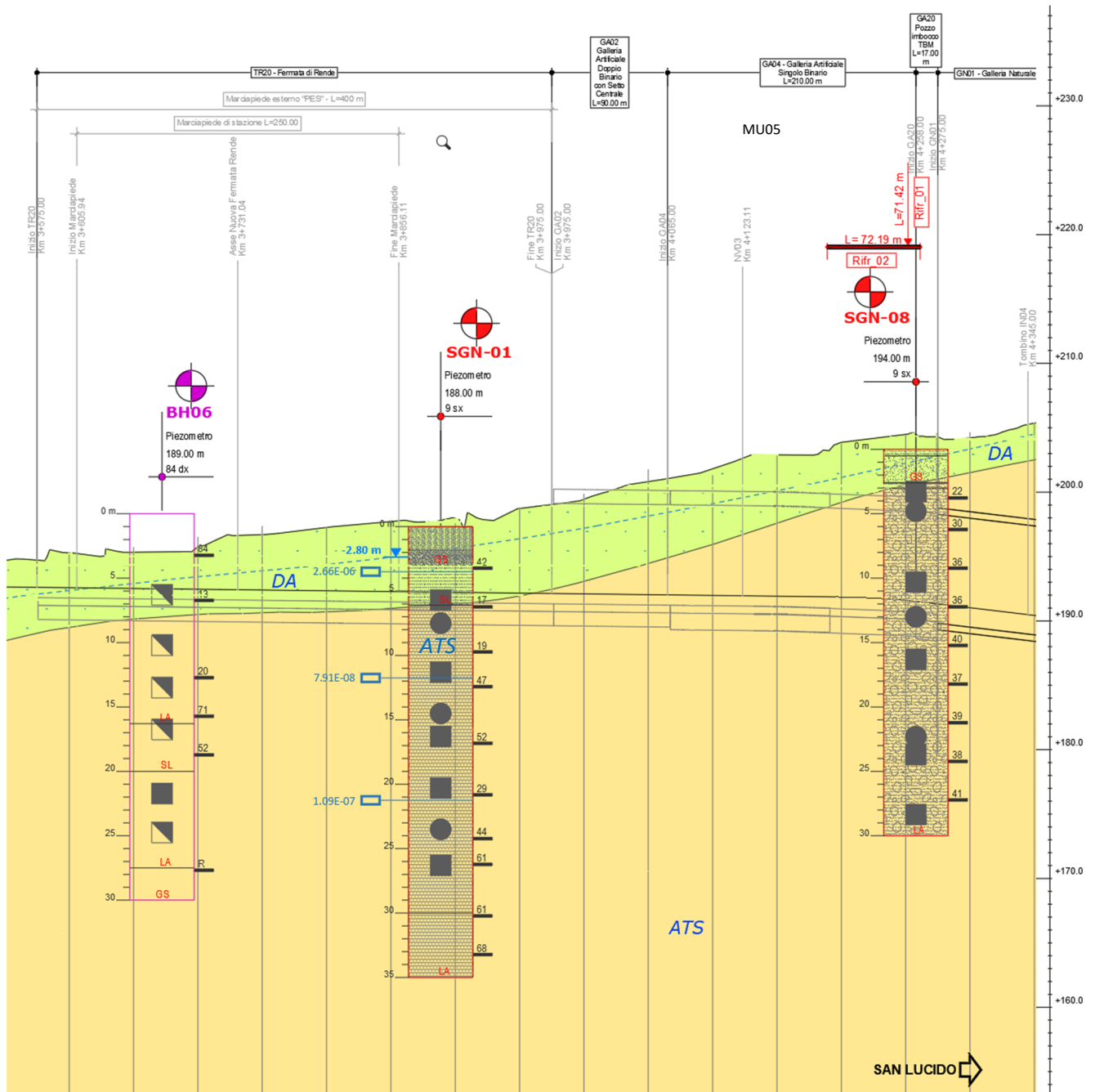


Figura 12 – Profilo geotecnico linea BP in corrispondenza di MU05 (TR20), GA02, GA03 e GA04. La GA03 è in ombra alla GA04, in corrispondenza del BD della linea.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 24 di 139</p>

La falda di trova ad una profondità di 2.2 m dal p.c

6.1.1 Parametri geotecnici di calcolo

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	φ (°)	c' (kPa)	E (MPa)	k (m/s)	τ_{lim} (kPa)
DA	19.5	32.5	5	20	1.0E-6	200
ATS	20	26	22	15	5.0E-8	100

Dove:

γ = peso di volume naturale

φ' = angolo di resistenza al taglio

c' = coesione drenata

E = modulo di Young

k = coefficiente di permeabilità

τ_{lim} = tensione di aderenza

6.2 MU08

Nel seguito una descrizione delle principali unità geotecniche e i principali parametri geotecnici e dei livelli di falda, assunti per la progettazione.

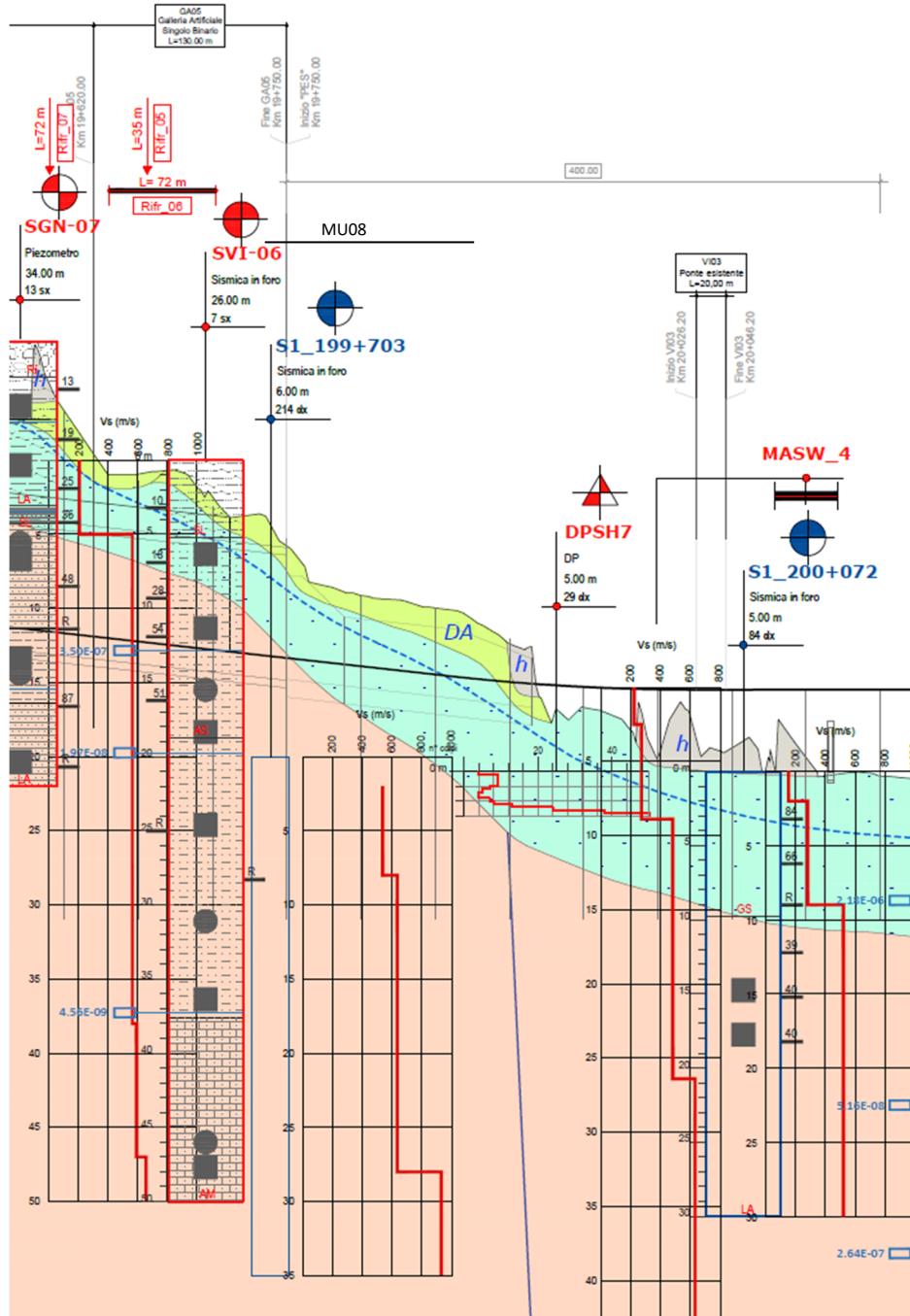


Figura 13 – Profilo geotecnico linea BP in corrispondenza della TR03.

La falda di trova ad una profondità di 4.27 m dal p.c.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 26 di 139</p>

6.2.1 Parametri geotecnici di calcolo

Unità geotecnica	γ (kN/m ³)	φ (°)	c' (kPa)	E (MPa)	k (m/s)	τ_{lim} (kPa)
DA	19.5	32.5	5	20	1.0E-6	200
DM	20	34	2	30	1.0E-6	200
ALD	20.5	24	25	20	5.0E-8	100

Dove:

γ = peso di volume naturale


φ' = angolo di resistenza al taglio

c' = coesione drenata

E = modulo di Young

k = coefficiente di permeabilità

τ_{lim} = tensione di aderenza

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

7.1 Vita nominale e classe d'uso

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica è necessario definire, oltre alla localizzazione geografica del sito, la Vita nominale dell'opera strutturale (V_N), intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, e la Classe d'Uso a cui è associato un coefficiente d'uso (C_U).

Le opere in oggetto previste nella stazione sono classificate come “*costruzione con livelli di prestazioni ordinarie*” e caratterizzate da una vita nominale di **75** anni. In relazione alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla classe d'uso **III**: “*Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso*”. Pertanto, il coefficiente d'uso è pari a (NTC – Tabella 2.4.II): $C_U = 1,5$.

I parametri di pericolosità sismica vengono quindi valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U , ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$


Pertanto, per l'opera in oggetto, il periodo di riferimento è pari a $V_R = 75 \times 1,5 = 112,5$ **anni**

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

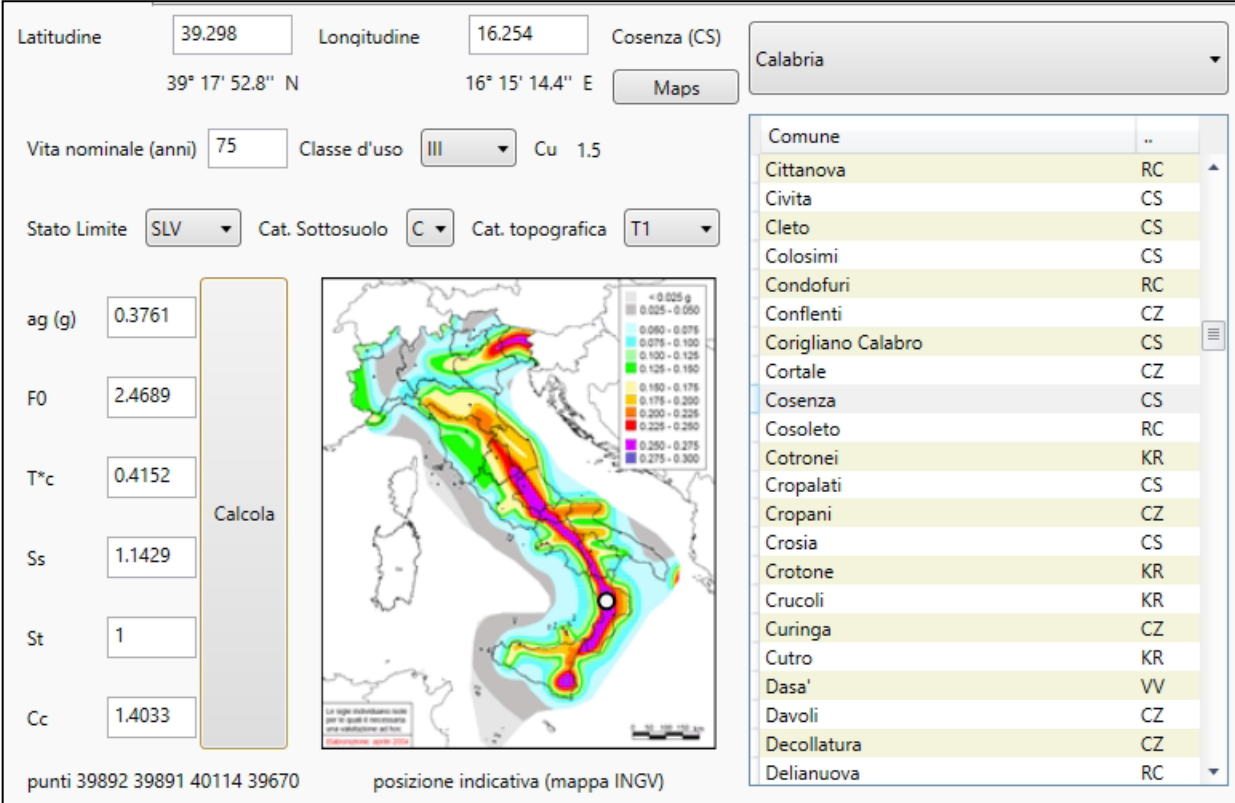
7.2 Parametri di pericolosità sismica

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica / V_R) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

- Categoria sottosuolo **C**
- Categoria topografica **T1**

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

In accordo a quanto riportato in Allegato A delle Norme Tecniche per le costruzioni DM 17.01.18, si ottiene per il sito in esame:



The screenshot shows a software interface for seismic design. On the left, input fields are filled with values: Latitude (39.298), Longitude (16.254), Nominal life (75 years), Use class (III), Cu (1.5), State limit (SLV), Subsoil category (C), Topographic category (T1), and various seismic parameters (ag: 0.3761, F0: 2.4689, T*c: 0.4152, Ss: 1.1429, St: 1, Cc: 1.4033). A 'Calcola' button is present. In the center, a map of Italy shows seismic hazard contours with a legend ranging from 0.025 g to 0.300 g. On the right, a dropdown menu is set to 'Calabria' and a list of municipalities is shown with their corresponding codes (e.g., Citanova RC, Civita CS, etc.).

Figura 14 – Parametri sismici di progetto: parametri per lo Stati Limite SLV

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g$$

dove:


$S_S=1.1429$ Coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T=1.0000$ Coefficiente di amplificazione topografica

$a_g=0.3791\text{ g}$ Accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento

ne deriva che:

$$a_{\max}=1,1429*1*0.3761\text{ g} = 0,4298\text{ g}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

8 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Le analisi di verifica delle gallerie artificiali sono state effettuate secondo le NTC 2018 tenendo conto di possibili SLU sia di tipo geotecnico-idraulico (GEO) sia di tipo strutturale (STR). Nello specifico sono state effettuate le verifiche dei seguenti stati limite:

- Le verifiche per il dimensionamento strutturale vanno effettuate con la combinazione 1 (A1+M1+R1) che prevede coefficienti unitari sui parametri del terreno e sulle resistenze globali del sistema, mentre vengono amplificate le azioni permanenti e variabili con i coefficienti del gruppo A1.
- Le verifiche relative al dimensionamento geotecnico vanno effettuate con la combinazione 2 (A2+M2+R1) che prevede l'amplificazione delle azioni variabili e permanenti e la riduzione dei parametri di resistenza a taglio, mentre risultano unitari i coefficienti γ_R sulla resistenza globale del terreno.

Nelle successive tabelle sono riportati i coefficienti parziali previsti dalle norme per le combinazioni di carico e per i parametri geotecnici.

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00


⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	30 di 139

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	γ_M $\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 31 di 139

9 MODELLO DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie 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 “PARATIEPLUS” v.21.0 della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.


La paratia viene 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.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

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 paratia.

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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 32 di 139</p>

9.1 Parametri di spinta del terreno

Essi sono:

pressione a riposo: $P'o = K_o \cdot \sigma'v$

con: $K_o =$ coefficiente di spinta a riposo

$\sigma'v =$ tensione verticale efficace

pressione attiva: $P'a = K_a \cdot \sigma'v - c' \cdot K_{ac}$

con: $K_a =$ coefficiente di spinta attiva, funzione di φ' e δ_a

$K_{ac} = 2 \cdot (K_a)^{0.5}$

$\delta_a =$ angolo di attrito terreno-paratia

pressione passiva: $P'p = K_p \cdot \sigma'v + c' \cdot K_{pc}$

con: $K_p =$ coefficiente di spinta passiva, funzione di φ' e δ_p

$K_{pc} = 2 \cdot (K_p)^{0.5}$

$\delta_p =$ attrito terreno-paratia;


Il coefficiente di spinta a riposo è stato calcolato con la relazione di Mayne & Kulhavy:

Mentre i coefficienti di spinta attiva e passiva sono stati calcolati con la relazione di Lancellotta (2002) considerando un valore dell'angolo di attrito parete-terreno pari a 2/3 di φ' :

9.2 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:

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

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 33 di 139

Dove Δ 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:

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

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

con

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

Il valore del modulo in fase incrudente si assume pari a due volte il modulo di primo carico:

$$E_{ur} = 2 \cdot E_{vc}$$

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

10 ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

10.1 MU05

10.1.1 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo e uno stralcio del profilo geotecnico. La falda è assunta nel calcolo a quota -2.2m da p.c.

Unità geotecnica	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	γ (kN/m ³)	φ (°)	c' (kPa)	E (MPa)
DA	0	-6.85	19.5	33	5	20
ATS	-6.85	/	20	26	22	15

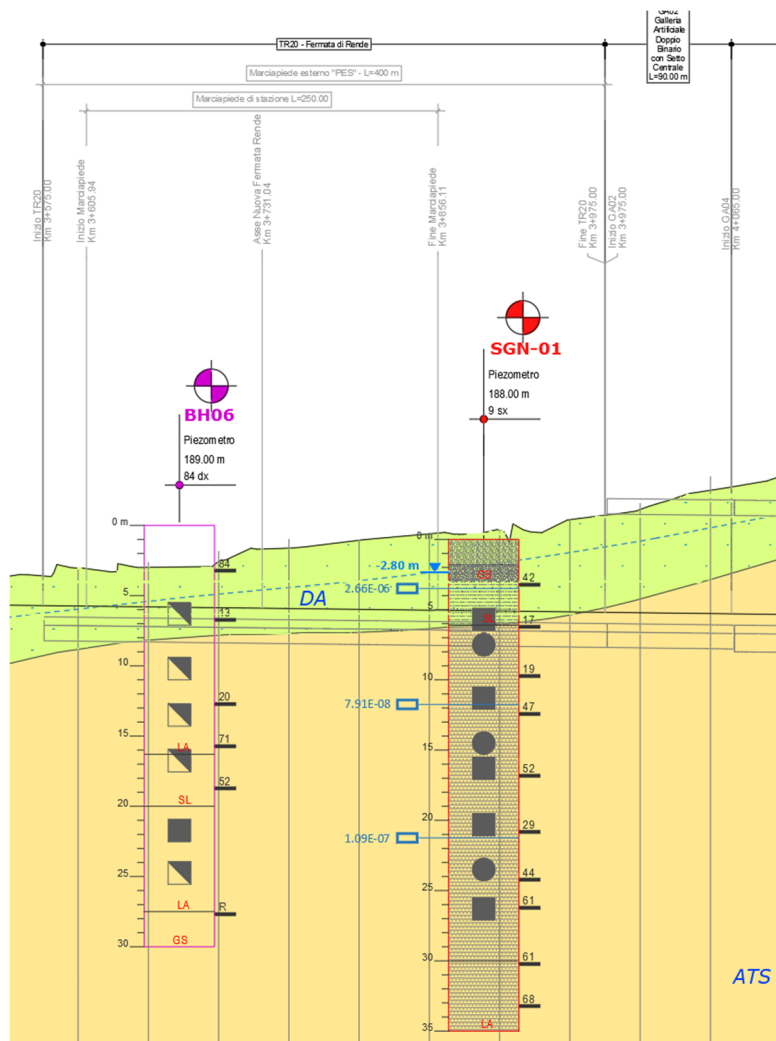



Figura 15 – Stralcio profilo geotecnico MU05 (TR20)

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B	FOGLIO 35 di 139

10.1.2 *Analisi dei carichi*

10.1.2.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

10.1.2.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati dal programma in accordo con quanto riportato nel paragrafo 0.

10.1.2.3 Carichi variabili

Il carico variabile è rappresentato dai mezzi di cantiere posto pari a 10 kN/m^2 .

In condizioni sismiche si considera un'aliquota pari al 20% del carico variabile.

10.1.2.4 Azione sismica

In accordo con le NTC2018, per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente.

Il valore dell'accelerazione a_h può essere espresso come:

$$a_h = k_h * g = \alpha * \beta * a_{\max}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e $\beta \leq 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

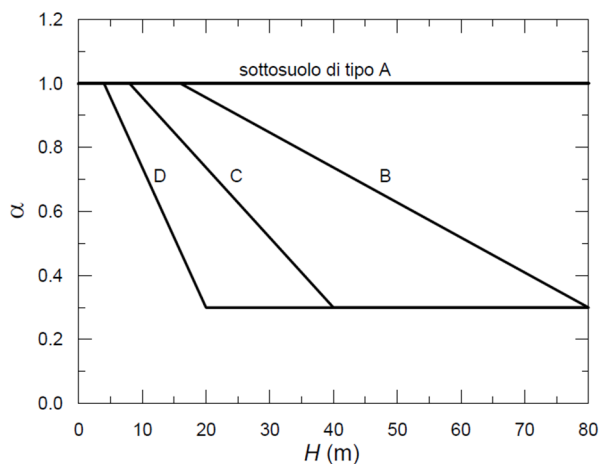


Figura 16 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

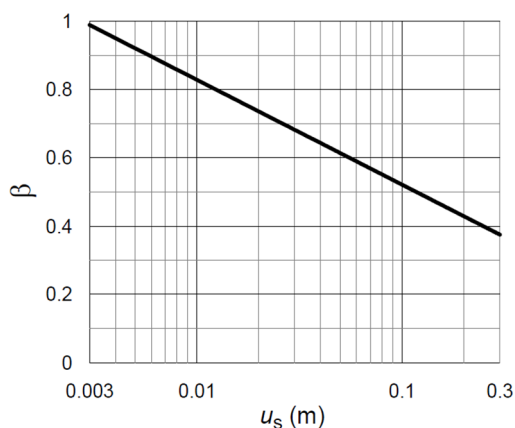



Figura 17 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

Per l'opera in esame, assumendo $u_s = 5$ cm, si ha:

- $\alpha = 1.0000$;
- $\beta = 0.6125$.

L'accelerazione di picco a_{\max} è valutata come:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

 <p>ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 11</p>	<p>CODIFICA RL</p>	<p>DOCUMENTO IF0001 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 37 di 139</p>

dove S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), ed a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido. Nel caso in esame pertanto si ha:

$$a_{\max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g = 1.14 * 1.0 * 0.376 = 0.43 \text{ g}$$

$$a_h = k_h * g = \alpha * \beta * a_{\max} = 1.0 * 0.61 * 0.43 = 0.26$$

La spinta sismica del terreno è stata determinata con la teoria di Mononobe-Okabe, la cui risultante è applicata ad un'altezza pari ad H/3.

10.1.3 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 10 fasi di calcolo:

1. Condizione stato di fatto (Figura 18);
2. Esecuzione dei diaframmi di lunghezza pari a 20m e spessore 1.2m + realizzazione del tappo di fondo di 8m (simulato tramite il miglioramento del terreno, ovvero considerando una coesione pari a 100 kPa e una rigidezza incrementata del 100%) (Figura 19);
3. Inserimento carico di cantiere ($q=10 \text{ kN/m}$) (Figura 20);
4. Scavo fino a $z = -2.5\text{m}$ per inserimento del primo ordine di tiranti provvisionali (Figura 21);
5. Inserimento del primo ordine di tiranti a $z = -2\text{m}$ (4 trefoli in acciaio armonico da 0.6", L.libera=10m, L.bulbo=15m, Inclinazione=15°, Interasse = 2.0m, Precarico=360kN) (Figura 22);
6. Scavo fino a $z = -6.5\text{m}$ per inserimento del secondo ordine di tiranti provvisionali (Figura 23);
7. Inserimento del secondo ordine di tiranti a $z = -6\text{m}$ (4 trefoli in acciaio armonico da 0.6", L.libera=8m, L.bulbo=18m, Inclinazione=15°, Interasse = 2.0m, Precarico=360 kN) (Figura 24);
8. Scavo finale (scavo di progetto di 11.18 m + extrascavo di 0.5 m ai sensi del §6.5.2.2 delle NTC2018) (Figura 25);
9. Realizzazione soletta di fondazione (rappresentata da un vincolo fisso) e rimozione dei tiranti (Figura 26);
10. Azione sismica (Figura 27).

Nella fase 10 (sisma), il livello di falda è stato portato al livello di fondo scavo in quanto la spinta dovuta all'acqua si considera sostenuta dalle pareti della struttura interna finale che in questo modello non sono state inserite.

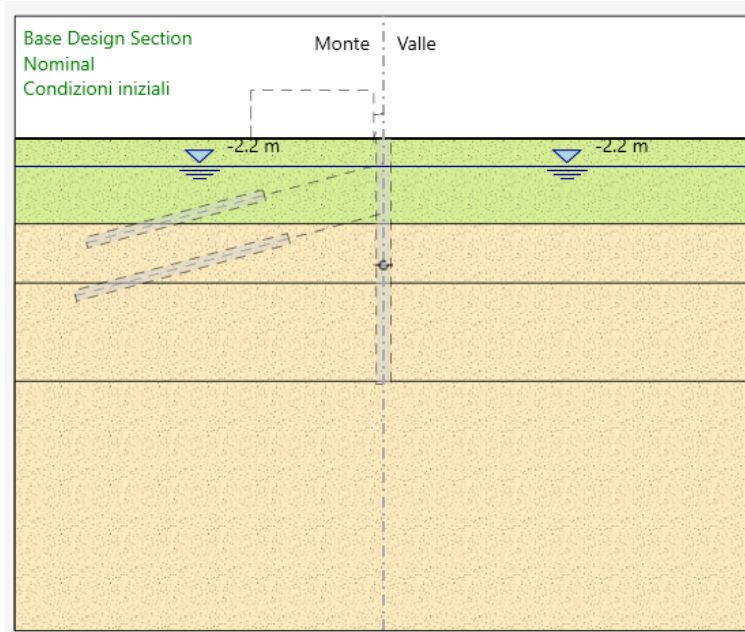


Figura 18 – Fase 1

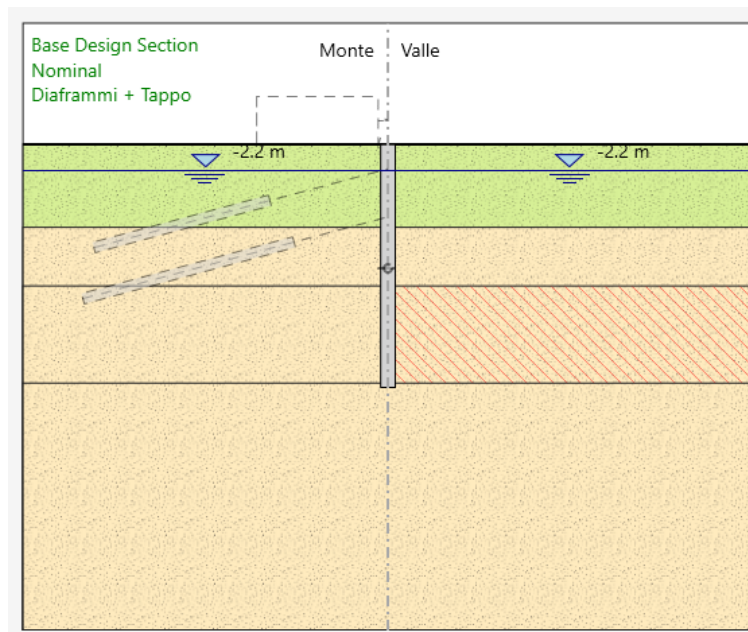


Figura 19 – Fase 2

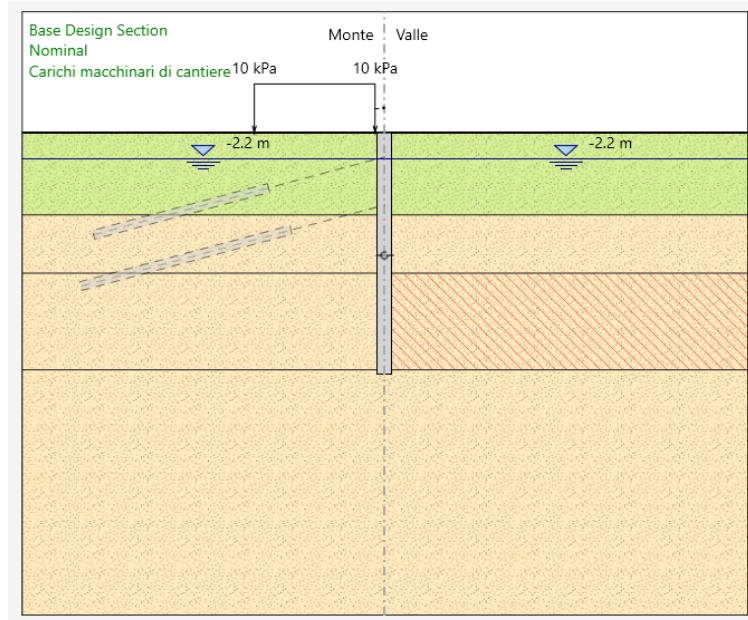


Figura 20 – Fase 3

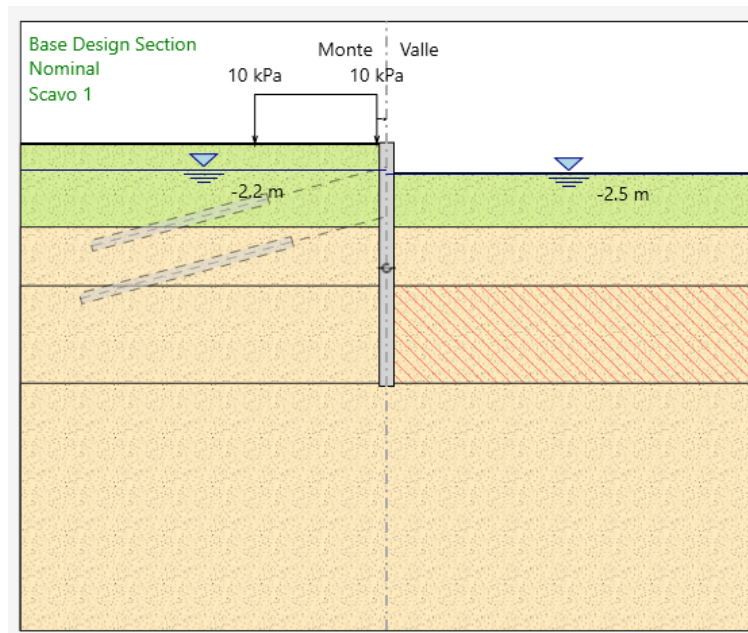


Figura 21 – Fase 4

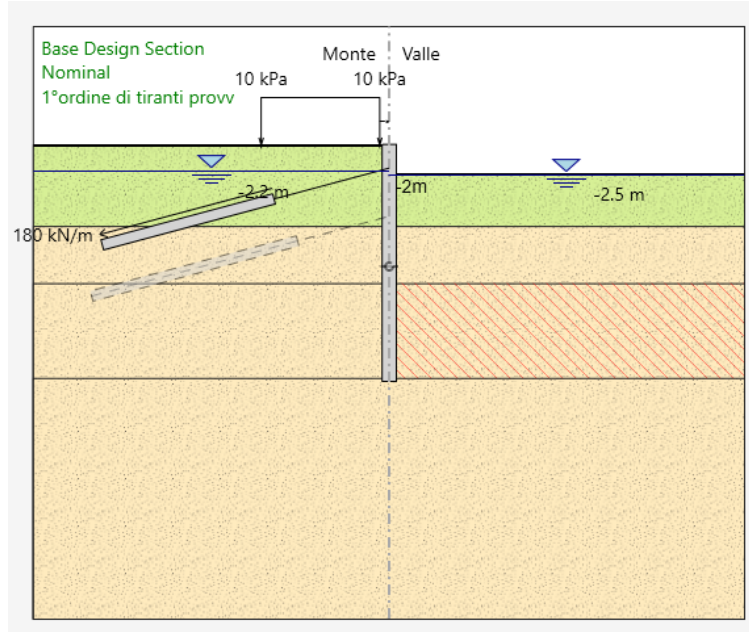


Figura 22 – Fase 5

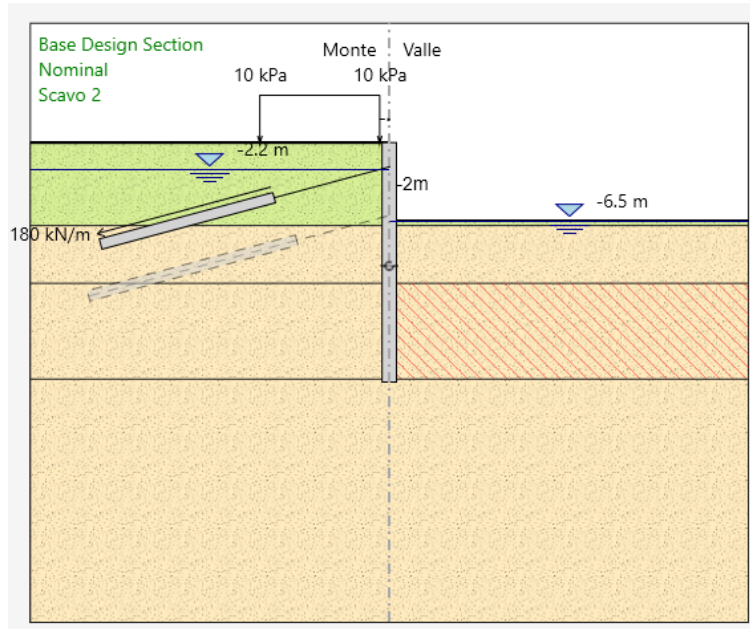


Figura 23 – Fase 6

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	41 di 139

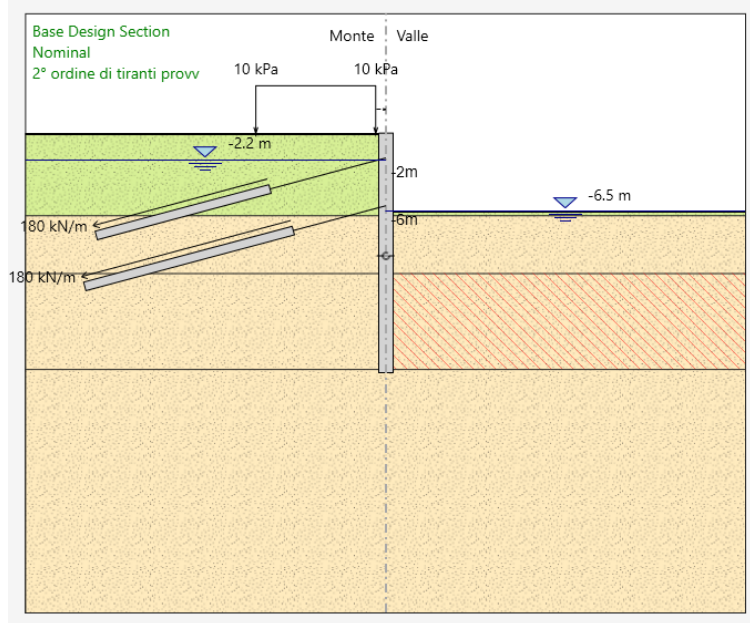


Figura 24 – Fase 7

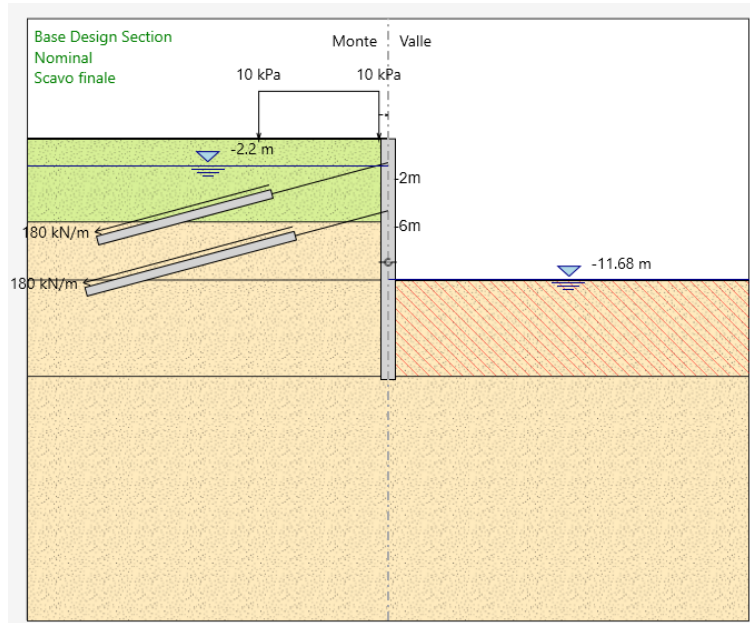


Figura 25 – Fase 8

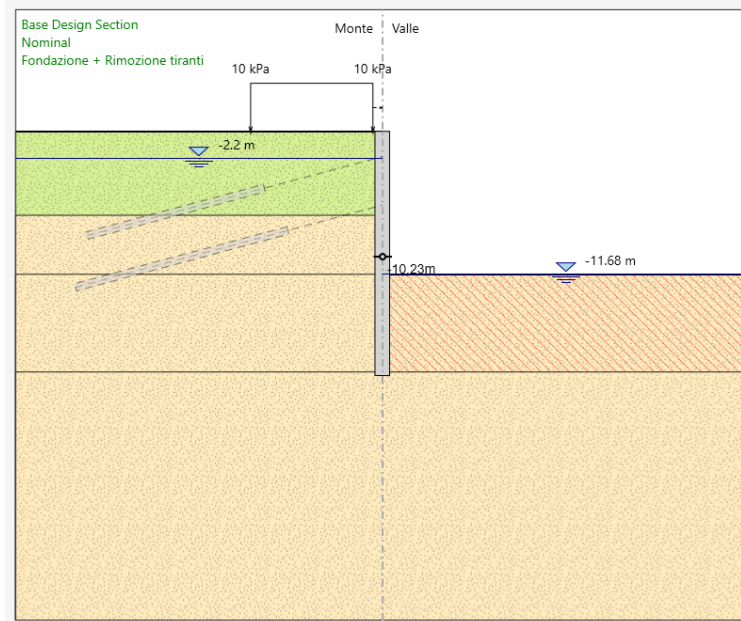


Figura 26 – Fase 9

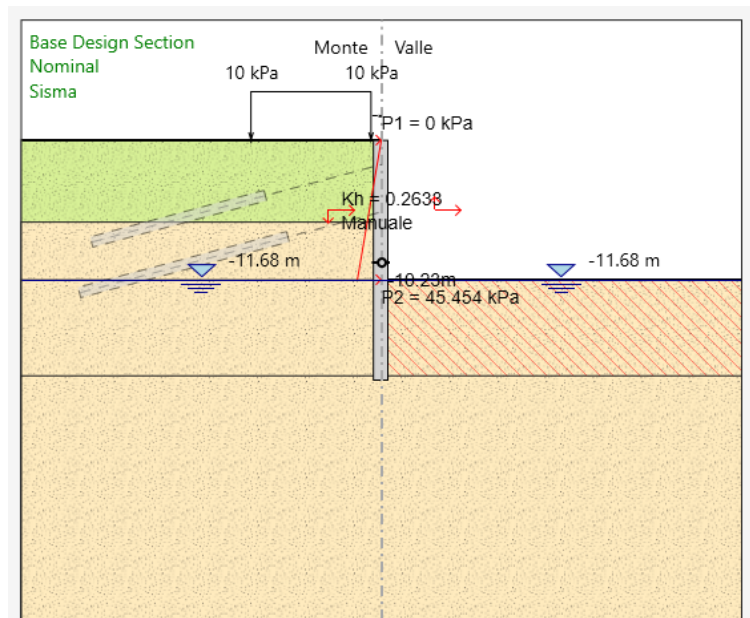


Figura 27 – Fase 10

10.1.4 Risultati delle analisi

10.1.4.1 Sollecitazioni SLU

Di seguito si riportano le sollecitazioni statiche e sismiche (momento flettente e taglio) agenti sull'opera. Ne risulta che il massimo momento flettente è pari a 1742.7 kNm/m ottenuto nella fase 9 (combinazione A1+M1+R1). Il massimo taglio è pari a 561.42 kN/m ottenuto nella fase 9 (combinazione A1+M1+R1).

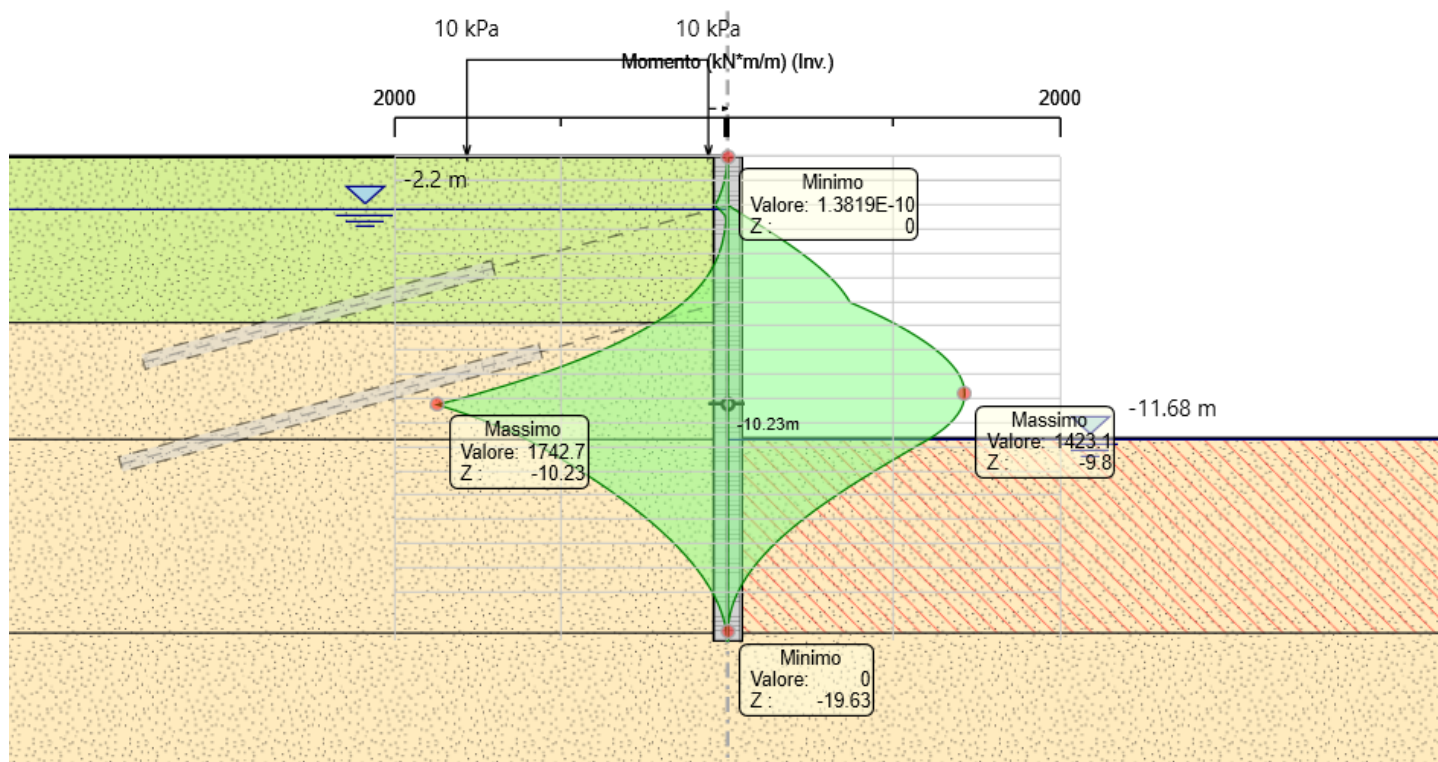


Figura 28 – Involucro Momento flettente (A1+M1+R1) in fase statica

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	44 di 139

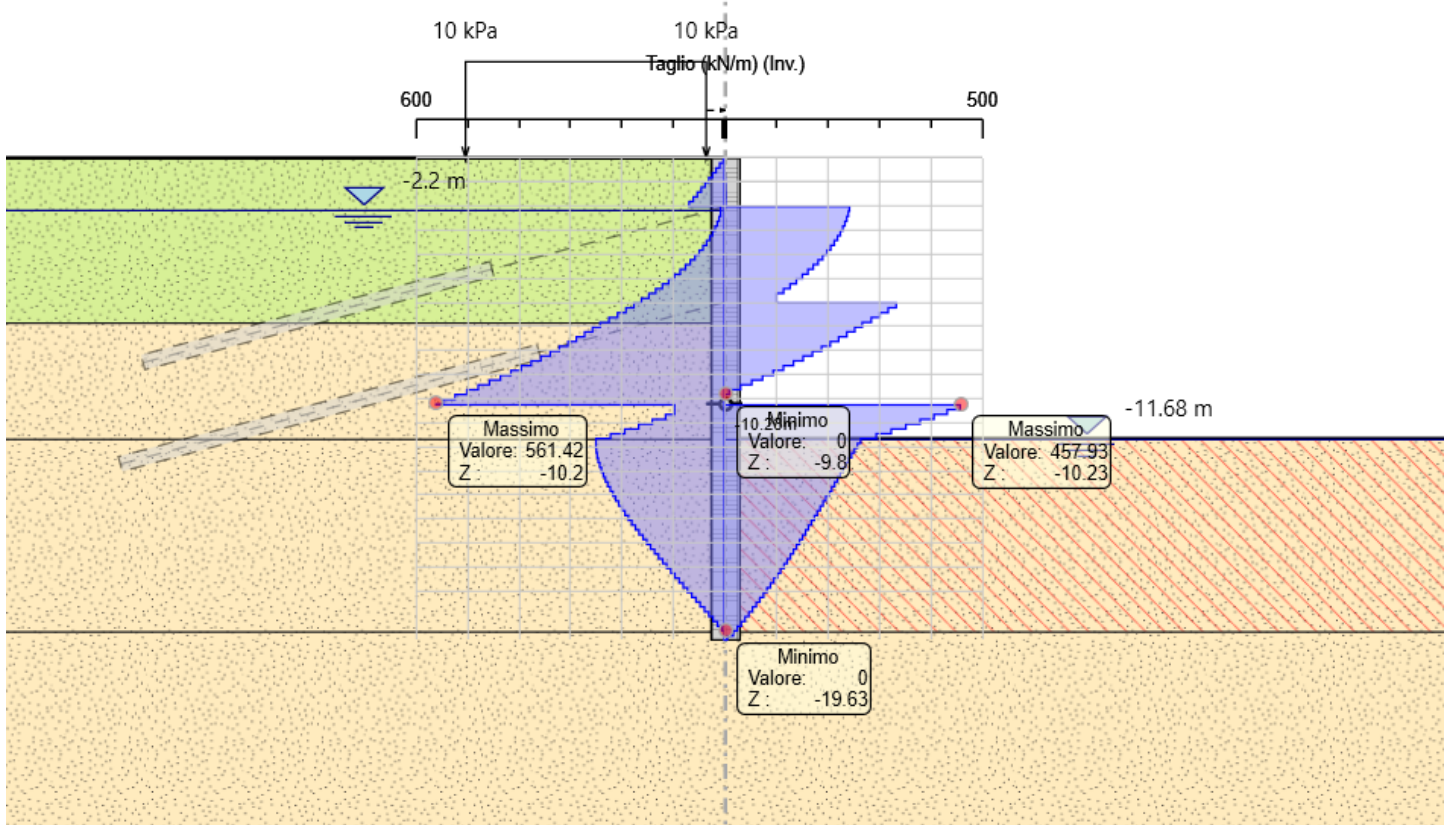


Figura 29 - Involuppo Taglio (A1+M1+R1) in fase statica

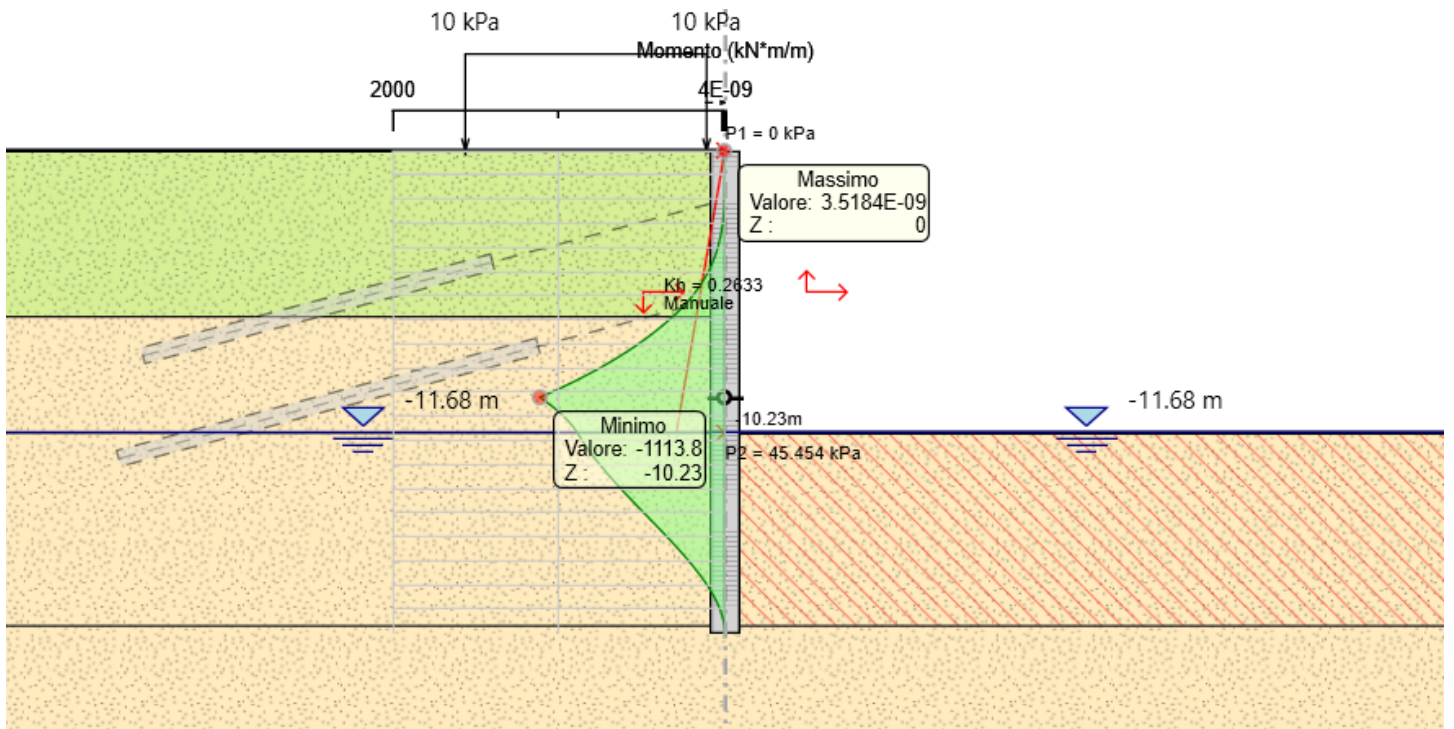


Figura 30 – Momento flettente: condizioni sismiche

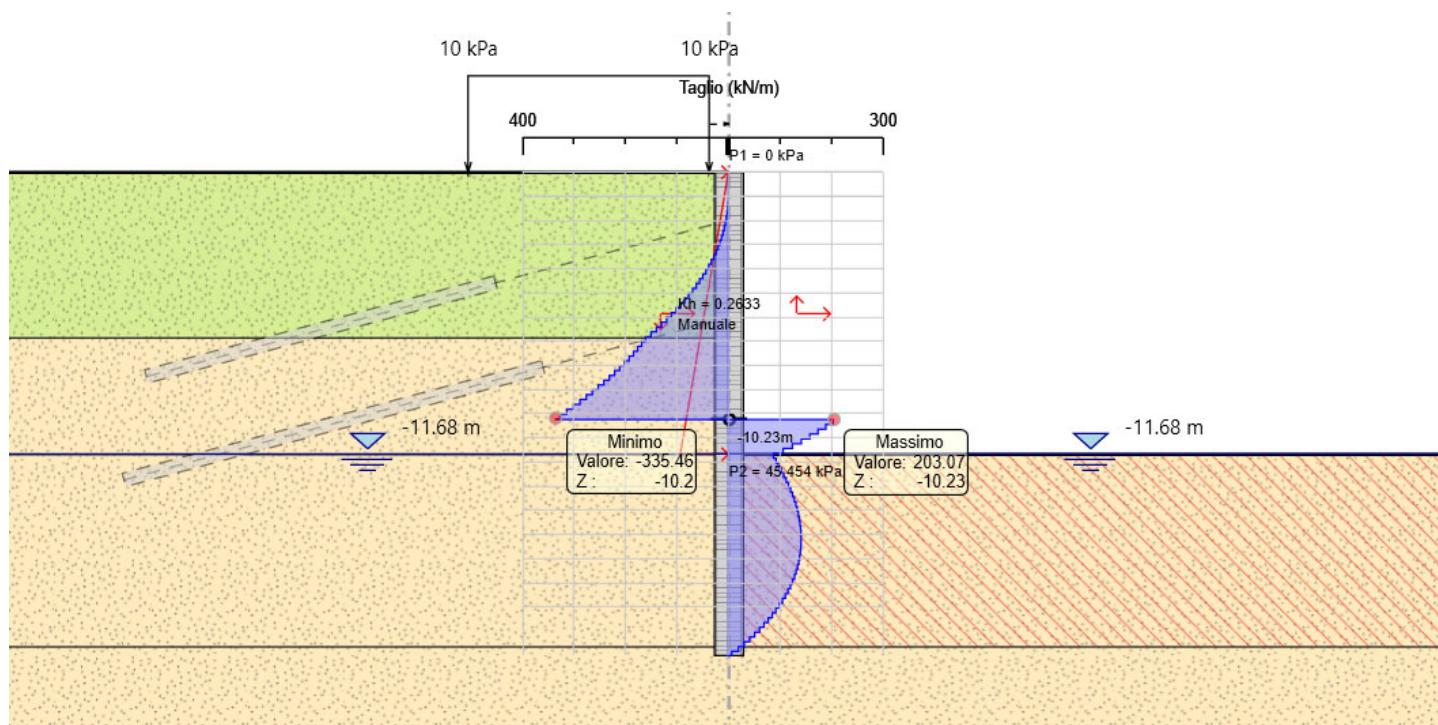


Figura 31 - Taglio: condizioni sismiche

Di seguito si riportano i diagrammi di sfruttamento del momento e del taglio in fase statica e sismica. Ne risulta che nella fase statica si ottiene per il momento 0.79963 e per il taglio 0.71365 mentre nella fase sismica si ottiene per il momento 0.51108 e per il taglio 0.42642.

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	46 di 139

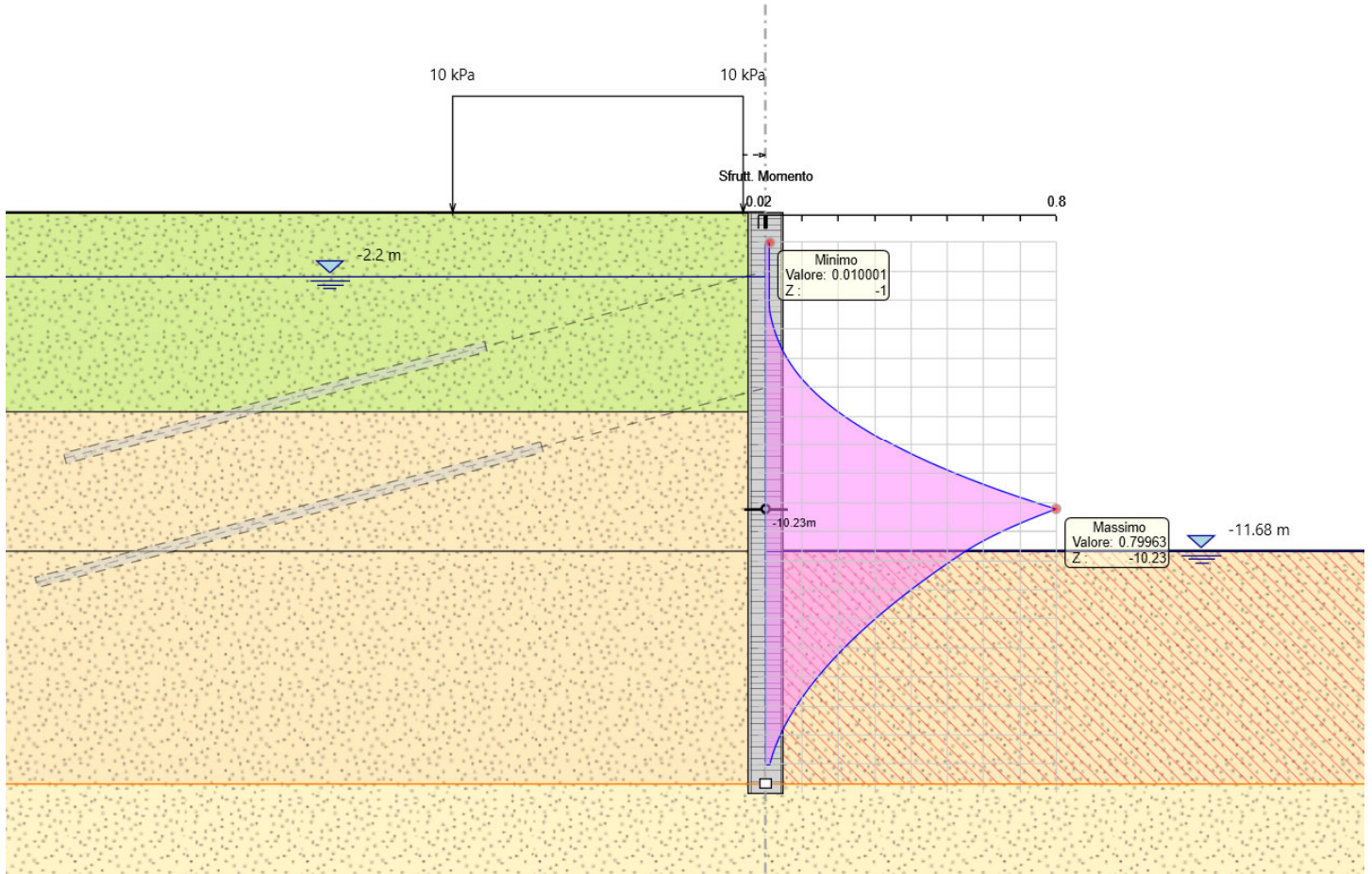


Figura 32 – Sfruttamento momento in fase statica

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	47 di 139

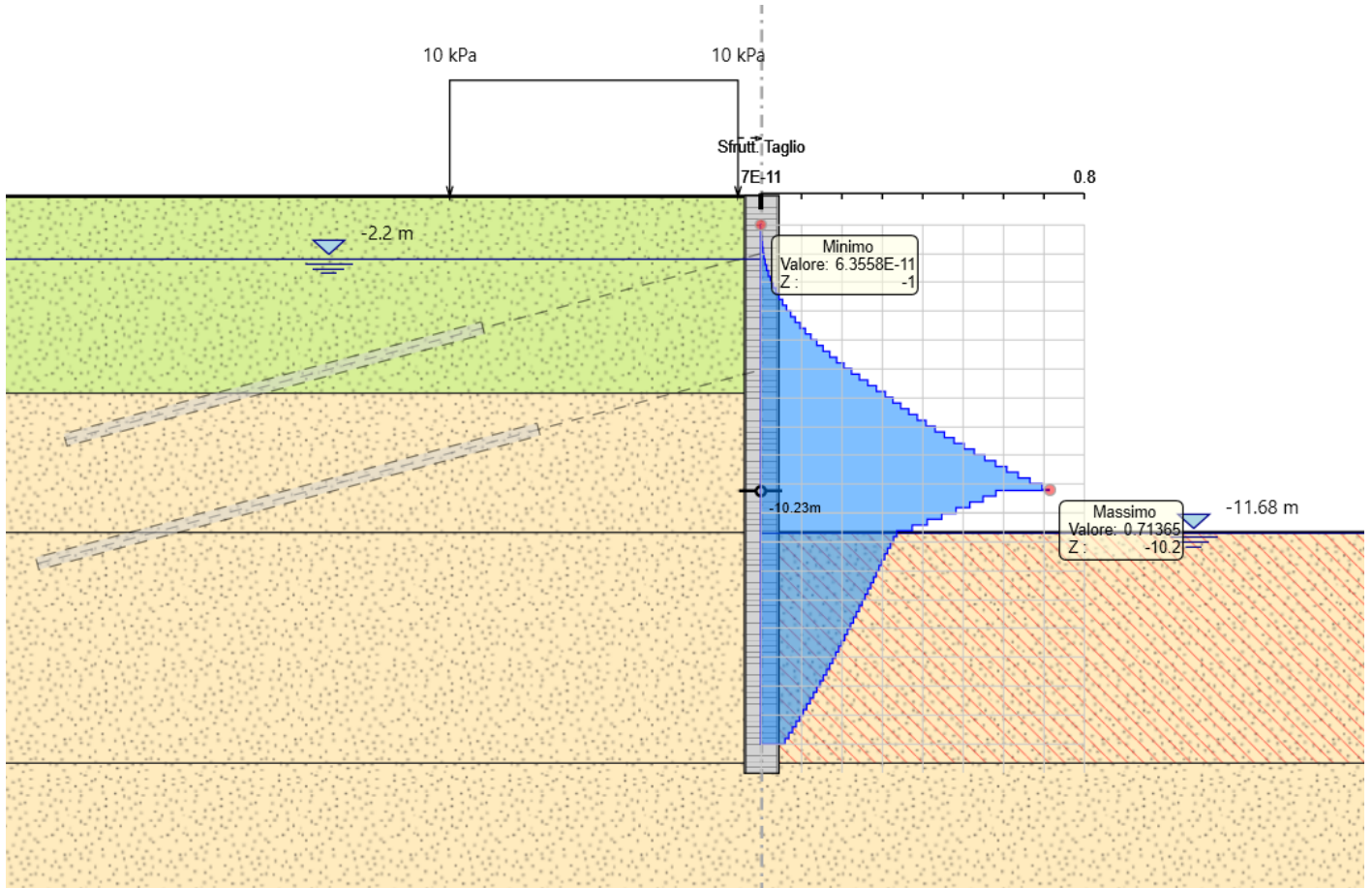


Figura 33 – Sfruttamento taglio in fase statica

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	48 di 139

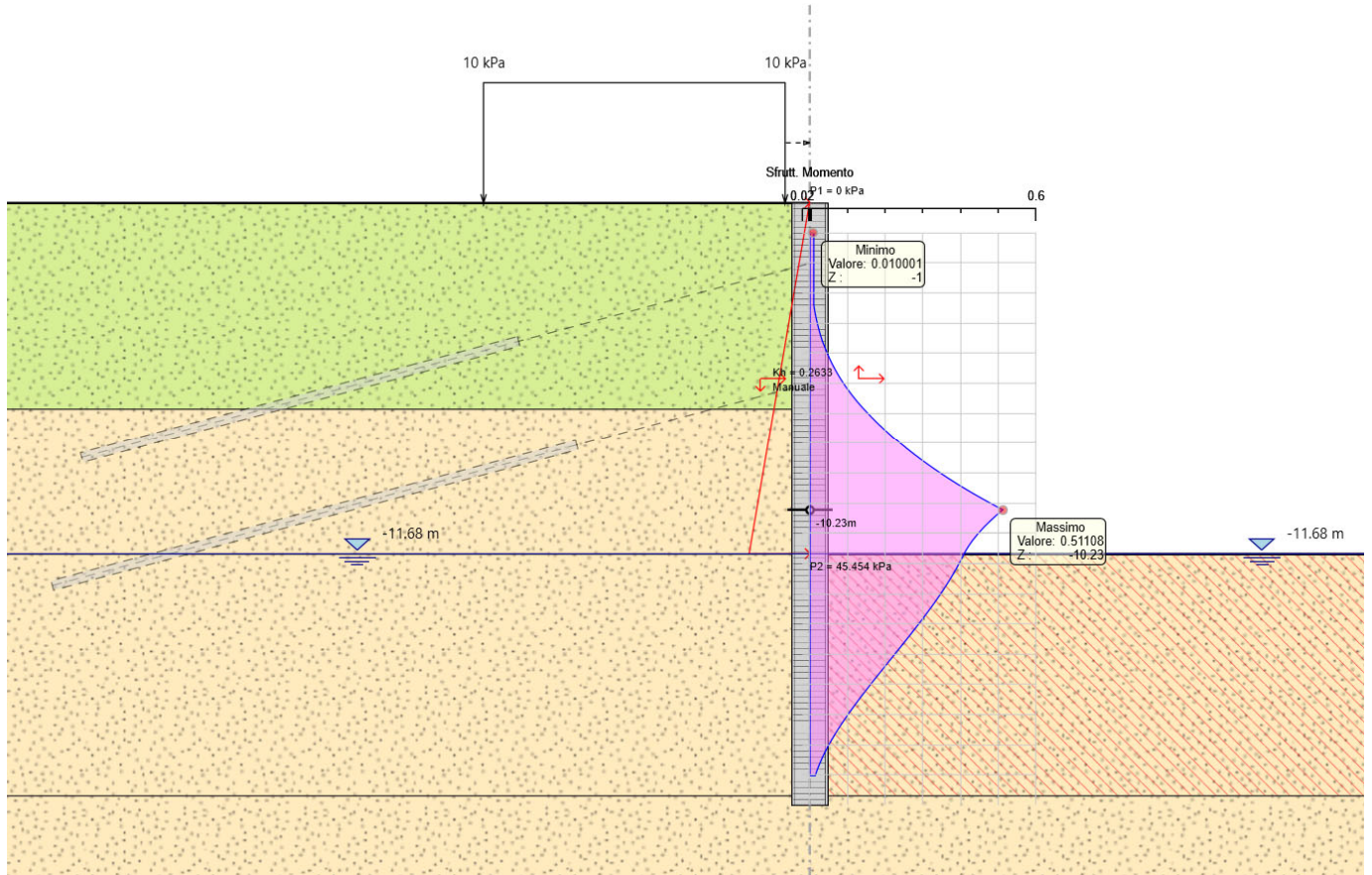


Figura 34 – Sfruttamento momento in condizioni sismiche

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	49 di 139

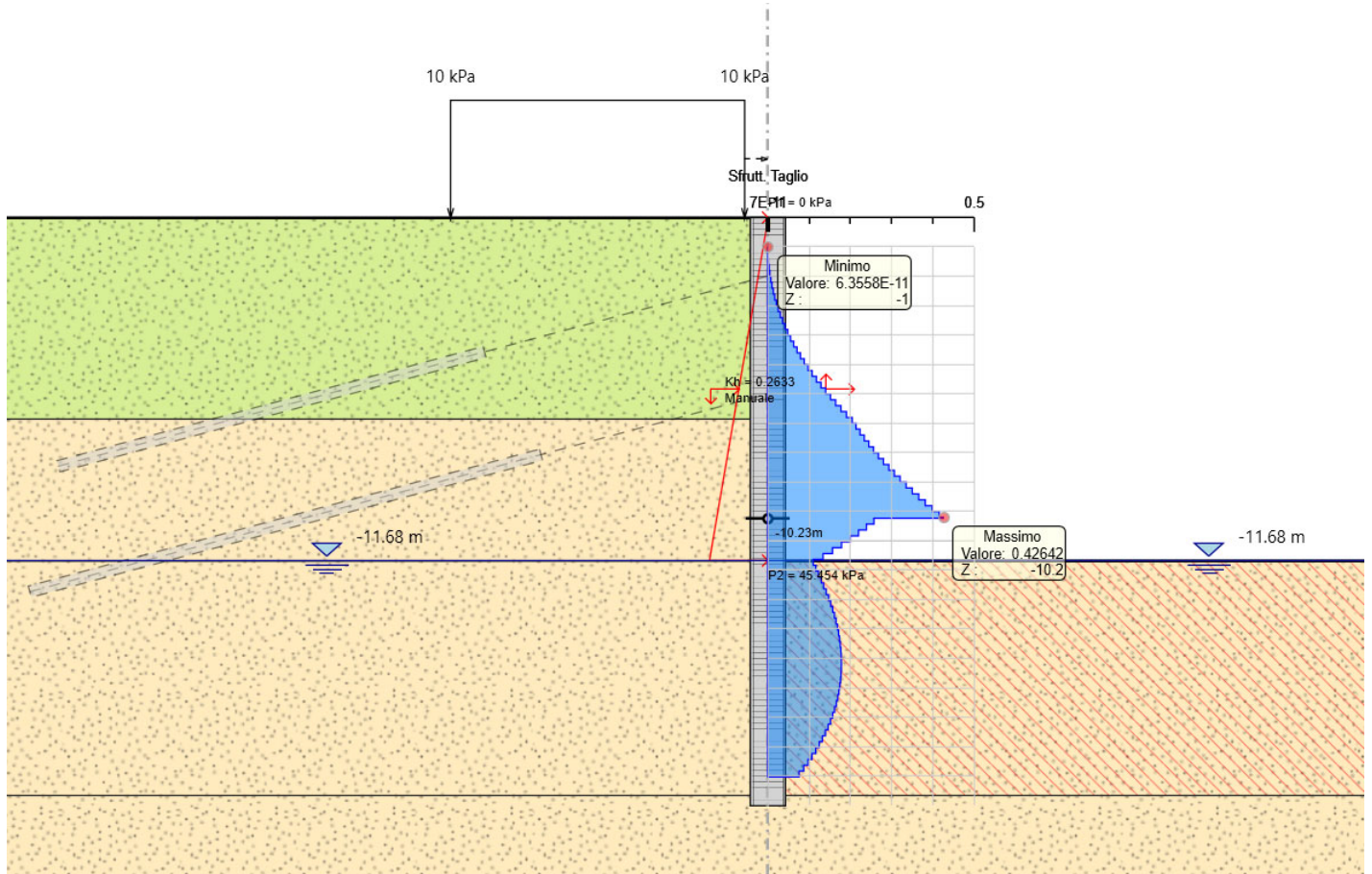


Figura 35 - Sfruttamento taglio in condizioni sismiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

Si riportano di seguito i valori della spinta sul diaframma in fase statica e sismica.

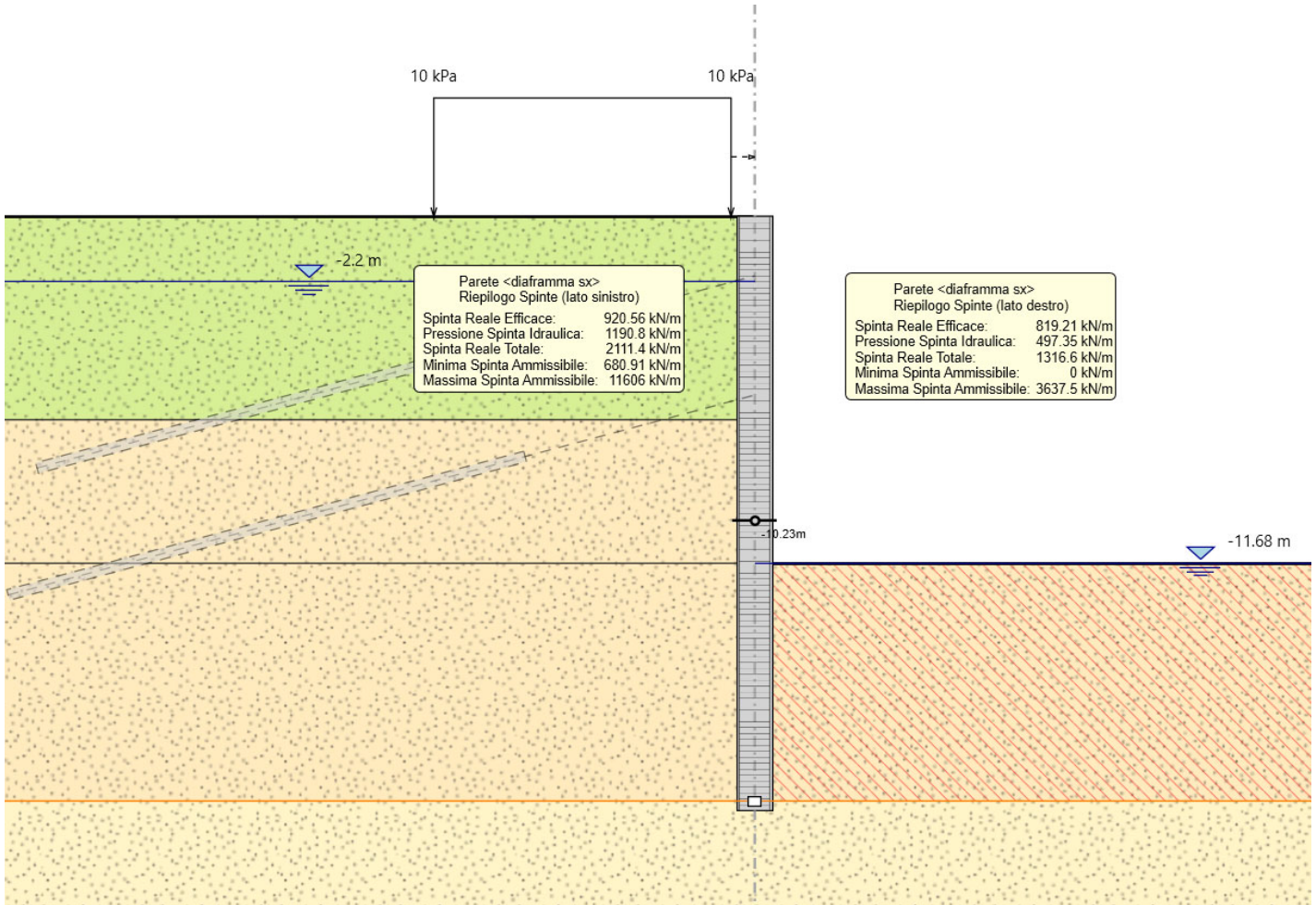


Figura 36 – Spinte sul diaframma in fase 9

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	51 di 139

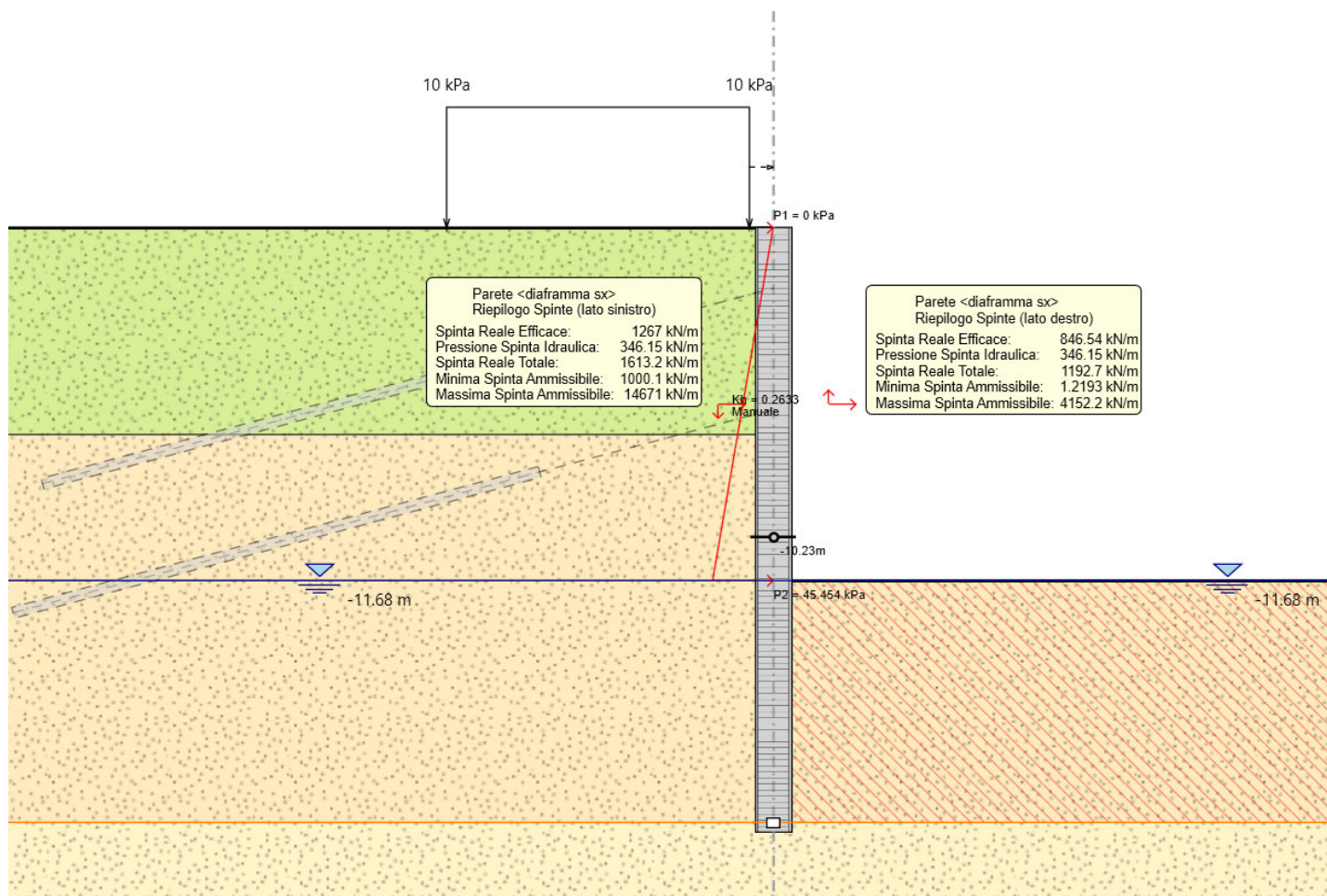


Figura 37 – Spinte sul diaframma in fase 10

10.1.4.2 Spostamenti orizzontali SLE

Di seguito si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera nelle fasi più significative. Ne risulta che il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a 40.5 mm ottenuto nella fase 10.

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	52 di 139

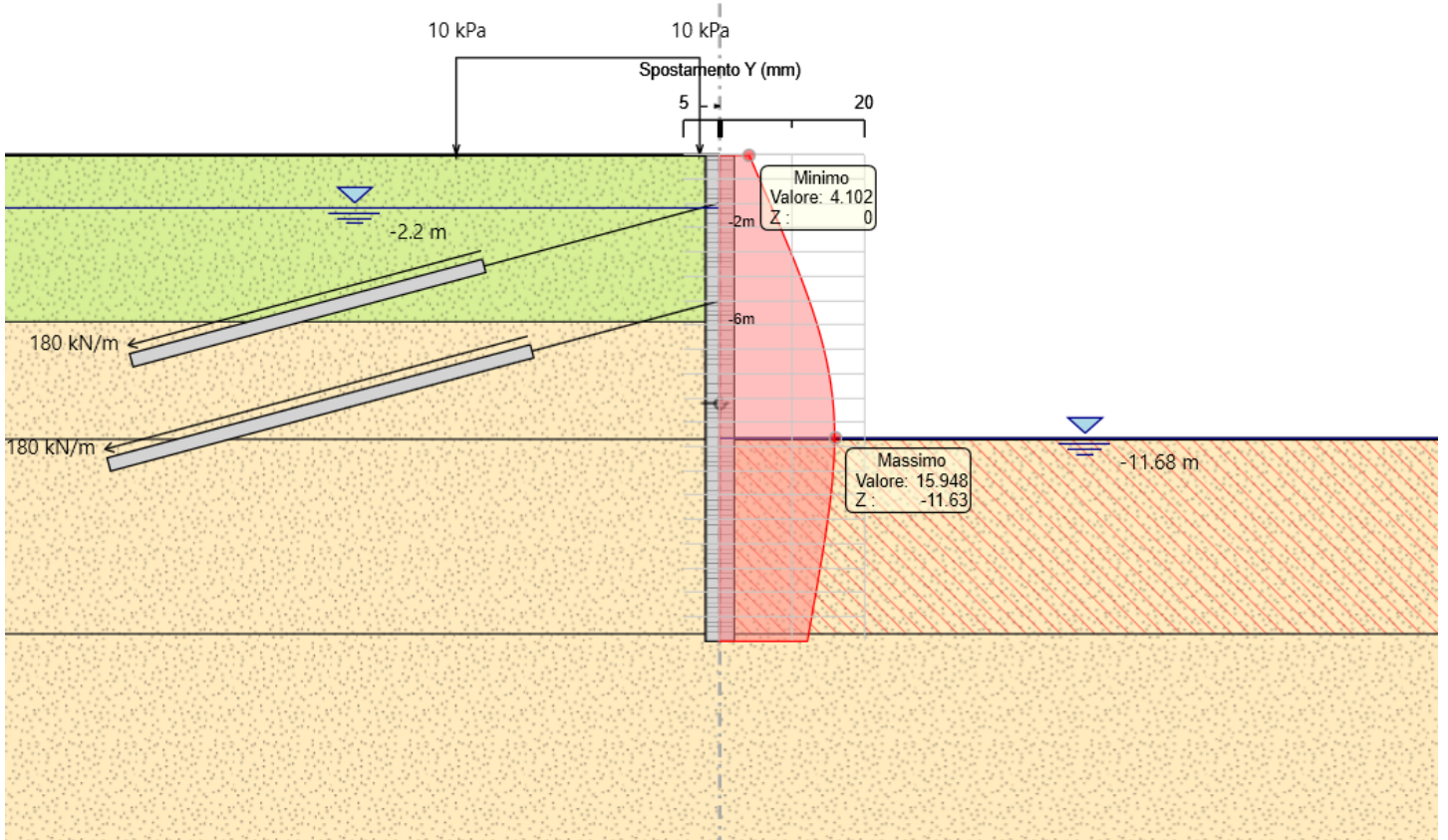


Figura 38 – Spostamenti orizzontali – Fase 8

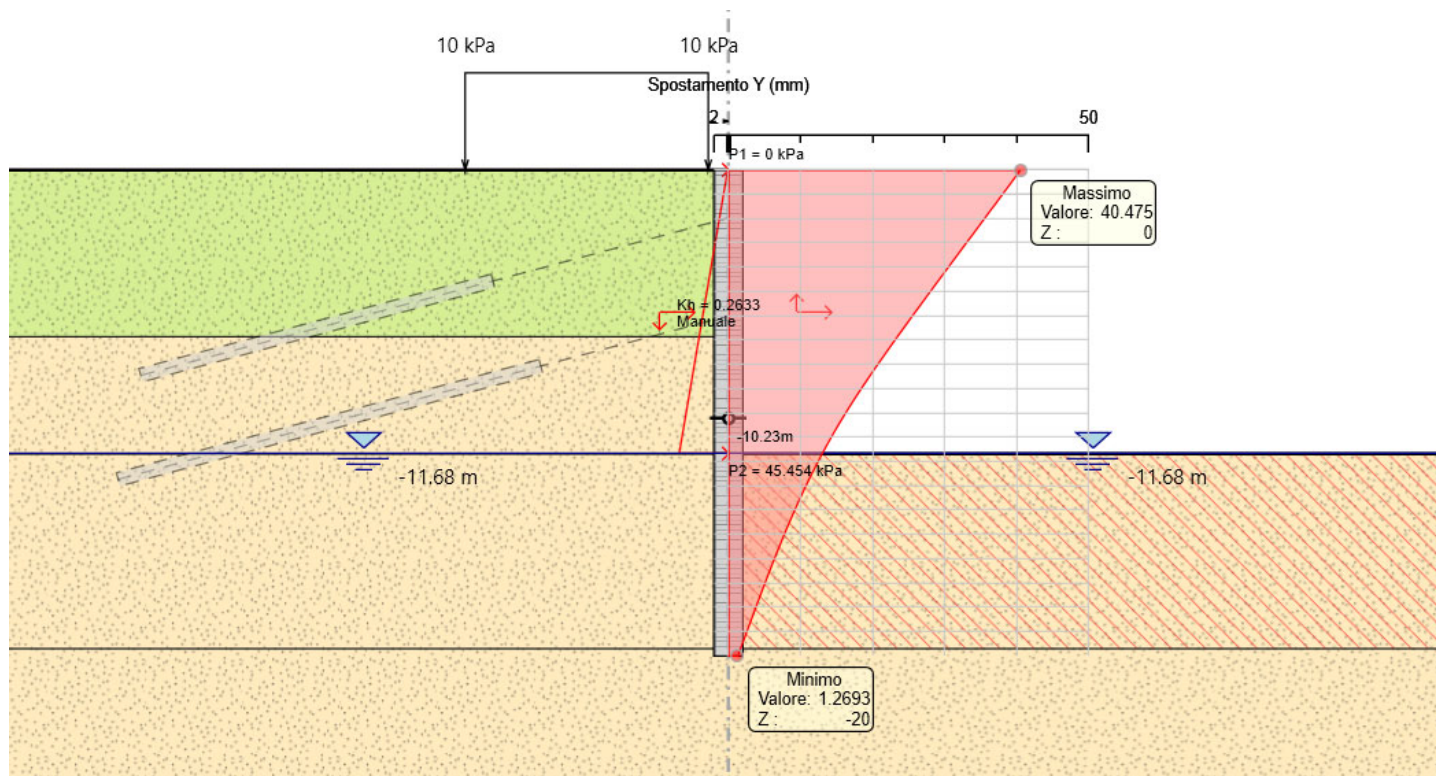
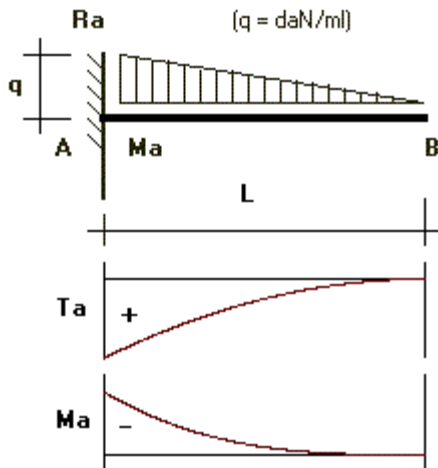


Figura 39 – Spostamenti orizzontali – Fase 10

10.1.4.3 Parete interna di rivestimento

Si ipotizza, a favore di sicurezza che la parete in c.a. sia soggetta alla spinta idrostatica dell'acqua. Per il predimensionamento della parete si utilizza lo schema di trave a mensola, considerando una striscia di larghezza unitaria di elemento.

MENSOLA CON CARICO TRIANGOLARE



$$R_a = \frac{q L}{2}$$

$$M_a = - \frac{q L^2}{6}$$

$$T_a = R_a$$

$$M_x = - \frac{q (L - x)^3}{6 L}$$


$$T_x = \frac{q (L - x)^2}{2 L}$$

Essendo $q = \gamma_w \cdot H_w = 10 \cdot 7.28 = 72.8 \text{ kN/m}$

le sollecitazioni massime allo SLU agenti alla base della parete sono pari a:

$$M_{Ed} = \gamma_{A1} \cdot \frac{1}{6} \cdot q \cdot H_w^2 = 1.35 \cdot \frac{1}{6} \cdot 72.8 \cdot 7.28^2 = 868.11 \text{ kNm/m}$$

$$V_{Ed} = \gamma_{A1} \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot H_w = 1.35 \cdot \frac{1}{2} \cdot 72.8 \cdot 7.28 = 357.74 \text{ kN/m}$$

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

10.1.4.4 Verifica Tiranti

Il dimensionamento geotecnico ed in particolare la verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio è stata svolta confrontando la massima azione di progetto sviluppata in tutti gli stage di analisi, con la resistenza di progetto, in accordo a quanto previsto dalle NTC2018 par. 6.6.1.

La resistenza allo sfilamento T_{lim} è calcolata in base alla seguente relazione:

$$T_{lim} = \pi \Phi_{perf} \alpha L_{fond} \tau_{lim}$$

in cui:

Φ_{perf} = diametro della perforazione, pari a pari a 150 mm fino a tre trefoli e 180 oltre;

α = coefficiente moltiplicativo per il calcolo del diametro del bulbo;

L_{fond} = lunghezza di ancoraggio di progetto;

τ_{lim} = tensione limite allo sfilamento (dipendente dai terreni interessati).

La tensione limite τ_{lim} è stata ricavata mediante il metodo di Bustamante e Doix (1985).

Nello specifico, considerando in metodo di iniezione IGU:

Unità DA

$\alpha=1.3$ (IGU) $\tau_{lim}= 200\text{kPa}$

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati per la scelta di tali parametri.

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	56 di 139

Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	≥ R1	≥ R2

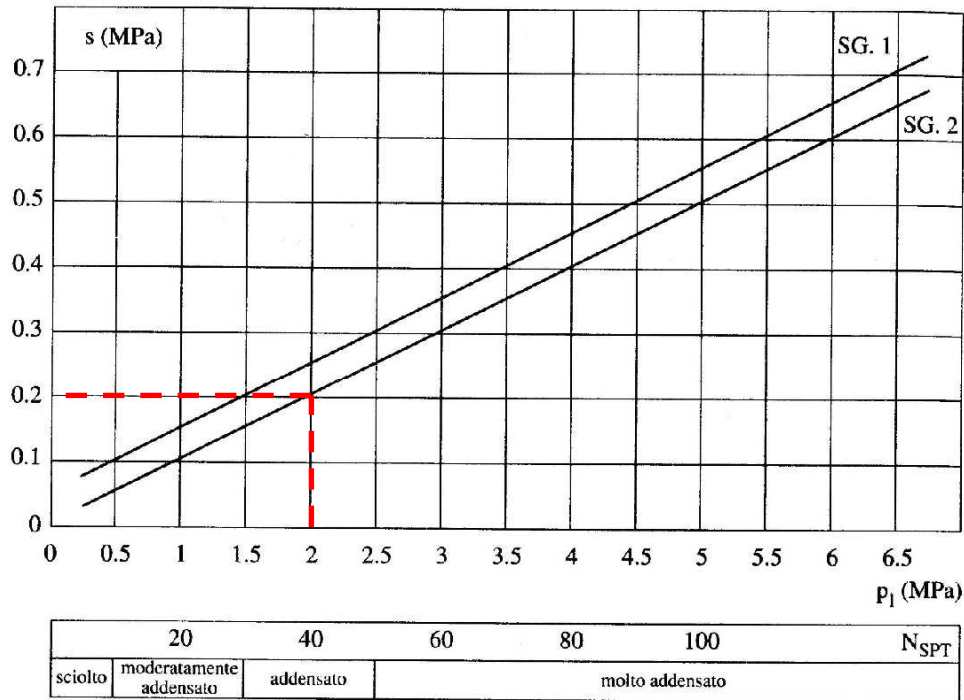


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

Unità AST

$\alpha = 1.2$ (IGU)

$\tau_{lim} = 100 \text{ kPa}$

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati per la scelta di tali parametri.

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	58 di 139

Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 -1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	≥ R1	≥ R2

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	59 di 139

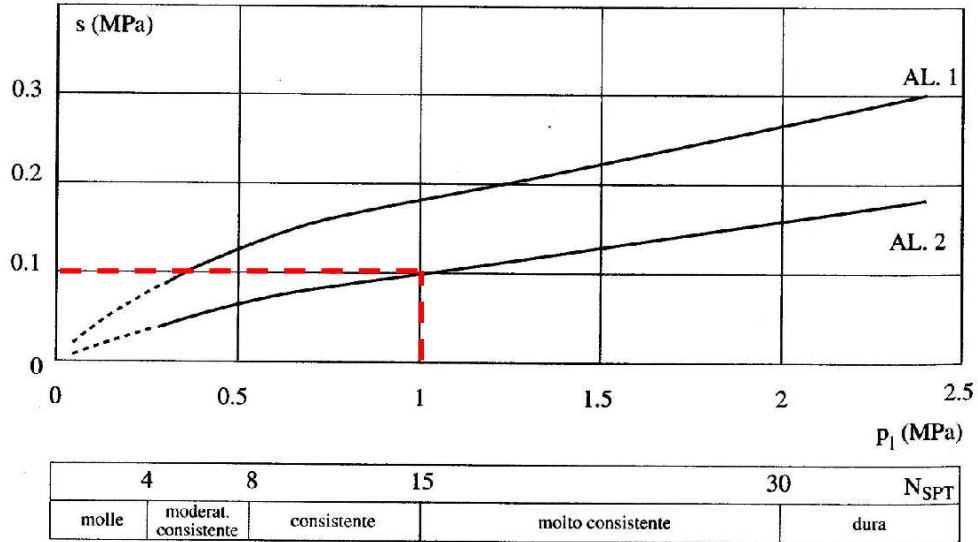


Fig. 13.17. Abaco per il calcolo di s per argille e limi

Il primo ordine di tiranti ha le seguenti caratteristiche:

Data **Dati dipendenti dallo stage**


Posizione
X m
Z m

Avanzate
 Connetti al nodo Slave
 Connetti a trave di ripartizione

Dati Tirante

Sezione

L. Libera m > Angolo °
L. Bulbo (Lfix) m Passo orizz. m
Efficacia bulbo (%) Precarico kN
Diametro Perforazione m
 Usa coefficienti di aderenza personalizzati
Metodo di Iniezione
 α Qskin kPa
 Vincolo Permanente
 Comportamento Plastico Carico Ultimo kN

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

Il secondo ordine di tiranti ha le seguenti caratteristiche:

Data Dati dipendenti dallo stage

Posizione

X m

Z m

Avanzate

Connetti al nodo Slave

Connetti a trave di ripartizione

Aggiungi trave di ripartizione

Dati Tirante

Sezione 4 trefoli 0.6" Modifica...

L. Libera m > Angolo °

L. Bulbo (Lfix) m Passo orizz. m

Efficacia bulbo (%) Precarico kN

Diametro Perforazione m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione IGU

α Qskin kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo kN

Verifiche Tiranti NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza
1° tirante	1°ordine di tiranti pr	468	863.49	605.56	0.542	0.773	✓
1° tirante	Scavo 2	492.75	863.49	605.56	0.571	0.814	✓
1° tirante	2° ordine di tiranti pr	480.72	863.49	605.56	0.557	0.794	✓
1° tirante	Scavo finale	515.36	863.49	605.56	0.597	0.851	✓
2° tirante	2° ordine di tiranti pr	468	616.89	807.41	0.759	0.58	✓
2° tirante	Scavo finale	541.16	616.89	807.41	0.877	0.67	✓

10.1.4.5 Tappo di fondo

Per quanto concerne il tappo di fondo, lo spessore è stato stimato facendo riferimento a soluzioni progettuali analoghe; specifici calcoli di dimensionamento dovranno essere svolti nelle successive fasi progettuali. Si ritiene che lo spessore debba essere dimensionato prevedendo un opportuno sistema di sfiati al fine di ridurre la sottospinta idraulica e, di conseguenza, contenere lo spessore del tappo di fondo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

10.2 MU08

10.2.1 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo e uno stralcio del profilo geotecnico.

Unità geotecnica	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	γ (kN/m ³)	φ (°)	c' (kPa)	E (MPa)
DA	0	-2.3	19.5	32.5	5	20
DM	-2.3	10.55	20	34	2	30
ALD	10.55	/	20.5	24	25	20

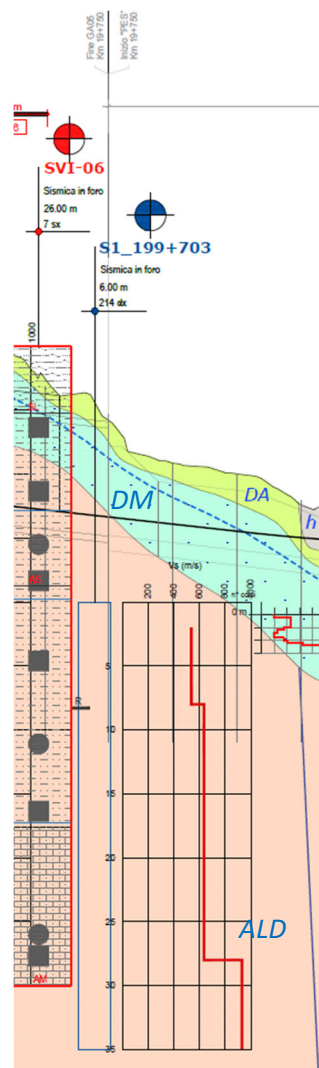


Figura 40 – Stralcio profilo geotecnico

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

10.2.2 Analisi dei carichi

10.2.2.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

10.2.2.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati dal programma in accordo con quanto riportato nel paragrafo 0.

10.2.2.3 Azione sismica

In accordo con le NTC2018, per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente.

Il valore dell'accelerazione a_h può essere espresso come:

$$a_h = k_h * g = \alpha * \beta * a_{max}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e $\beta \leq 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

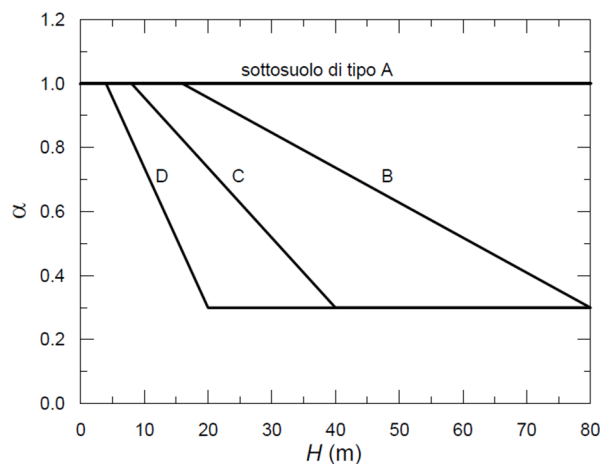


Figura 41 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

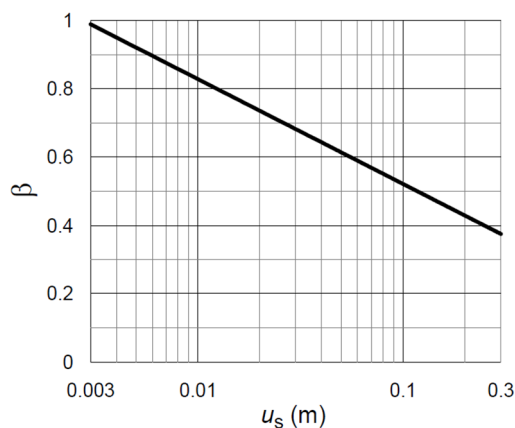


Figura 42 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

Per l'opera in esame, assumendo $u_s = 5$ cm, si ha:

- $\alpha = 1.0000$;
- $\beta = 0.6125$.

L'accelerazione di picco a_{max} è valutata come:

$$a_{max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g$$

dove S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), ed a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido. Nel caso in esame pertanto si ha:

$$a_{max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g = 1.14 * 1.0 * 0.376 = 0.43 \text{ g}$$

$$a_h = k_h * g = \alpha * \beta * a_{max} = 1.0 * 0.61 * 0.43 = 0.26$$

La spinta sismica del terreno è stata determinata con la teoria di Mononobe-Okabe, la cui risultante è applicata ad un'altezza pari ad $H/3$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

10.2.3 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 7 fasi di calcolo:

1. Condizione stato di fatto (Figura 43);
2. Riprofilatura terreno a monte, esecuzione dei diaframmi di spessore 1.20m e lunghezza pari a 20m e 15m rispettivamente per la paratia sinistra e destra. Il piano campagna attuale risulta inclinato di circa 10° pertanto tra le due paratie c'è un salto di quota di circa 5.0m. Esecuzione di *jet-grouting* di spessore 6m a partire da fondo scavo massimo previsto (simulato tramite il miglioramento del terreno, ovvero considerando una coesione della zona trattata pari a 100 kPa e una rigidità incrementata fino a 100 MPa) (Figura 44);
3. Scavo di 4.3m a valle della paratia sinistra per raggiungere la quota di esecuzione dei tiranti. La paratia di destra in questa fase rimane totalmente interrata (Figura 45);
4. Esecuzione tiranti a $z = -3.5\text{m}$ da testa paratia di sinistra (4 trefoli in acciaio armonico da 0.6", $L_{\text{libera}}=8\text{m}$, $L_{\text{bulbo}}=17\text{m}$, inclinazione=15°, interasse=2.0m, precarico=420kN - Figura 46);
5. Scavo finale a $z = -12.5\text{m}$ dalla testa della paratia di sinistra (scavo di progetto max = 12.0 m + extrascavo di 0.5 m ai sensi del §6.5.2.2 delle NTC2018) (Figura 47);
6. Realizzazione soletta di fondazione (sp.=1.2m) (Figura 48);
7. Rimozione dei tiranti (Figura 49);
8. Azione sismica (Figura 50).

Nella fase 8 (sisma), il livello di falda è stato portato al livello di fondo scavo in quanto la spinta dovuta all'acqua si considera sostenuta dalle pareti interne finali della galleria artificiale che in questo modello non sono state inserite.

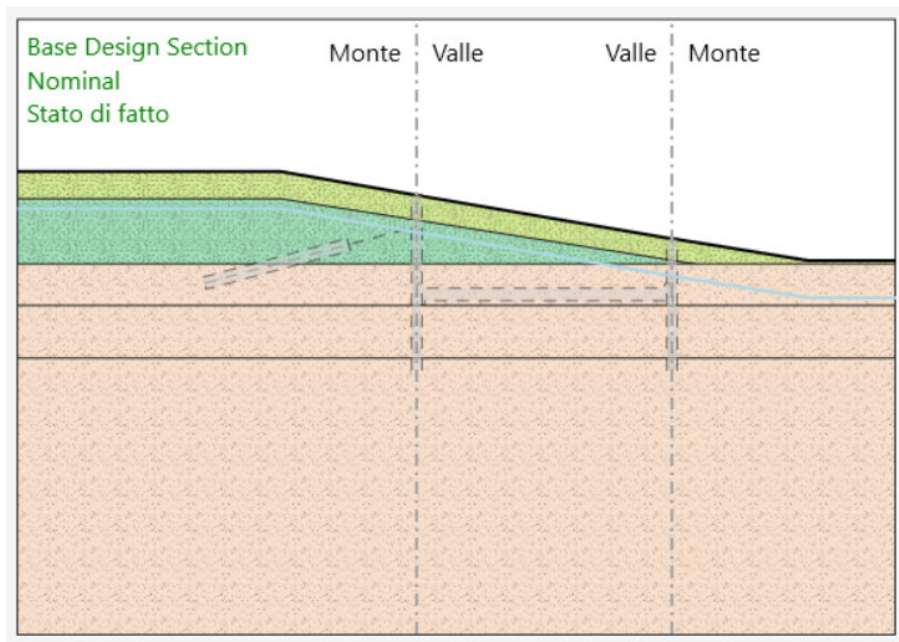


Figura 43 – Fase 1

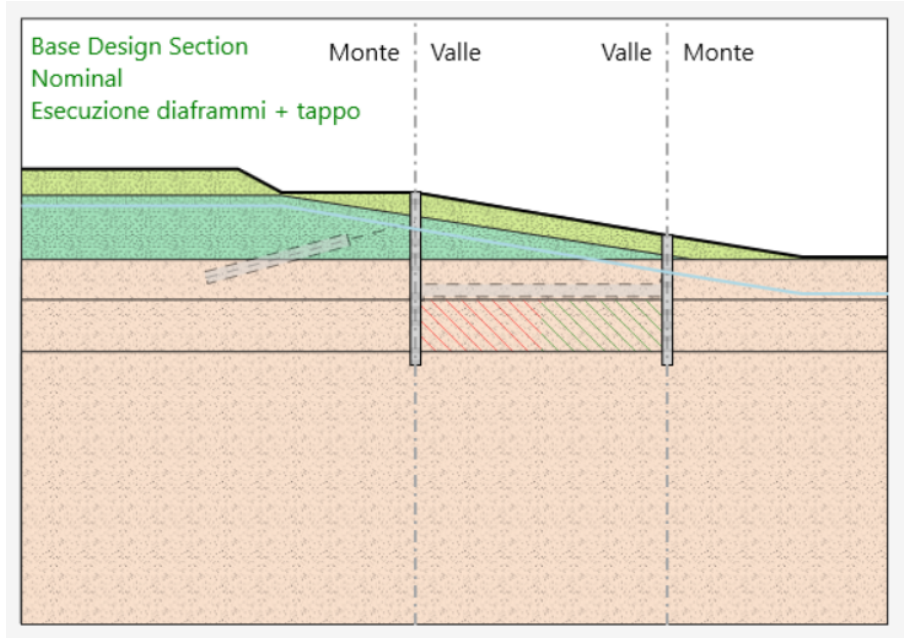


Figura 44 – Fase 2

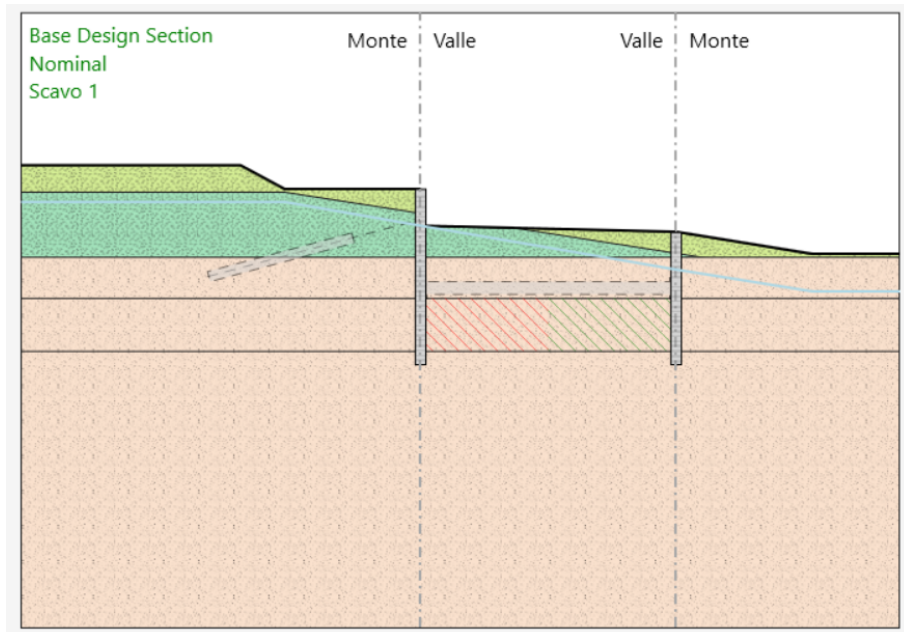


Figura 45 – Fase 3

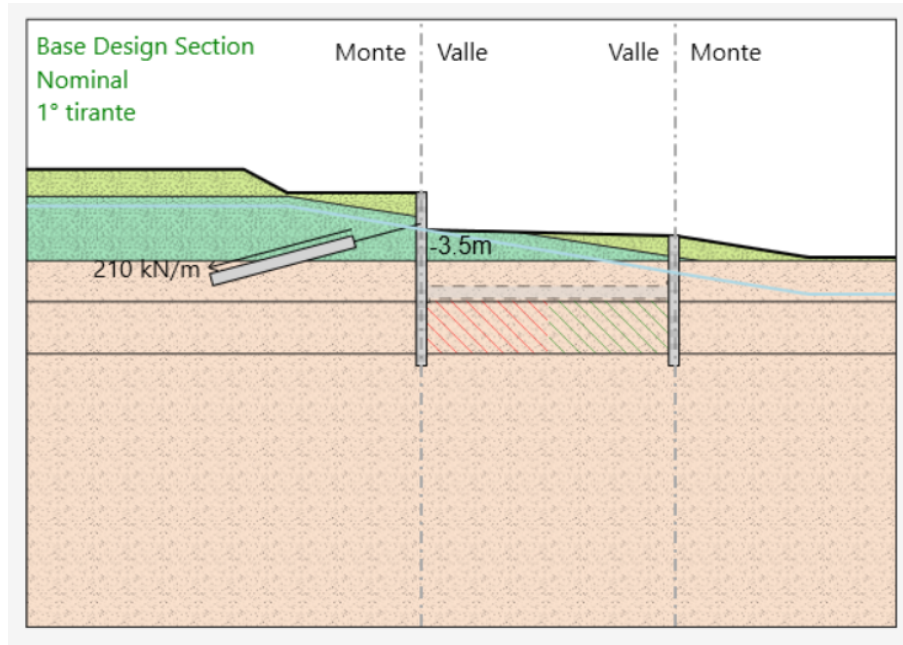


Figura 46 – Fase 4

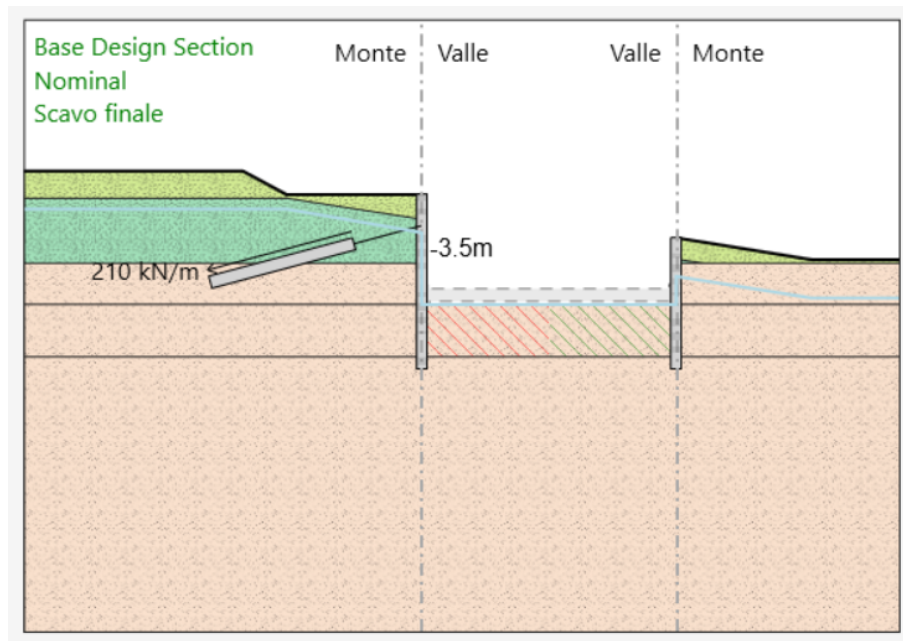


Figura 47 – Fase 5

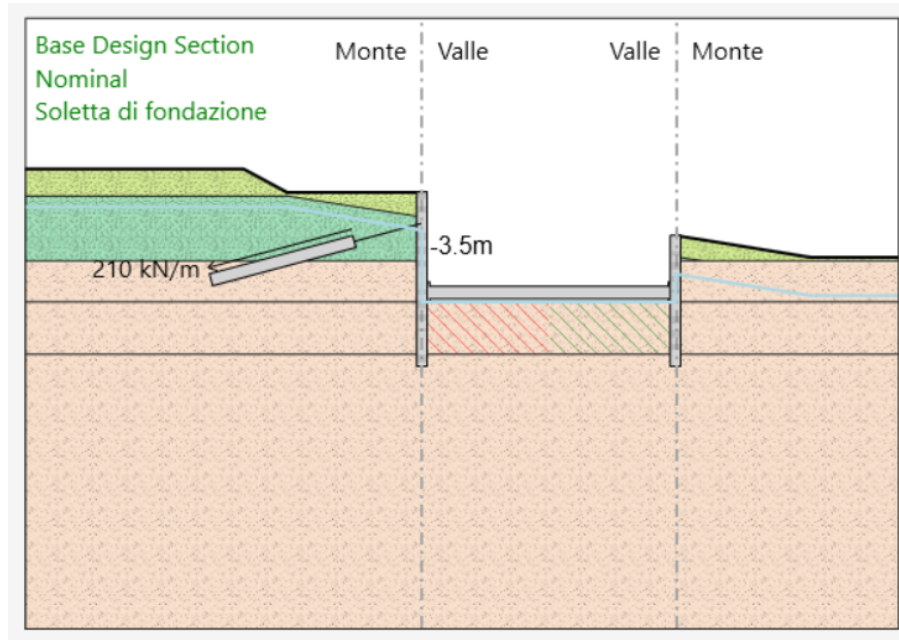


Figura 48 – Fase 6

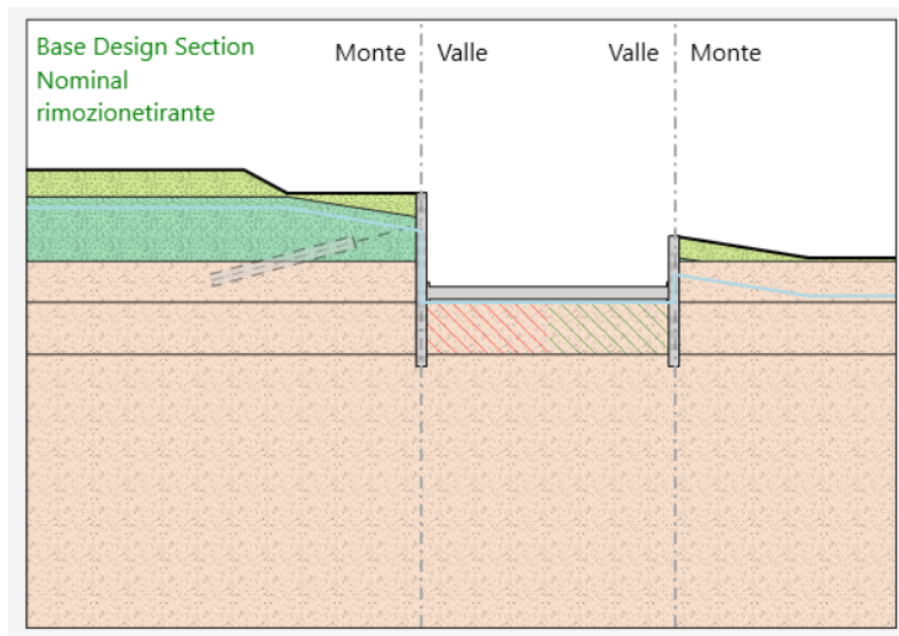


Figura 49 – Fase 7

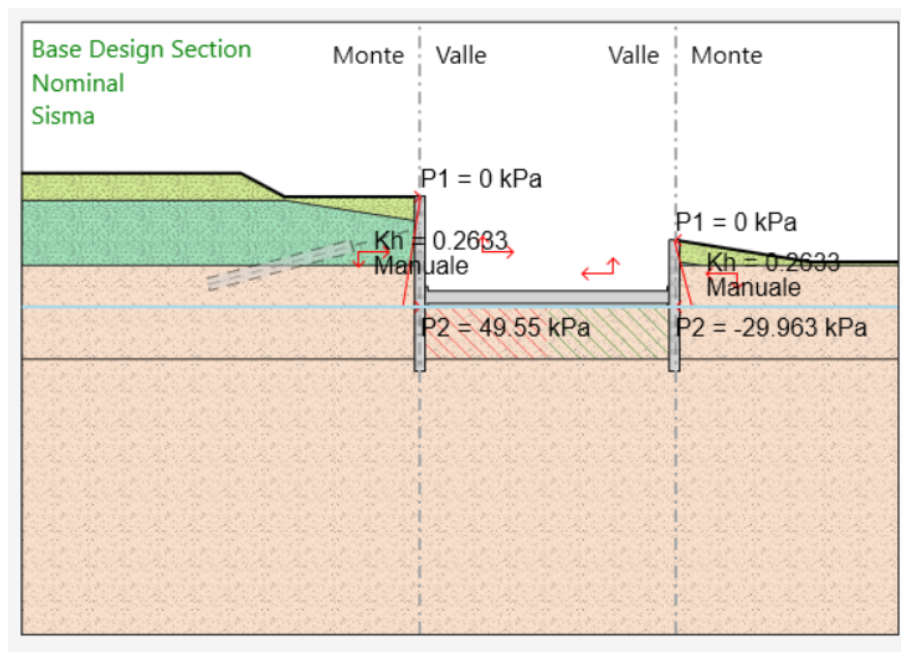


Figura 50 – Fase 8

10.2.4 Risultati delle analisi

10.2.4.1 Sollecitazioni SLU

Di seguito si riportano le sollecitazioni statiche e sismiche (momento flettente e taglio) agenti sull'opera per i casi statico e sismico. Ne risulta che il massimo momento flettente è pari a 2657.2 kNm/m ottenuto in condizioni sismiche (fase 8). Il massimo taglio è pari a 665.72 kN/m ottenuto sempre in fase 8.

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	69 di 139

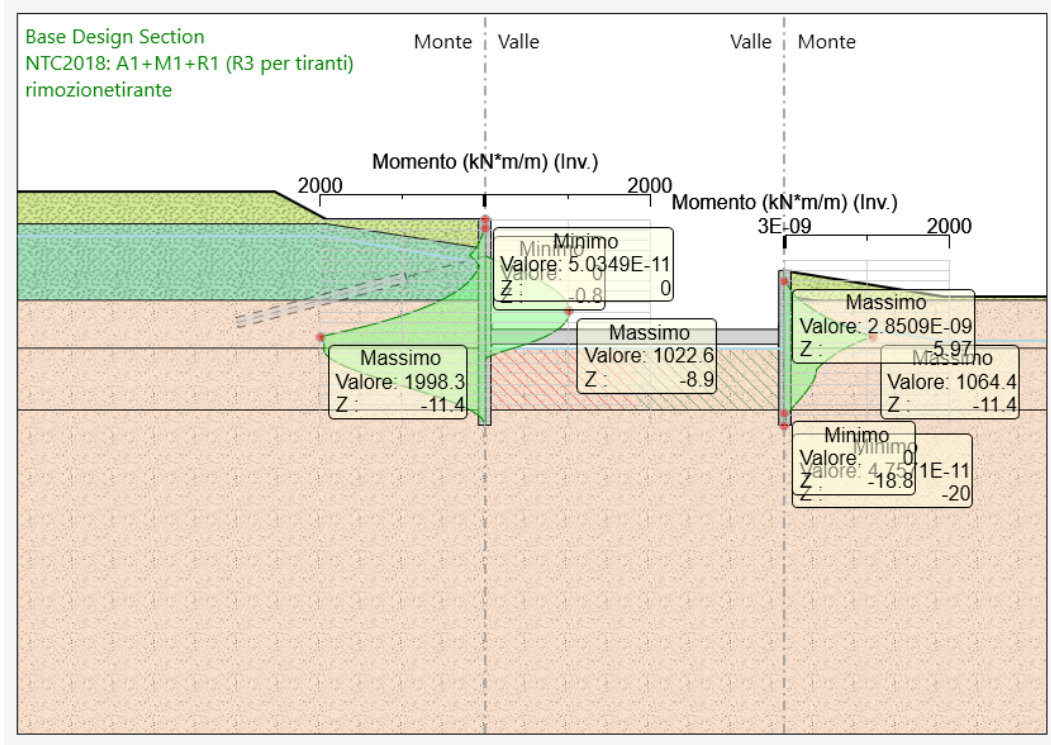


Figura 51 – Involuppo Momento flettente (A1+M1+R1) in fase statica

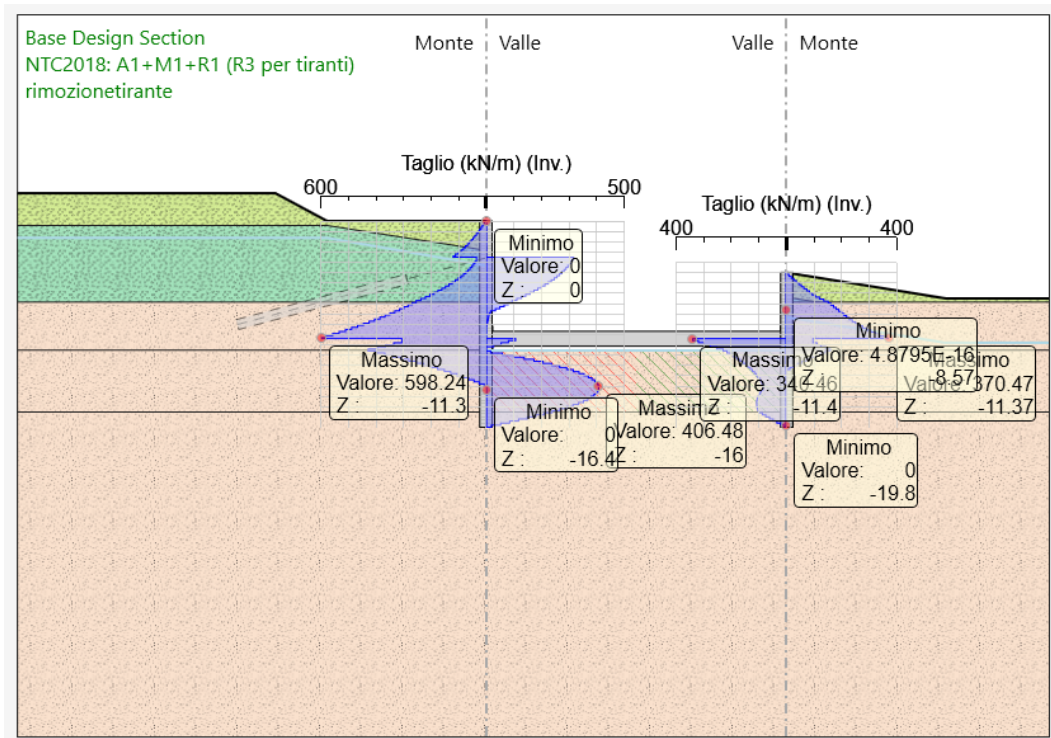


Figura 52 - Involuppo Taglio (A1+M1+R1) in fase statica

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	70 di 139

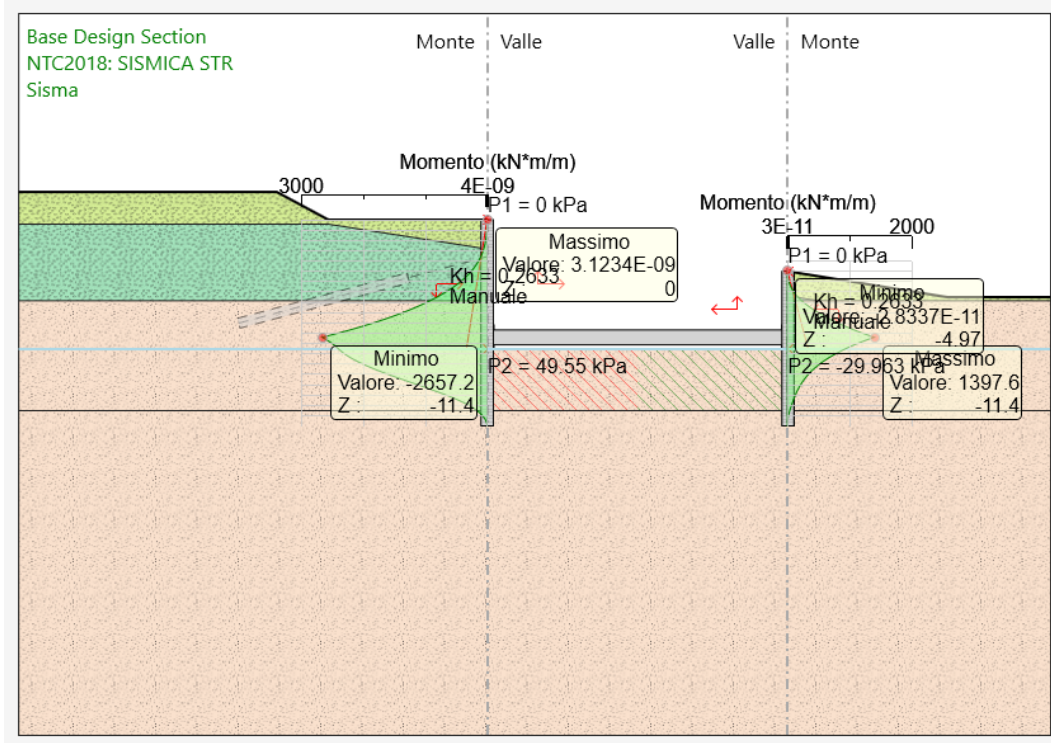


Figura 53 – Momento flettente: condizioni sismiche

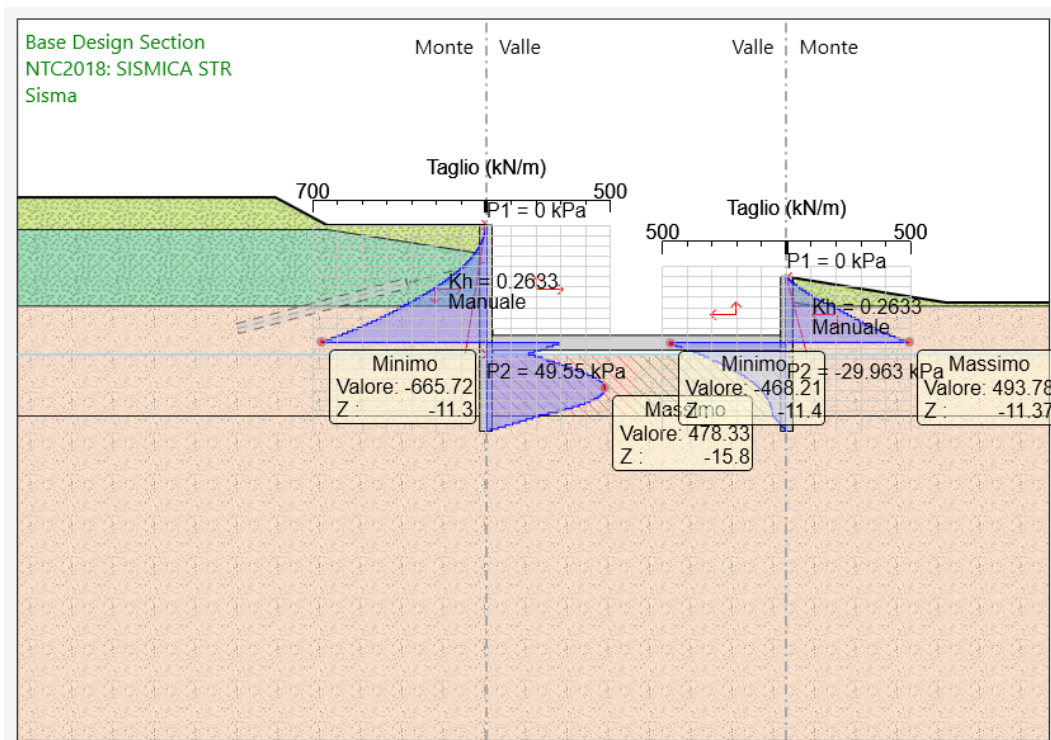


Figura 54 - Taglio: condizioni sismiche

Nelle successive figure si riportano i diagrammi di sfruttamento del momento e del taglio in fase statica e sismica. Ne risulta che nella fase statica si ottiene per il momento 0.56 e per il taglio 0.52 mentre nella fase sismica si ottiene per il momento 0.75 e per il taglio 0.60.

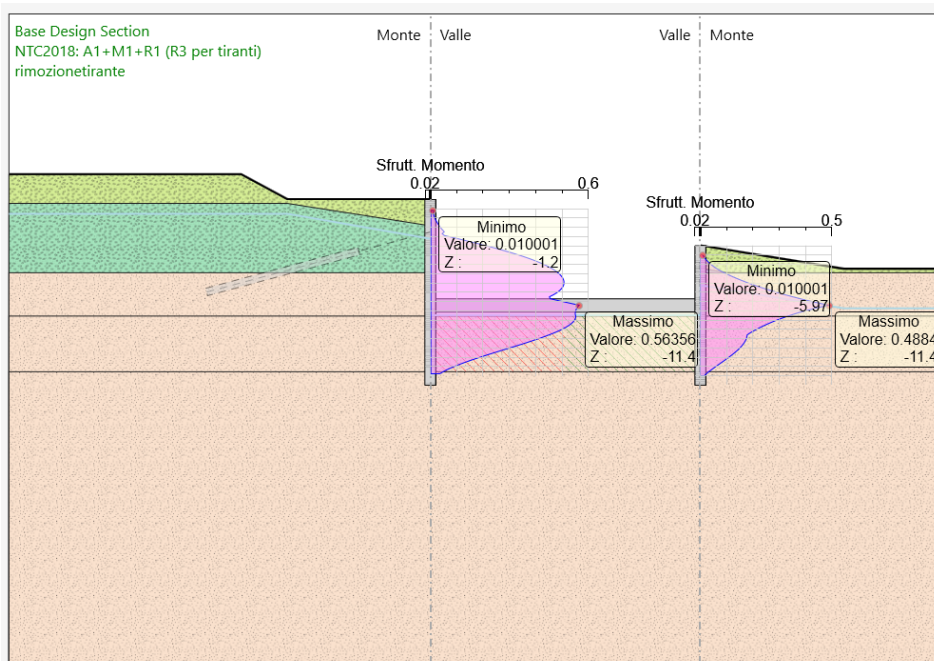


Figura 55 – Sfruttamento momento in fase statica

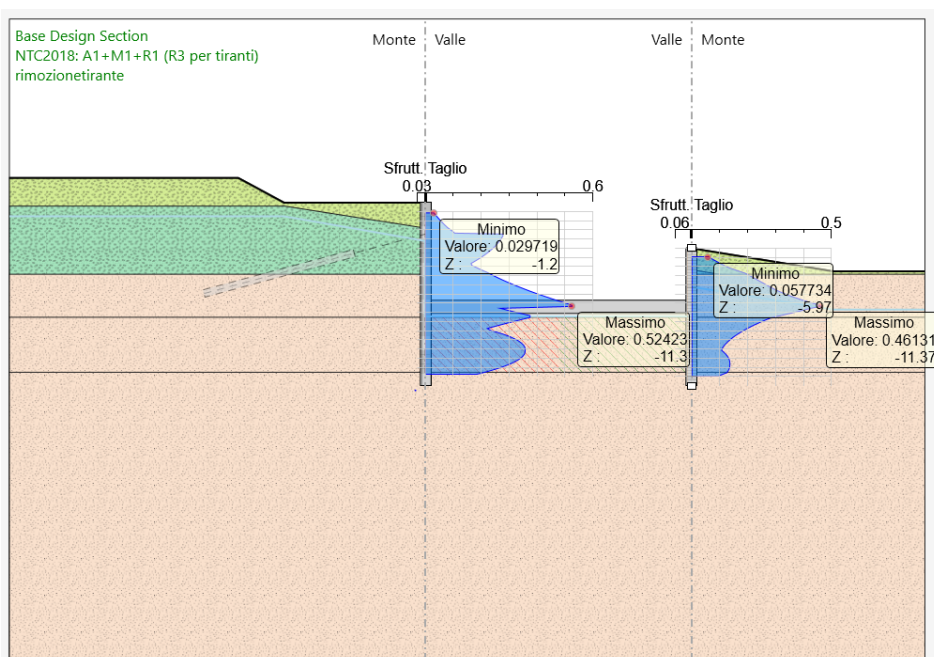


Figura 56 – Sfruttamento taglio in fase statica

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	72 di 139

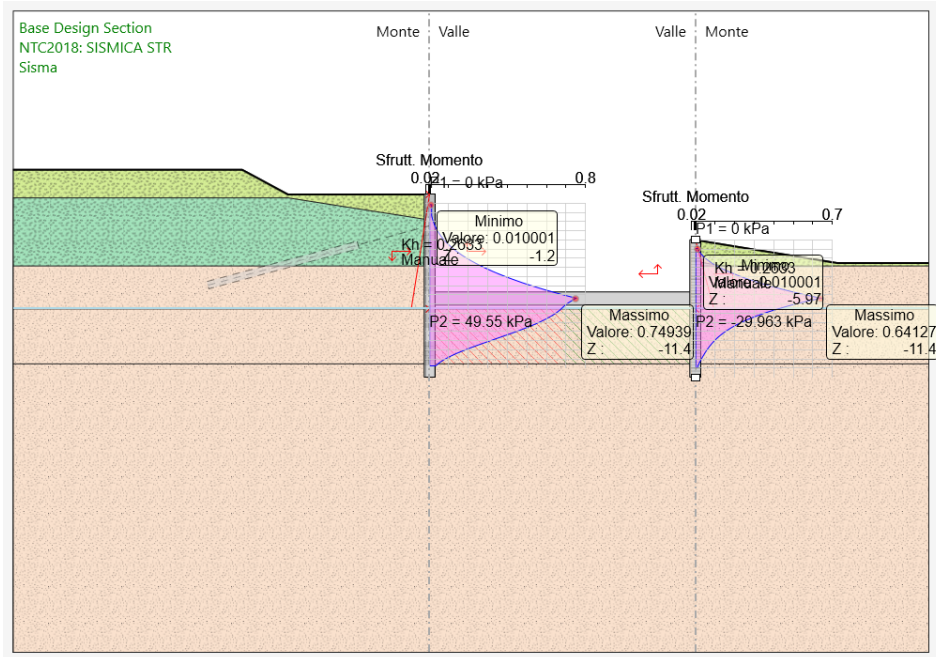


Figura 57 – Sfruttamento momento in condizioni sismiche

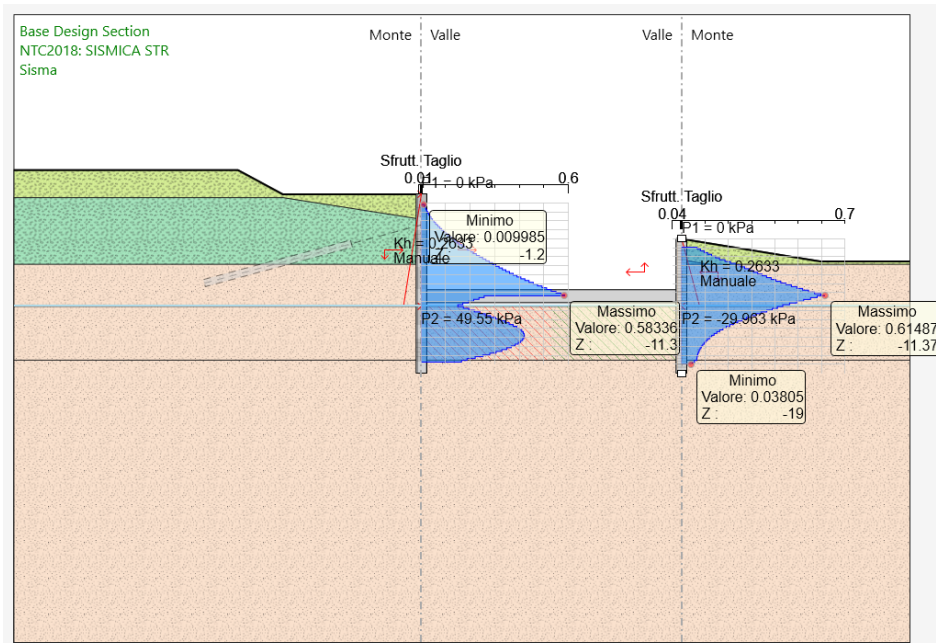


Figura 58 - Sfruttamento taglio in condizioni sismiche

10.2.4.2 Spostamenti orizzontali SLE

In Figura 59 e Figura 60 sono riportati gli spostamenti orizzontali dell'opera nelle fasi più significative. Ne risulta che il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a circa 75.3 mm ottenuto nella fase 7. Il valore ottenuto può essere ritenuto ammissibile, considerando anche il fatto che il modello cautelativamente non tiene conto della presenza della parete interna.

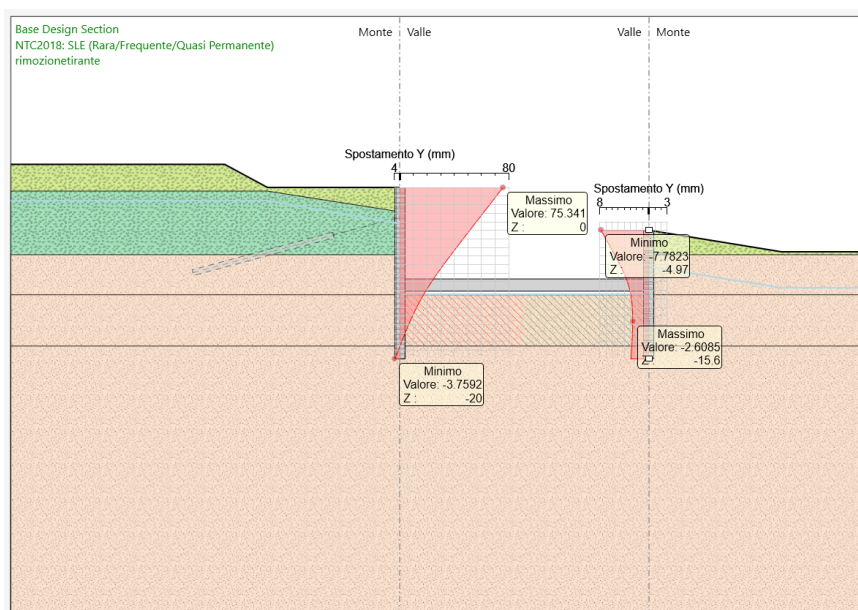


Figura 59 – Spostamenti orizzontali – Fase 7

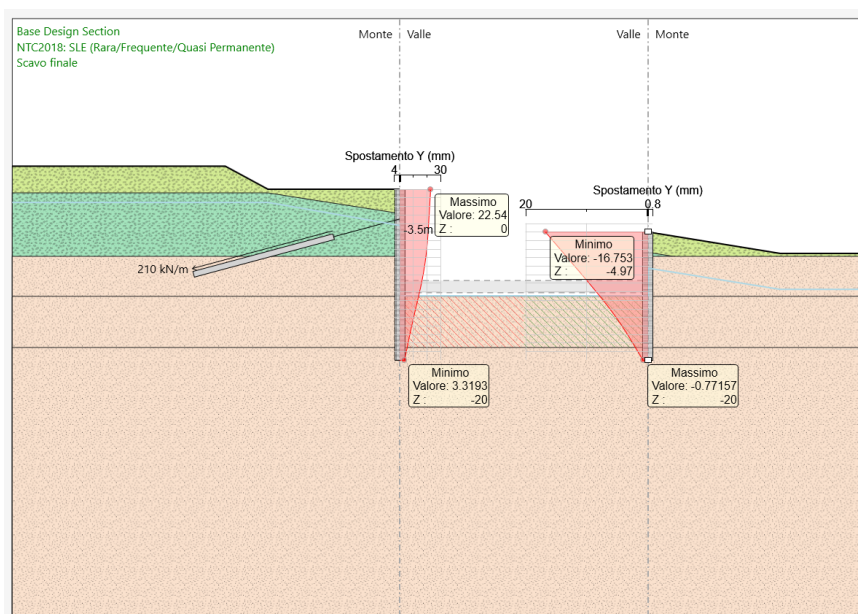



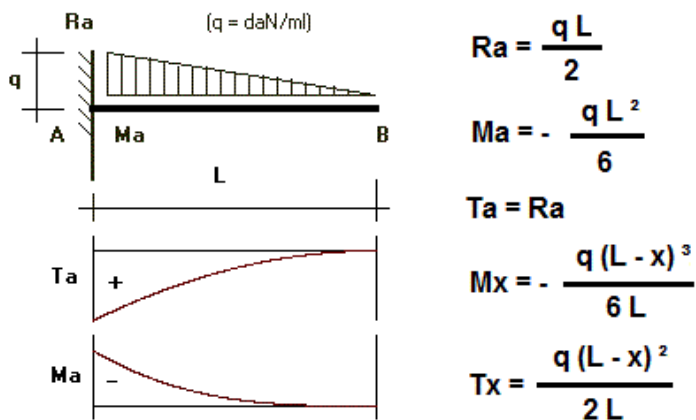
Figura 60 – Spostamenti orizzontali – Fase 5

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

10.2.4.3 Parete interna di rivestimento

Non potendo contare sulla perfetta tenuta idraulica dei diaframmi in cls si ipotizza che la parete sia soggetta alla spinta idrostatica dell'acqua. Per il predimensionamento della parete si utilizza lo schema di trave a mensola, considerando una striscia di larghezza unitaria di elemento.

MENSOLA CON CARICO TRIANGOLARE



Essendo $q = \gamma_w \cdot H_w = 10 \cdot 4.04 = 40.4 \text{ kN/m}$

le sollecitazioni massime allo SLU agenti alla base della parete sono pari a:

$$M_{Ed} = \gamma_{A1} \cdot \frac{1}{6} \cdot q \cdot H_w^2 = 1.35 \cdot \frac{1}{6} \cdot 40.4 \cdot 4.04^2 = 148.36 \text{ kNm/m}$$

$$V_{Ed} = \gamma_{A1} \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot H_w = 1.35 \cdot \frac{1}{2} \cdot 40.4 \cdot 4.04 = 110.17 \text{ kN/m}$$

10.2.4.4 Verifica Tiranti

Il dimensionamento geotecnico ed in particolare la verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio è stata svolta confrontando la massima azione di progetto sviluppata in tutti gli stage di analisi, con la resistenza di progetto, in accordo a quanto previsto dalle NTC2018 par. 6.6.1.

La resistenza allo sfilamento T_{lim} è calcolata in base alla seguente relazione:

$$T_{lim} = \pi \Phi_{perf} \alpha L_{fond} \tau_{lim}$$

in cui:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO COSENZA –PAOLA / S. LUCIDO PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 11	CODIFICA RL	DOCUMENTO IF0001 001	REV. B

Φ_{perf} = diametro della perforazione, pari a 180 mm;

α = coefficiente moltiplicativo per il calcolo del diametro del bulbo;

L_{fond} = lunghezza di ancoraggio di progetto;

τ_{lim} = tensione limite allo sfilamento (dipendente dai terreni interessati).

La tensione limite τ_{lim} è stata ricavata mediante il metodo di Bustamante e Doix.

Nello specifico, considerando in metodo di iniezione IGU:

Unità DA

$\alpha=1.3$ (IGU) $\tau_{lim}= 200\text{kPa}$

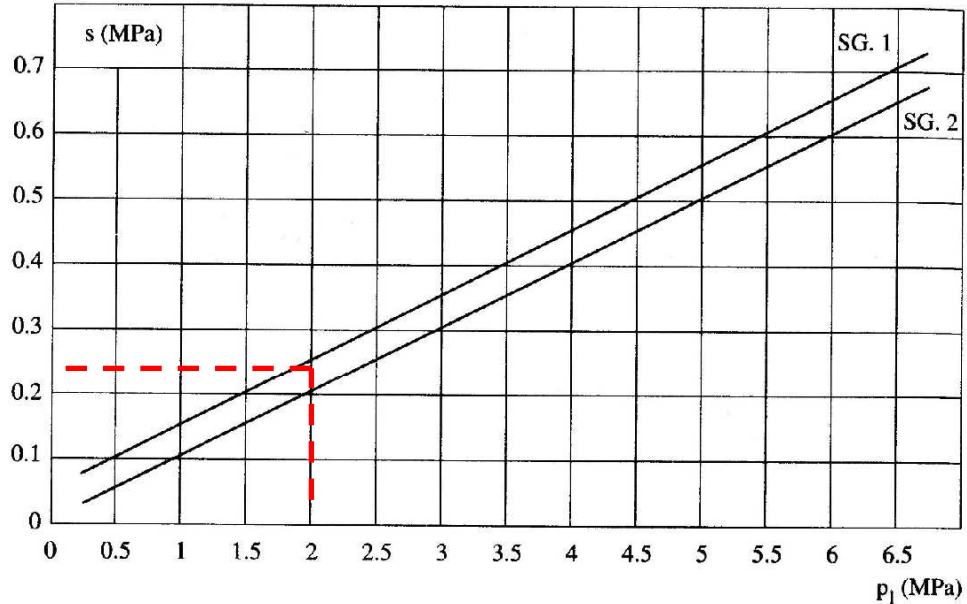
Si riportano di seguito gli abachi utilizzati per la scelta di tali parametri.

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

Relazione di predimensionamento delle GA e dei muri ad U tra diaframmi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 11	RL	IF0001 001	B	76 di 139

TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	≥ R1	≥ R2



	20	40	60	80	100	N_{SPT}
sciolto	moderatamente addensato	addensato	molto addensato			

Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

Unità DM
 $\alpha=1.3$ (IGU)

 $\tau_{lim}= 200\text{kPa}$

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati per la scelta di tali parametri.

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 -1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

TERRENO	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

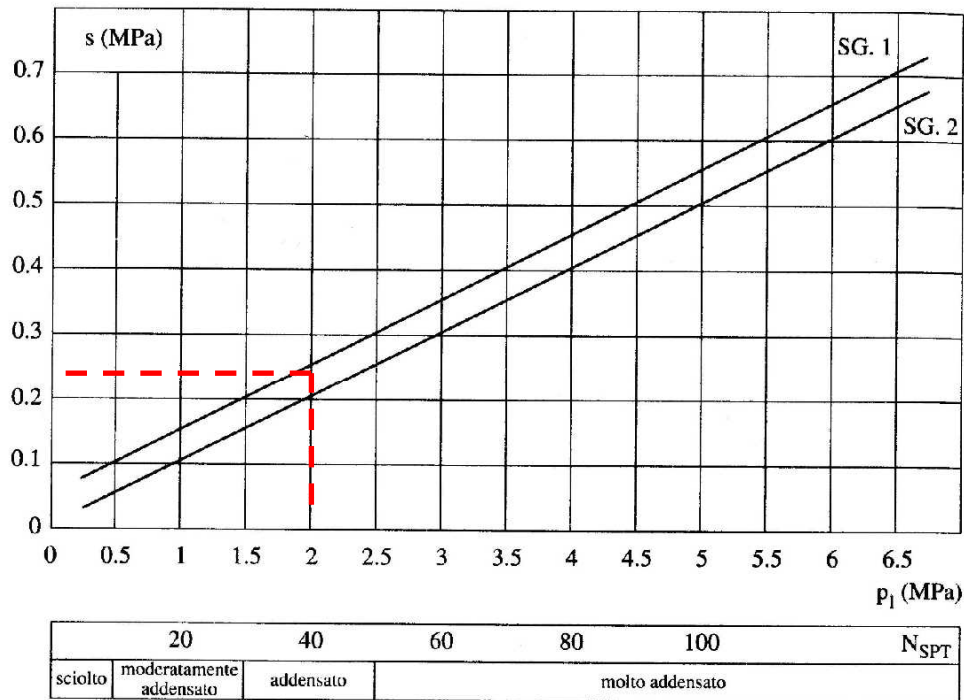


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

Unità ALD

$\alpha=1.2$ (IGU)

$\tau_{lim}= 100\text{kPa}$

Si riportano di seguito gli abachi utilizzati per la scelta di tali parametri.

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs