Regione Liguria

Provincia di Imperia

COMUNE DI BORDIGHERA

LAVORI DI SISTEMAZIONE ED ADEGUAMENTO IDRAULICO TORRENTE BORGHETTO

SECONDO STRALCIO

TRATTO DI MONTE DA VIA ROMANA A CONFINE COMUNALE

PRIMO LOTTO FUNZIONALE

POR FESR LIGURIA 2014-2020
"INVESTIMENTI A FAVORE DELLA CRESCITA E DELL'OCCUPAZIONE"
ASSE 5 - OT5 - OBIETTIVO SPECIFICO 5.1 - AZIONE N°5.1.1.

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	COMMITTENTE

RELAZIONE GEOTECNICA E DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Elaborato	Scala
4	-

CODICE:

16019-D30-0_GT

REVISIONE	DATA
0	OTT.2019

PROGETTISTI:
Dott. Ing. Bartolomeo VISCONTI

Dott. Ing. Luca GATTIGLIA

Dott. Ing. Chiara PALESE

EDes Ingegneri Associati P.IVA 10759750010
Via Postumia 49, 10142 Torino Tel. +39 011.0262900 Fax. +39 011.0262902
www.edesconsulting.eu edes@edesconsulting.eu

REGIONE LIGURIA **PROVINCIA DI IMPERIA**

COMUNE DI BORDIGHERA

LAVORI DI SISTEMAZIONE ED ADEGUAMENTO IDRAULICO TORRENTE BORGHETTO

SECONDO STRALCIO

TRATTO DI MONTE DA VIA ROMANA A CONFINE COMUNALE

PRIMO LOTTO FUNZIONALE

POR FESR LIGURIA 2014-2020
"INVESTIMENTI A FAVORE DELLA CRESCITA E DELL'OCCUPAZIONE"
ASSE 5 - OT5 - OBIETTIVO SPECIFICO 5.1 - AZIONE N°5.1.1.

RELAZIONE GEOTECNICA E DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

INDICE

1. PREMESSA 1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 1
3. CARATTERIZZAZIONE GEOTENICA 1
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA 2
5. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 6
6. DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO E STRUTTURALE MURO IN C.A. 6
6.1. VERIFICHE GEOTECNICHE 7
6.2. VERIFICHE STRUTTURALI 10
6.2.1 VERIFICHE A SLU 11
6.2.2 VERIFICHE A SLE 12
7. DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO E STRUTTURALE PARATIA IN MICROPALI 13

7.1. PRESENTAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO 13
7.2. MODELLO DI CALCOLO ADOTTATO 14
7.3. VERIFICHE GEOTECNICHE 15
7.3.1 COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA 15
7.3.2 INSTABILITÀ GLOBALE 16
7.4. VERIFICHE STRUTTURALI 19

1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica e di dimensionamento strutturale viene redatta nell'ambito della progettazione definitiva degli interventi di adeguamento idraulico del torrente Borghetto nel tratto di monte compreso tra l'imbocco dello scatolare di Via Cesare Augusto (Via Romana) e il ponte privato al civico 164 di Via Pasteur.
Scopo del presente lavoro è fornire gli elementi di dimensionamento geotecnico-strutturale a supporto della progettazione delle principali opere di difesa spondale sulla base delle considerazioni emerse dalla relazione geologica redatta dal Dott. Castelletto che fornisce gli approfondimenti di caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dai manufatti in progetto.

La presente relazione è stata redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e della Circolare C.S.LL.PP. n°7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018", secondo cui le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese alle opere, dei caratteri geologici del sito, della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle condizioni ambientali.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La redazione della presente relazione è stata eseguita nel rispetto della normativa in vigore e di alcune specifiche raccomandazioni, in particolare:

- D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni"
- C.S.LL.PP n°7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"
- Eurocodice 7 – "Progettazione geotecnica".
- OPCM 3274: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" e successive modifiche ed integrazioni.

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTENICA

La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata eseguita al fine di fornire dei parametri dei terreni per i calcoli geotecnici e per le verifiche strutturali delle opere in progetto. La parametrizzazione geotecnica e l'alternanza delle unità litotecniche è stata ricostruita sulla base dei soli dati provenienti dalle prove SPT (Standard Penetration Test) eseguite all'interno del sondaggio S1 realizzato nel mese di luglio 2009, lungo l'alveo del torrente Borghetto all'incrocio tra la Via Pasteur e la Via Romana. A fronte della ricostruzione litostratigrafica evidenziata nella relazione geologica allegata al progetto, ai fini dei calcoli si sono assunti i seguenti parametri geotecnici:

Tabella 1: Parametri geotecnici caratteristici

UNITA' LITOTECNICHE		Profondità da p.c. [m]	γ [kN/m³]	Φ' [°]	Φcv' [°]	c' [kPa]	Cu [kPa]
Terreno di Riporto		*da 0,00 a -4,00*	*18*	*29*	*26*	*0*	-
Depositi fluviali ghiaie e sabbie		*da -4,00 a -10,50*	*19*	*42*	*37*	*0*	-

Calcare marnoso	*da -10,50 a -16,00*	*20*	*36*	*31*	*-*	*10*
Calcarenite, calcare marnoso e argilliti	*da 16,00*	*24*	*42*	*37*	*-*	*20*

Le quote del tetto degli strati indicate nella tabella sovrastante si intendo a partire dal piano campagna attuale. Lo spessore del terreno di riporto potrebbe, nella realtà potrebbe risultare minore di quanto indicato, ma a favore di sicurezza si è assunto uno spessore di 4,00 m.

Ai fini della presenta trattazione, sulla base di quanto indicato nel paragrafo 6.3 della relazione geologica si è assunto un livello di falda coincidente con il piano d'alveo in progetto. Nella realtà tale assunzione risulta cautelativa in quanto dai dati rilevati tra il 2009 e il 2010 in corrispondenza del piezometro installato nel sondaggio S1 il livello di falda ha subito un'escursione con un livello minimo pari a -2.60 dal piano d'alveo.

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Come definito nel testo unico allegato al D.M. del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (Capitolo 3.2 Azione Sismica), "le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag ….".

In relazione all'aggiornamento generale apportato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri OPCM n°3274 del 20/03/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* recepita dalla Regione Liguria inizialmente con la D.G.R. n°1362 del 19/11/2010 e poi aggiornata con la D.G.R. n.216 del 17 marzo 2017: *"OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"*, che la sostituisce, il **Comune di Bordighera (IM)** ricade all'interno della **Zona 3** nelle tabelle della zonazione sismica, cui corrisponde nell'Allegato 2 *"Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici"* dell'OPCM n°3274, un valore del parametro ag = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A) pari a 0,15g (m/s^2), come riportato nella seguente tabella:

Zona	Valore di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

La normativa vigente, riprende i principi della classificazione sismica dei suoli dell'OPCM n°3274 e successive modifiche, ed individua come parametro di riferimento per la classificazione la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna (Vs30). Il parametro di riferimento viene calcolato con la seguente formula:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

nella quale:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella (D.M. 17/01/2018, Tabella 3.2.II).

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, 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.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per la definizione della categoria di sottosuolo sono stati utilizzati i dati provenienti da un'indagine sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzata in prossimità dello scatolare già realizzato nei pressi di Via Romana, nel settembre 2009. I dati provenienti dall'indagine, riepilogati in Figura 15, evidenziano una velocità V_{S30} di 629 m/s per cui è possibile classificare il sito in esame, in prima approssimazione, come suolo di **categoria B**.

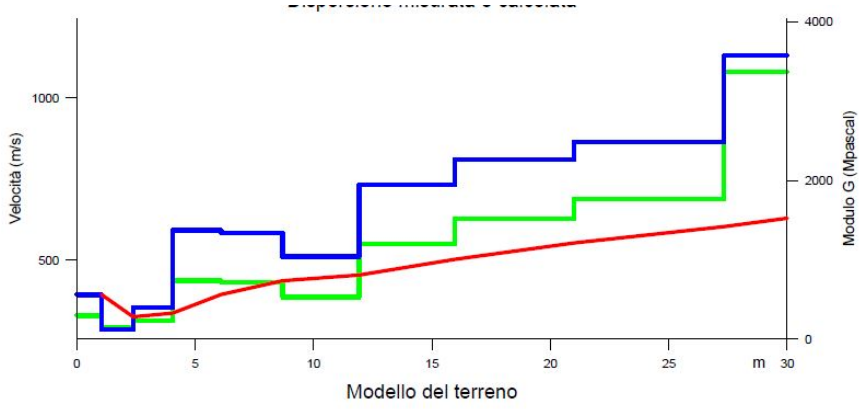


TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	1.1	393	.0027	393	293
1.1	2.4	286	.0046	326	146
2.4	4	354	.0047	337	232
4	6.1	592	.0035	394	733
6.1	8.7	584	.0044	436	710
8.7	11.9	511	.0063	454	525
11.9	16	732	.0055	503	1197
16	21	810	.0062	553	1514
21	27.3	864	.0073	603	1765
27.3	30	1131	.0024	629	3368

VALORE CALCOLATO VS30 = 629 m/s

Figura 1: *schema di modello del terreno sulla base dell'indagine MASW (settembre 2009). In blu è indicata la velocità sismica delle onde (m/s) , in verde è indicato il modulo di taglio G (MPa), in rosso è indicato la VsX*

Sulla base della classificazione sismica ottenuta e delle coordinate geografiche del sito in esame nonché delle caratteristiche topografiche, ed altri parametri relativi alla nuova costruzione in oggetto, è possibile definire gli spettri di risposta in accelerazione per ogni stato limite (di esercizio e ultimo) considerato. In funzione dello spettro di risposta sarà quindi possibile determinare l'azione sismica, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. (§ 3.2 NTC-18).

Individuata la categoria del sottosuolo, si procede alla valutazione delle condizioni topografiche al fine di valutare l'amplificazione sismica locale (tabella seguente).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Il sito in esame appartiene alla categoria T1.

E' necessario inoltre, al fine di valutare gli spettri di risposta per i diversi stati limite, fare alcune considerazioni di carattere generale sull'opera che si va a realizzare.

In primo luogo deve essere definita la vita nominale della struttura V_N: *"La vita nominale di un'opera strutturale V_N è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I (§ 2.4.1 NTC-2018)".*

Si riporta di seguito la tabella utilizzata per la definizione di V_N

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

L'opera in progetto ricade nella seconda categoria, pertanto si considera una vita nominale pari a 50 anni.

Per valutare il periodo di riferimento per l'azione sismica è necessario definire il coefficiente d'uso funzione della classe di uso della struttura in progetto (§ 2.4.3 NTC-18).

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

La struttura ricadrebbe in Classe d'uso II a cui corrisponde un coefficiente d'uso C_u=1.

In relazione alle considerazioni fino ad ora esplicitate, è possibile calcolare gli spettri di risposta partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per una serie di punti sul territorio, e possono essere opportunamente interpolati. A tal proposito é stato utilizzato il supporto informatico denominato "Geostru PS" della Geostru Software che permette un calcolo agevole dei parametri a_g, F_o, T_c e degli stessi spettri di risposta.

Si riportano di seguito i parametri di progetto relativi all'azione sismica per i diversi stati limite, inerenti il sito indagato ubicato nel Comune di **Bordighera (IM):**



Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.025	2.533	0.187
Danno (SLD)	50	0.037	2.607	0.205
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.134	2.445	0.290
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.180	2.485	0.305
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

In ambito geotecnico, i parametri sopra esplicitati si utilizzano per il calcolo dei coefficienti sismici (kh e kv) il quale a sua volta rientra nella definizione dei coefficienti correttivi per calcolo della capacità portante e della spinta attiva.

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'adeguamento della sezione idraulica del torrente Borghetto, in corrispondenza del tratto indicato come secondo stralcio, comporta la realizzazione di una serie di opere (prevalentemente in c.a.) quali nuovi muri in spondali, opere di protezione dei manufatti esistenti e scogliere in massi cementati. Nello specifico, ai fini della presente trattazione si identificano i seguenti manufatti oggetto di apposite verifiche di carattere geotecnico-strutturale:

- Muro a mensola in calcestruzzo armato, in sponda destra orografica, in corrispondenza del tratto denominato A, con altezza variabile dallo spiccato delle fondazioni da 4,70 a 5,30 m (compresa l'altezza per il parapetto).
- Paratia a sbalzo in micropali con altezza pari a 3,70 m, in sponda destra orografica, in sostituzione del muro in c.a. nei tratti in cui non sussistono gli spazi per la realizzazione degli sbancamenti necessari per la realizzazione del muro. In particolare tale situazione si verifica immediatamente a monte dell'imbocco dello scatolare di Via Cesere Augusto (Via Romana).

6. DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO E STRUTTURALE MURO IN C.A.

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo muro spondale con altezza variabile compresa tra 4,70 e 5,30 m che consente l'allargamento della sezione d'alveo dal lato della sponda destra. Tale muro è costituito da un muro a mensola in c.a. con paramento inclinato dello spessore variabile da 55 cm dallo spiccato delle fondazioni a 40 cm in sommità, e fondazione a sezione costante di larghezza totale pari a 3,00 m (suola di monte pari a 1,70 m) e spessore pari a 60 cm. In fondazione è prevista la realizzazione di un dente rettangolare con altezza pari a 50 cm e larghezza pari a 70 cm per incrementare il coefficiente di sicurezza nei confronti della verifica a scorrimento.

Come sezione di calcolo si è assunta la sezione n.70 che presenta la maggior altezza in elevazione (H= 5,30 m) mentre la stratigrafia di riferimento è quella presentata nel paragrafo 3.

Oltre ai carichi dovuti al peso proprio e ai permanenti dovuti alla spinta delle terre, a tergo del muro si è assunto un sovraccarico pari a 10 kN/m^2 al fine di simulare i carichi stradali.

Il calcolo della spinta è svolto secondo il metodo del cuneo di tentativo generalizzato (Rif.: Renato LANCELLOTTA "Geotecnica" (2004) - NAVFAC Design Manual 7.02 (1986)). Il metodo è iterativo e prevede la suddivisione del terreno a monte dell'opera in poligoni semplici definiti dal paramento, dalla successione stratigrafica e dalla superficie di scivolamento di tentativo. La procedura automatica vaglia numerose superfici di scivolamento ad ogni quota di calcolo lungo il paramento, determinando la configurazione che comporta la spinta massima sull'opera.

Di seguito verranno illustrate le verifiche svolte ai sensi del D.M. 17/01/2018, in condizioni sismiche.

I calcoli sono stati eseguiti con l'ausilio del software IS Muri, modulo di geotecnica per il calcolo dei muri di sostegno di Dolmen Win 13.

Per quanto concerne i materiali, si adotteranno le seguenti prescrizioni:

- calcestruzzo per opere di fondazione → classe C32/40, Rck 40 N/mm^2
- calcestruzzo per opere in elevazione → classe C32/40, Rck 40 N/mm^2
- acciaio per calcestruzzo armato B450C → fyd = 450 N/ mm^2 = 450 MPa

6.1. VERIFICHE GEOTECNICHE

Nel presente paragrafo verranno approfondite le verifiche di carattere geotecnico, in particolare:

- a capacità portante;
- a ribaltamento (equilibrio);
- a scorrimento;
- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno

Ai sensi del §6.5.3.1. la verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2) mentre le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2 con la combinazione (A1+M1+R3).

Verifica capacità portante

La valutazione della capacità portante è condotta sulla base dell'usuale formula di Brinch – Hansen che viene qui di seguito richiamata:

$$qlim = 0.5\ \gamma c\ B'\ N\gamma\ s\gamma\ i\gamma\ b\gamma\ g\gamma\ z\gamma\ + c'\ Nc\ sc\ dc\ ic\ bc\ gc\ zc\ + q'\ Nq\ sq\ dq\ iq\ bq\ gq\ zq$$

nella quale appaiono i coefficienti correttivi per tener conto della forma della fondazione, dell'approfondimento, della presenza dell'azione orizzontale, dall'inclinazione del piano di posa, e della presenza del sisma.

Verifica ribaltamento

La verifica a ribaltamento è condotta effettuando il bilanciamento delle azioni che producono un momento ribaltante e quelle che producono un effetto stabilizzante; la verifica è soddisfatta se viene rispetta la seguente condizione:

$$F_{rib} = \frac{M_{stab.}}{M_{rib.}} \geq \gamma_R \quad \text{con } \gamma_R = 1$$

Verifica scorrimento

Il collasso per slittamento è scongiurato se il contributo dell'attrito e della coesione sull'area efficace della fondazione più il contributo della resistenza passiva laterale è maggiore delle forze orizzontali sollecitanti:

$$F_{scor} = \frac{\tan\delta \cdot V}{H} \geq \gamma_R \quad \text{con } \gamma_R = 1$$

Verifica a stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno

Viene eseguita con il metodo di Bishop semplificato ipotizzando un reticolo per definire i centri delle superfici di scivolamento circolari e scegliendo quella con il fattore di sicurezza minore.

Nella seguente tabella si riportano le verifiche geotecniche eseguite automaticamente dal programma per le diverse combinazioni di carico previste da normativa per le due diverse condizioni:

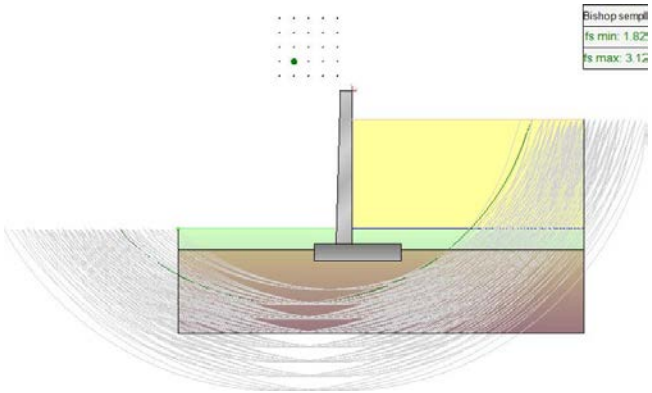
Tabella 2: Riepilogo verifiche geotecniche

CASO DI CARICO	CAPACITÀ PORTANTE	SCORRIMENTO	EQUILIBRIO
1 - STR (SLU)	- *Drenata* - q applicata = 1.82 daN/cm2 q ammissibile = 8.68 daN/cm2 --> fs = 4.78 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - v applicato = 3619.03 daN v ammissibile = 20801.74 daN --> fs = 5.75 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - verifica non prevista - *Stab. globale* - Verifica non prevista
2 - GEO (SLU_GEO)	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - verifica non prevista - *Stab. globale* - --> fs = 1.48 [Verificato]
3 - EQU (SLU_EQU)	- *Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - Stabile (spost.max.=2.2[cm])

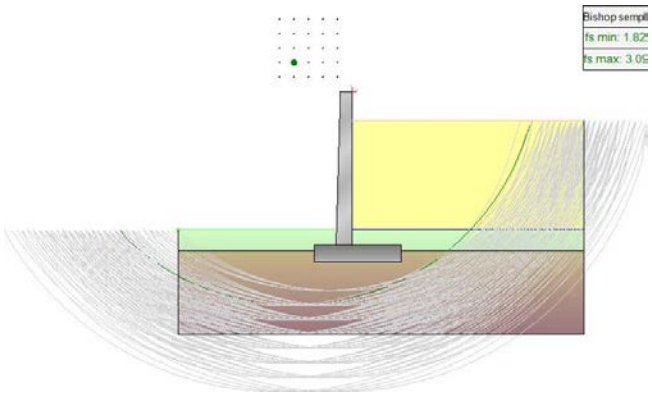
	- *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Non Drenata* - verifica non prevista	[Verificato] - *Stab. globale* - Verifica non prevista
4 - STR_SISMA_SU (SLU)	- *Drenata* - q applicata = 1.37 daN/cm2 q ammissibile = 7.88 daN/cm2 --> fs = 5.75 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - v applicato = 3426.97 daN v ammissibile = 15464.31 daN --> fs = 4.51 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - verifica non prevista - *Stab. globale* - Verifica non prevista
5 - GEO_SISMA_SU (SLU_GEO)	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - v applicato = 4993.33 daN v ammissibile = 14111.91 daN --> fs = 2.83 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - verifica non prevista - *Stab. globale* - --> fs = 1.46 [Verificato]
6 - EQU_SISMA_SU (SLU_EQU)	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - Stabile (spost.max.=1.8[cm]) [Verificato] - *Stab. globale* - Verifica non prevista
7 - STR_SISMA_GIU (SLU)	- *Drenata* - q applicata = 1.42 daN/cm2 q ammissibile = 7.92 daN/cm2 --> fs = 5.59 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - v applicato = 3505.61 daN v ammissibile = 16030.75 daN --> fs = 4.57 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - verifica non prevista - *Stab. globale* - Verifica non prevista
8 - GEO_SISMA_GIU (SLU_GEO)	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - v applicato = 5128.38 daN v ammissibile = 14629.84 daN --> fs = 2.85 [Verificato] - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - verifica non prevista - *Stab. globale* - --> fs = 1.48 [Verificato]
9 - EQU_SISMA_GIU (SLU_EQU)	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Drenata* - verifica non prevista - *Non Drenata* - verifica non prevista	- *Ribaltamento* - Stabile (spost.max.=1.8[cm]) [Verificato] - *Stab. globale* - Verifica non prevista

Per le verifiche di stabilità globale si verifica:

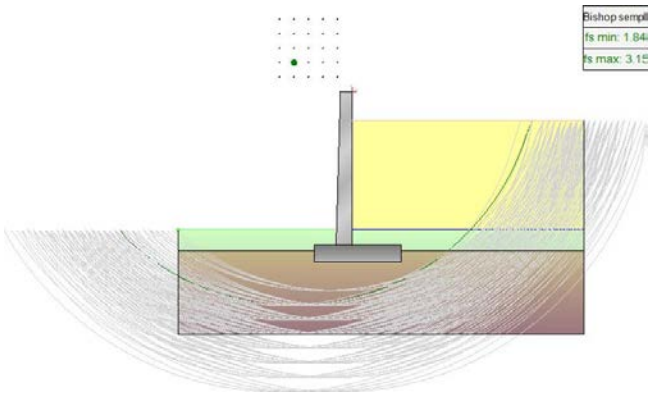
Caso: GEO (SLU_GEO) . Descrizione: SLU_Geo (appr.2) . Centro = 9 . fs = 1.82 [Verificato]



Caso: GEO_SISMA_SU (SLU_GEO) . Descrizione: SLU_Geo_Sisma_Su (appr.2) . Centro = 9 . fs = 1.82 [Verificato]



Caso: GEO_SISMA_GIU (SLU_GEO) . Descrizione: SLU_Geo_Sisma_Giu (appr.2) . Centro = 9 . fs = 1.84 [Verificato]



6.2. VERIFICHE STRUTTURALI

La verifica delle sezioni in cemento armato viene eseguita a SLU e SLE. La pressoflessione è verificata a SLU con i diagrammi costitutivi parabola-rettangolo (cls) e bilatero (acciaio) [NTC18 4.1.2.1.2]. La resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti è verificata a SLU [NTC08 4.1.2.3.5]. A SLE si verifica lo stato limite di apertura delle fessure [NTC08 4.1.2.2.4], e la tensione massima nei materiali [NTC08 4.1.2.3.5].

Le verifiche strutturali sono condotte ai sensi del D.M. 17/01/2018 applicando i coefficienti di sicurezza parziali alle resistenze e alle azioni secondo l'Approccio 2.

Le verifiche principali sono la verifica a flessione e taglio e sono state condotte in automatico dal software IS MURI, per ogni combinazione di carico prevista da normativa in condizioni sismiche.

Le sezioni più sollecitate sono le sezioni di innesto tra fusto e fondazioni, in corrispondenza delle quali si verifica il momento massimo e il taglio massimo in fondazione.

6.2.1 Verifiche a SLU

Le verifiche sono state condotte disponendo un'armatura lungo il fusto in corrispondenza della sezione d'innesto di 5 ϕ 20 al metro, oltre ai ferri di ripresa dell'elevazione costituiti da 5 ϕ 16. La platea di fondazione è armata con 5 ϕ 18 al metro.

Tabella 3 Verifica a flessione paramento muro

CASO	Msd [kN*m]	Mrd [kN*m]	Fs
1 SLU_STR	138.28	342.30	2.48
2 SLU_GEO	per verifiche geotecniche		
3 SLU_EQU	per equilibrio		
4 SLU_STR_SISMA SU	104.76	336.24	3.21
5 SLU_GEO_SISMA SU	per verifiche geotecniche		
6 SLU_EQU_SISMA SU	per equilibrio		
7 SLU_STR_SISMA GIU	108.15	337.00	3.12
8 SLU_GEO_SISMA GIU	per verifiche geotecniche		
9 SLU_EQU_SISMA GIU	per equilibrio		

Tabella 4 Verifica a taglio paramento muro

CASO	Vsd [kN]	Vrd [kN]	Fs
1 SLU_STR	93.18	221.20	2.37
2 SLU_GEO	per verifiche geotecniche		
3 SLU_EQU	per equilibrio		
4 SLU_STR_SISMA SU	70.32	221.20	3.15
5 SLU_GEO_SISMA SU	per verifiche geotecniche		
6 SLU_EQU_SISMA SU	per equilibrio		
7 SLU_STR_SISMA GIU	72.65	221.20	3.04
8 SLU_GEO_SISMA GIU	per verifiche geotecniche		
9 SLU_EQU_SISMA GIU	per equilibrio		

Tabella 5 Verifica a flessione fondazione muro

CASO	Msd [kN*m]	Mrd [kN*m]	Fs
1 SLU_STR	94.86	294.57	3.11
2 SLU_GEO	per verifiche geotecniche		
3 SLU_EQU	per equilibrio		
4 SLU_STR_SISMA SU	73.38	295.05	4.02
5 SLU_GEO_SISMA SU	per verifiche geotecniche		
6 SLU_EQU_SISMA SU	per equilibrio		
7 SLU_STR_SISMA GIU	75.67	295.14	3.90
8 SLU_GEO_SISMA GIU	per verifiche geotecniche		
9 SLU_EQU_SISMA GIU	per equilibrio		

Tabella 6 Verifica a taglio fondazione muro

CASO	Vsd [kN]	Vrd [kN]	Fs
1 SLU_STR	121.06	235.33	1.94
2 SLU_GEO	per verifiche geotecniche		
3 SLU_EQU	per equilibrio		
4 SLU_STR_SISMA SU	91.19	235.33	2.58
5 SLU_GEO_SISMA SU	per verifiche geotecniche		
6 SLU_EQU_SISMA SU	per equilibrio		
7 SLU_STR_SISMA GIU	94.30	235.33	2.50
8 SLU_GEO_SISMA GIU	per verifiche geotecniche		
9 SLU_EQU_SISMA GIU	per equilibrio		

Il muro in esame risulta verificato allo stato limite ultimo.

6.2.2 Verifiche a SLE

Avendo eseguito tutte le verifiche necessarie per il dimensionamento allo stato limite ultimo del muro in progetto, non rimane che analizzare le condizioni di esercizio.

In accordo con quanto riportato all'interno della normativa si procederà a valutare lo stato tensionale d'esercizio e l'apertura delle fessure.

Si verifica in particolar modo che:

- σc< 0.6*fck = 0.6*40 = 19.2 N/mm2 per combinazione rara;
- σc< 0.45*fck = 0.45*40 = 14.4 N/mm2 per combinazione quasi permanente;
- σs< 0.8*fyk = 0.8*391 = 312.8 N/mm2 per combinazione rara;
- apertura delle fessure < w3 = 0.4 mm per combinazione frequente;
- apertura delle fessure < w2 = 0.3 mm per combinazione quasi permanente.

Tabella 7 Tabella riepilogativa verifiche a SLE

CASO	σCLS [N/mm²]	σACCIAIO [N/mm²]	Fessure [mm]
10 SLE_RARA	3.15	117.10	*Verifica non prevista*
11 SLE_FREQ.	*Verifica non prevista*	169.11	0.23
12 SLE_Q.PERM.	3.15	*Verifica non prevista*	0.23

Il muro in esame risulta verificato allo stato limite di esercizio.

7. DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO E STRUTTURALE PARATIA IN MICROPALI

E' prevista la realizzazione di una paratia in micropali in prossimità dell'imbocco dello scatolare di via Romana. Tale opera è prevista in sostituzione del muro di sostegno in c.a. per l'impossibilità di operare uno scavo di sbancamento tale da consentire la realizzazione di un muro.

L'opera di sostegno, di carattere definitivo, è costituita da una paratia in micropali del diametro di 250 mm di perforazione, armati con tubolare in acciaio 177.8x10 mm iniettati a gravità (IGU), della lunghezza di 8.00 m. I micropali saranno collegati in testa da una trave di coronamento in c.a. delle dimensioni 70x90 cm.

La sezione di riferimento è la sezione n.20 che presenta uno sbalzo di scavo di circa 3.70 m. In realtà, una volta operato l'allargamento dell'alveo e il raccordo con lo scatolare, il fondo scavo sarà rivestito con ulteriore platea in massi cementati dello spessore di 80 cm, quindi l'effettivo sbalzo in condizioni di servizio sarà minore. Tale condizione nelle verifiche effettuate non è stata considerata a favore di sicurezza. Poiché la paratia costituirà il nuovo muro spondale del torrente è previsto una rivestimento dei pali con un getto in calcestruzzo delle spessore medio di 0.

Oltre ai carichi dovuti al peso proprio e ai permanenti dovuti alla spinta delle terre, a tergo del muro si è assunto un sovraccarico pari a 10 kN/m² al fine di simulare la presenza degli edifici a tergo o i carichi stradali nel caso in cui il Comune procedesse con l'ipotesi di realizzare una nuova viabilità.

Di seguito verranno illustrate le verifiche svolte ai sensi del D.M. 17/01/2018, in condizioni sismiche.

I calcoli sono stati eseguiti con l'ausilio del software Paratie 2019 nel seguito presentato.

Per quanto concerne i materiali, si adotteranno le seguenti prescrizioni:

- calcestruzzo per rivestimento e cordolo sommitale → classe C32/40, Rck 40 N/mm²
- acciaio per calcestruzzo armato B450C → fyd = 450 N/ mm² = 450 MPa
- acciaio per tubolari S 355 → fyk = 235 MPa fytk = 5510 MPa

7.1. PRESENTAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

Per il dimensionamento dell'opera in oggetto si è utilizzato il software "Paratie 2019" distribuito da Harpaceas, Milano.

Il codice fornisce una simulazione numerica ad elementi finiti restituendo il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse.

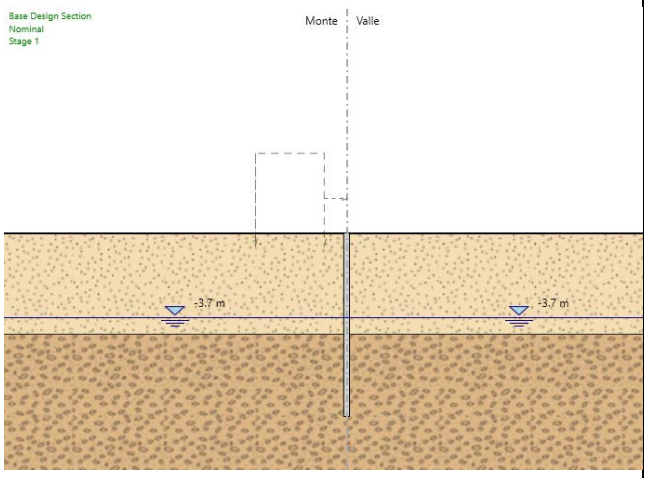
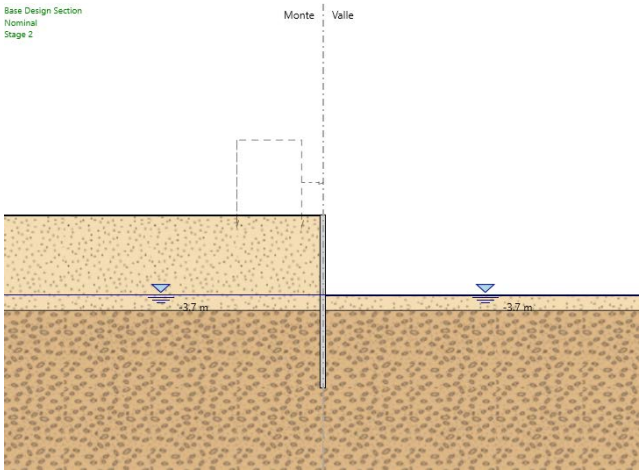
La schematizzazione in elementi finiti avviene secondo il seguente schema logico:

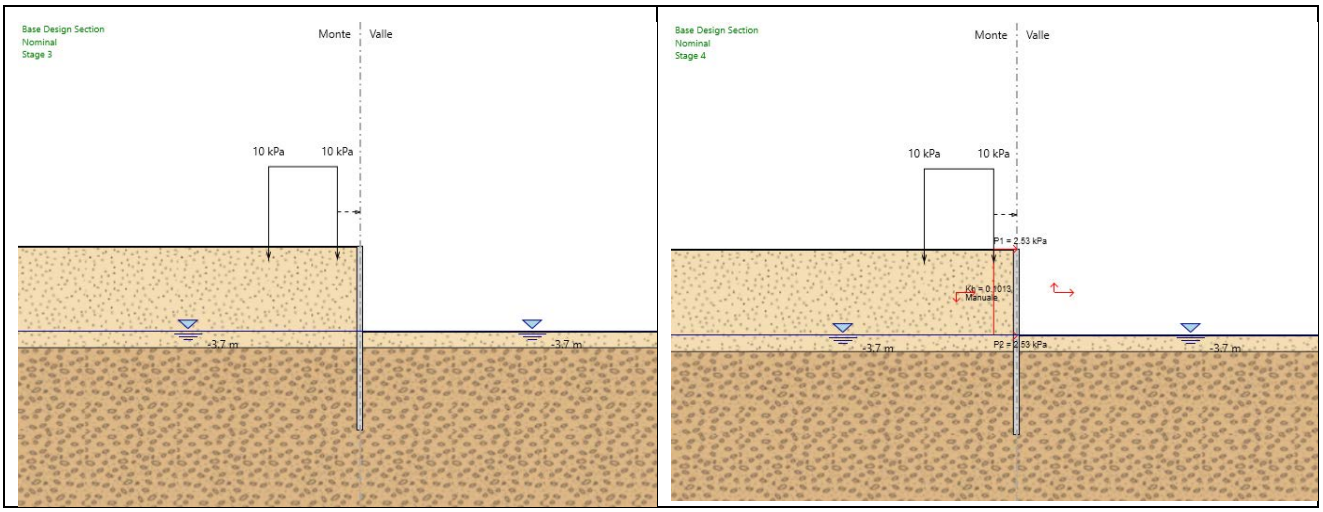
- si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

Nelle recenti versioni, il programma automaticamente effettua le verifiche sia strutturali che geotecniche applicando le combinazioni di calcolo imposte dalla NTC 2008 (2018 nella nuova versione).

7.2. MODELLO DI CALCOLO ADOTTATO

Il codice di calcolo presentato permette di analizzare più stage di calcolo in relazione agli step di scavo ed all'eventuale installazione di sistemi di ancoraggio. Nel caso in esame, trattandosi di una semplice paratia a sbalzo, si individuano 4 soli stage di calcolo, brevemente presentati di seguito.

<table>
<tr>
<td>STAGE 1 – Realizzazione micropali

</td>
<td>STAGE 2 – Scavo a quota – 3.70 m

</td>
</tr>
<tr>
<td>STAGE 3 – Applicazione del sovraccarico</td>
<td>STAGE 4 – Applicazione del sisma</td>
</tr>
</table>



La stratigrafia e i parametri geotecnici sono quelli presentati nei paragrafi precedenti, mentre il livello di falda si è assunto, in via molto cautelativa, coincidente con il fondo scavo.

7.3. VERIFICHE GEOTECNICHE

Gli stati limite ultimi di carattere geotecnico (SLU GEO) che coinvolgono l'opera in progetto sono essenzialmente:

- Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera;
- Instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Gli stati limite di carattere idraulico non vengono contemplati in quanto la falda, sebbene nei calcoli sia stata assunta coincidente con il piano scavo a favore di sicurezza, si posiziona normalmente a quote inferiori. Inoltre il piano d'alveo attuale è molto prossimo al fondo scavo previsto in condizioni di progetto. Tale condizione associata al fatto che il materiale in scavo è rappresentato da materiale prevalentemente sabbioso-ghiaioso e che non sussiste la possibilità che si inneschino differenze del piano di falda tra monte e valle della paratia, determina l'impossibilità che si verifichino condizioni di instabilità per sifonamento o di instabilità del fondo scavo.

Le altre verifiche previste ai sensi del §6.5.3.1.2 sono previste per paratie dotate di sistemi di ancoraggio e quindi non significative per il caso in esame.

7.3.1 Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera

L'analisi FEM, condotta con il software utilizzato consente di tener conto dell'interazione terreno-struttura. Nel caso delle paratie questa interazione è fondamentale, in quanto il regime di spinta mobilitato è direttamente dettato dagli spostamenti dell'opera stessa. Questo significa che spostamenti da monte verso valle mobilitano un regime di spinta a monte variabile con la profondità dallo stato a riposo allo stato limite attivo, mentre a valle il regime di spinta è variabile con la profondità dallo stato a riposo allo stato limite passivo. Più la paratia resta ferma più il regime di spinte è prossimo allo stato a riposo.

Questa peculiarità è possibile con una metodologia di calcolo FEM mediante il metodo della pressione dipendente, aspetto che viene automaticamente tenuto in conto nell'analisi. Pertanto la convergenza del modello FEM in ogni stage di calcolo verifica la stabilità della paratia restituendo come out-put i parametri per il dimensionamento strutturale dei singoli elementi che compongono l'opera di sostegno.

Per semplicità di lettura, oltre a fornire gli output del codice di calcolo, nel seguito si riassumono i risultati ottenuti da Paratie Plus in termini di fattori di sicurezza per lo stage 4 che rappresenta la condizione di normale esercizio.

Tabella 8 Sintesi verifiche geotecniche

STAGE	COMBINAZIONE DI CARICO	Fpassiva/efficace
4	A1+M1+R1	2.76
	A2+M2+R2	1.33
	SISMICO	2.07

Dalla tabella sovrastante appare evidente come la paratia in oggetto sia verificata nei confronti del rapporto di mobilitazione tra spinta mobilitata e spinta attiva e ciò risulta confermato innanzi tutto dalla convergenza del modello.

7.3.2 Instabilità globale

L'intervento in progetto è stato analizzato in termini di stabilità globale ai sensi del paragrafo 6.5.3.1.1 del D.M. 17/01/2018.

I parametri geotecnici dei terreni, sono stati assunti come parametri caratteristici (paragrafo 3) e le analisi sono state condotte secondo l'approccio 1 combinazione 2 in condizioni sismiche (dal D.M. 17/01/2018).

Nell'ambito dell'attività di progettazione è stato possibile ricostruire una sezione significativa sulla quale effettuare le verifiche di stabilità sulla base delle sezioni stratigrafiche di rilievo allegate alla relazione geologico.

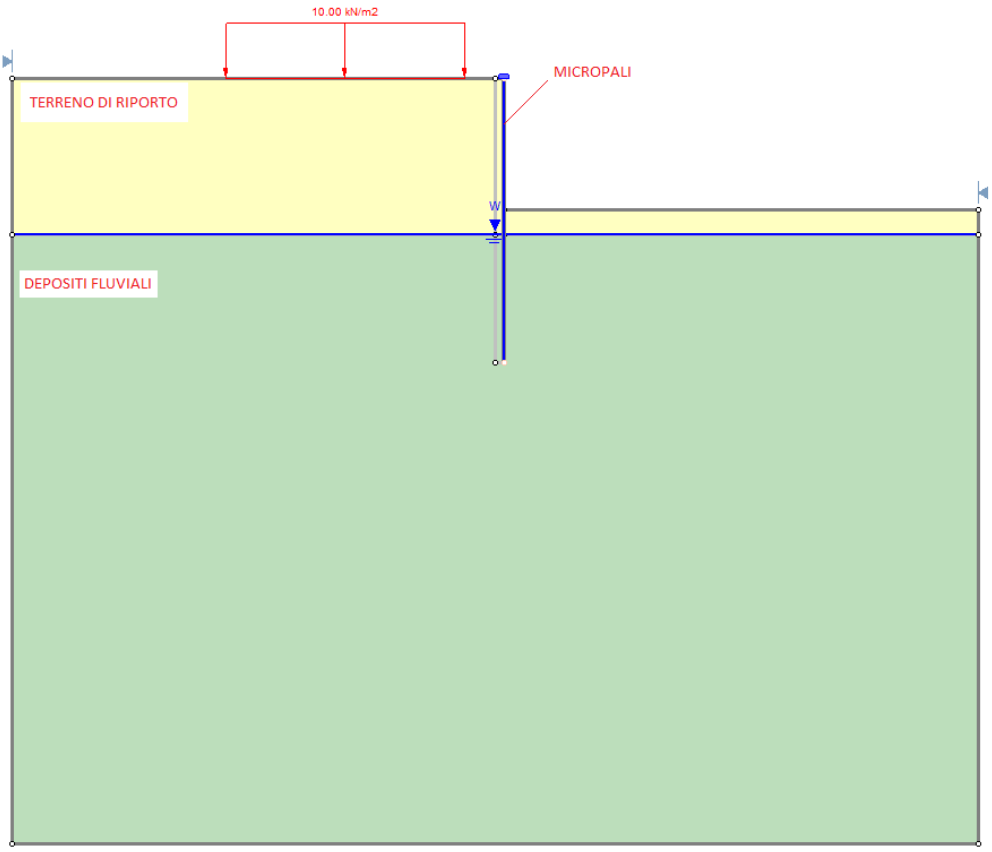


Figura 1 Modello schematico utilizzato nelle verifiche

Di seguito viene riportato il modello di calcolo di riferimento.

Il programma utilizzato svolge in automatico la verifica secondo il metodo Jambu semplificato, analizzando una serie di superfici di scivolamento ed evidenziando quella con fattore di sicurezza minore.

Il software utilizzato permette di inserire direttamente i micropali come elementi dotati di resistenza al taglio. Tale resistenza è calcolata secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 §4.2.4.1.2:

$$V_{cRd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Av è l'area resistente a taglio che per sezioni circolari tubolari vale : $2A/\pi$

Il γ_{M0} rappresenta il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature, che per l'acciaio di classe 1 è pari a 1.05.

Considerando:

Av = 33.60 cm^2

Acciaio S355 ⟶ fyk = 355 MPa

Si ottiene:

$V_{cRd} \cong 655\ kN$ (approssimato per difetto).

Il valore ottenuto è stato inserito nel modello di calcolo:

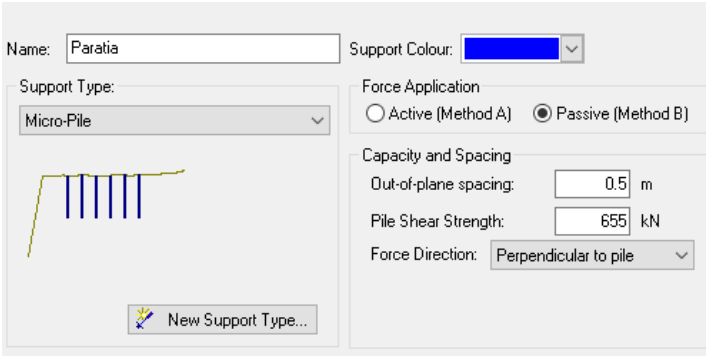
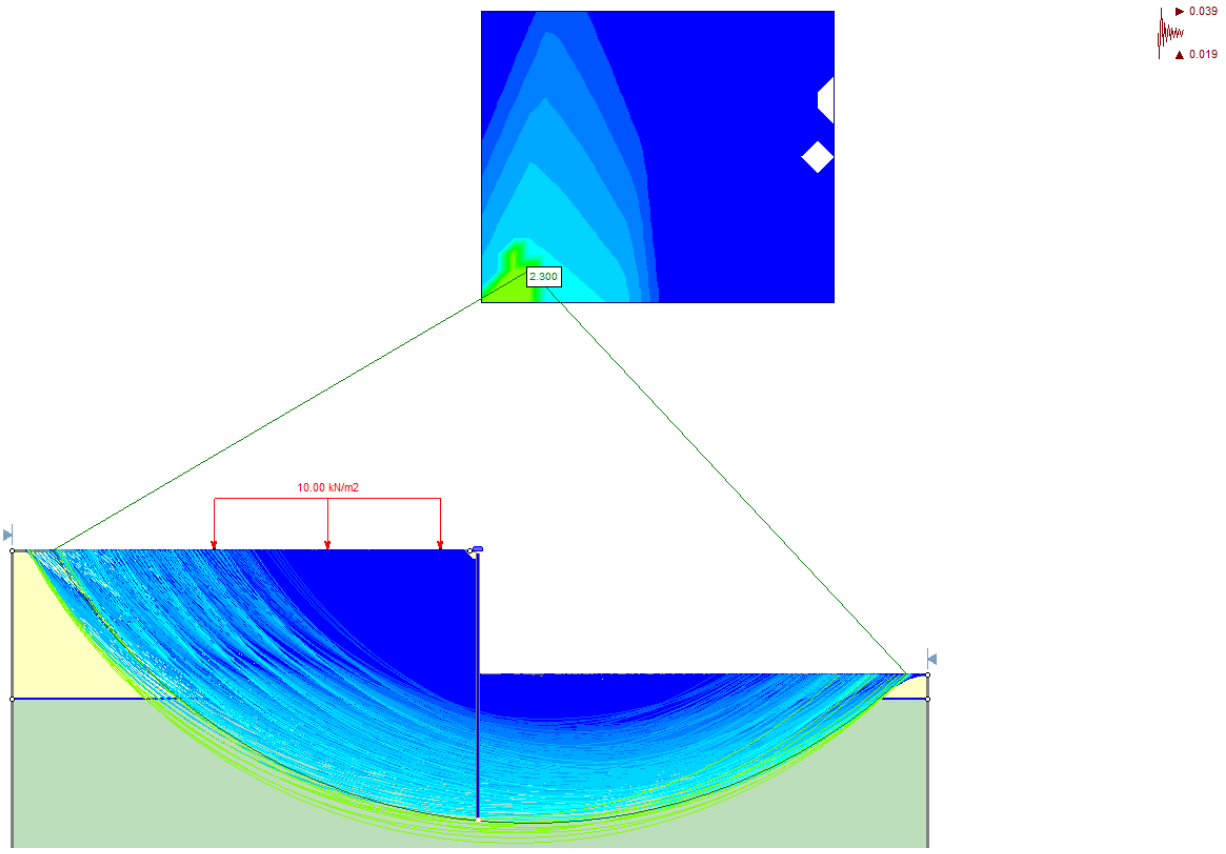
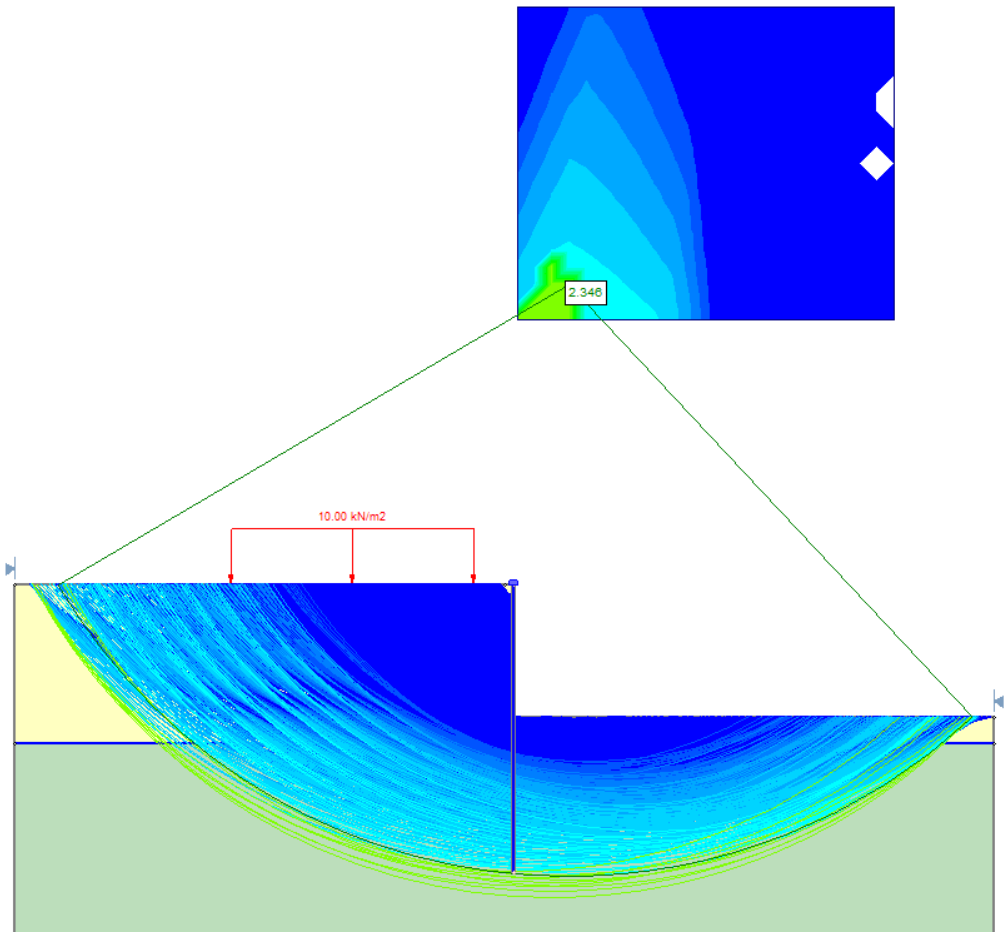


Figura 2 Inserimento caratteristiche dei micropali

Il programma svolge in automatico la verifica secondo il metodo Bishop semplificato, analizzando una serie di superfici di scivolamento ed evidenziando quella con fattore di sicurezza minore.

I risultati ottenuti sono illustrati nel seguito:


0.039
0.019
2.300
10.00 kN/m2


0.039
0.019
2.346
10.00 kN/m2

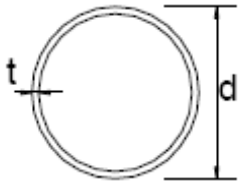
Dalle analisi effettuate, si nota come tutte le superfici di scivolamento individuate risultano con fattore di sicurezza maggiore di 1.1, e pertanto l'intervento in progetto è verificato anche in termini di stabilità globale.

7.4. VERIFICHE STRUTTURALI

Non essendo presenti ancoraggi o altri sistemi di contenimento, le verifiche strutturali sono effettuate esclusivamente su gli elementi costituenti la paratia e pertanto sui micropali.

I singoli micropali, di lunghezza pari a 8 m, sono posti ad interasse costante pari a 0.50 m.

L'armatura è costituita da un profilato tubolare S355 con:



d_{est}.= 17.78 cm

t = 1.00 cm

A = 52.7 cm^2

Wpl = 282 cm^3

Le caratteristiche del materiale sono riassunte di seguito:

f_{yk} = 355 MPa

f_{ytk} = 510 MPa

Anche in questo caso il software esegue in automatico le verifiche strutturali della sezione del micropalo determinando inizialmente le sollecitazioni di momento e taglio al metro lineare di paratia. La verifica (sia a flessione che a taglio) è espressa come rapporto tra la sollecitazione massima applicata e la corrispondente resistenza (momento e taglio).

Nelle seguenti tabelle si riportano, per ogni combinazione a SLU, i valori massimi di sollecitazioni di flessione e taglio determinati e il corrispondente TSF STR, verificando che questo sia sempre inferiore all'unità.

Tabella 9 Verifica elementi strutturali – FLESSIONE

STAGE	COMBINAZIONE DI CARICO	Mmax [kNm/m]	Mres [kNm/m]	TSF flessione
4	A1+M1+R1	164.9	190.62	0.865
	A2+M2+R2	187.9	190.62	0.983
	SISMICO	165.41	190.62	0.868

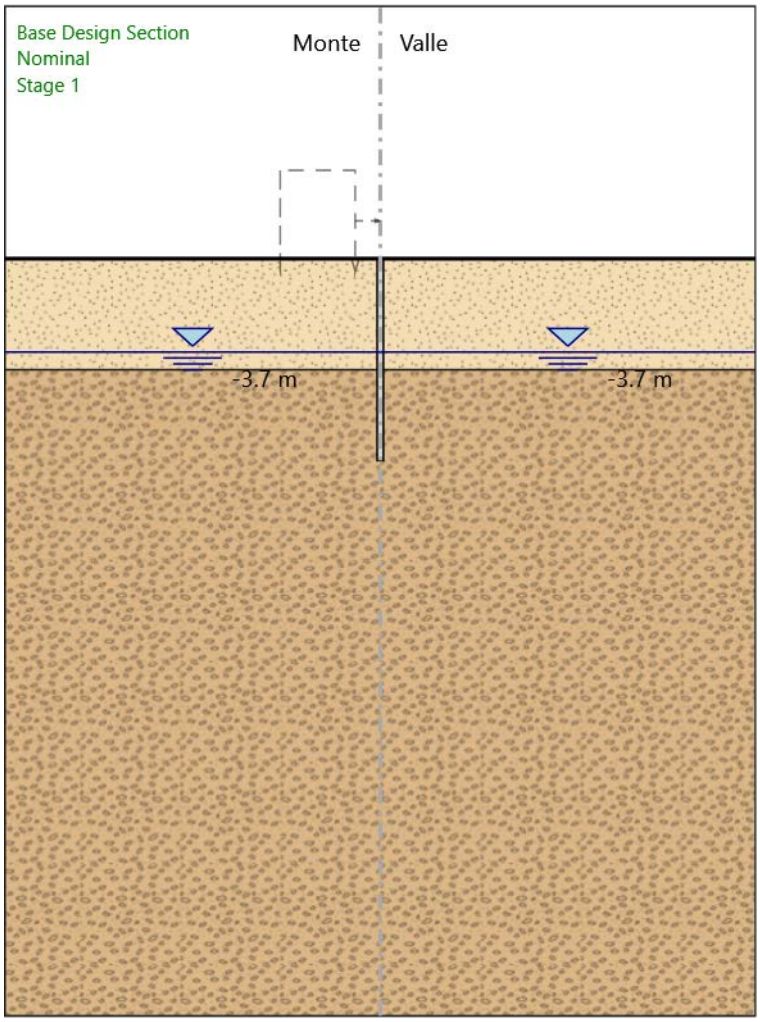
Tabella 10 Verifica elementi strutturali - TAGLIO

STAGE	COMBINAZIONE DI CARICO	Tmax [kN/m]	Tres [kN/m]	TSF taglio
4	A1+M1+R1	90.60	1310.20	0.07
	A2+M2+R2	137.57	1310.20	0.105
	SISMICO	98.59	1310.20	0.075

Dalle tabelle sovrastanti si evince come la sezione della paratia sia verificata strutturalmente.

Fasi di Calcolo

Stage 1



Stage 1

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

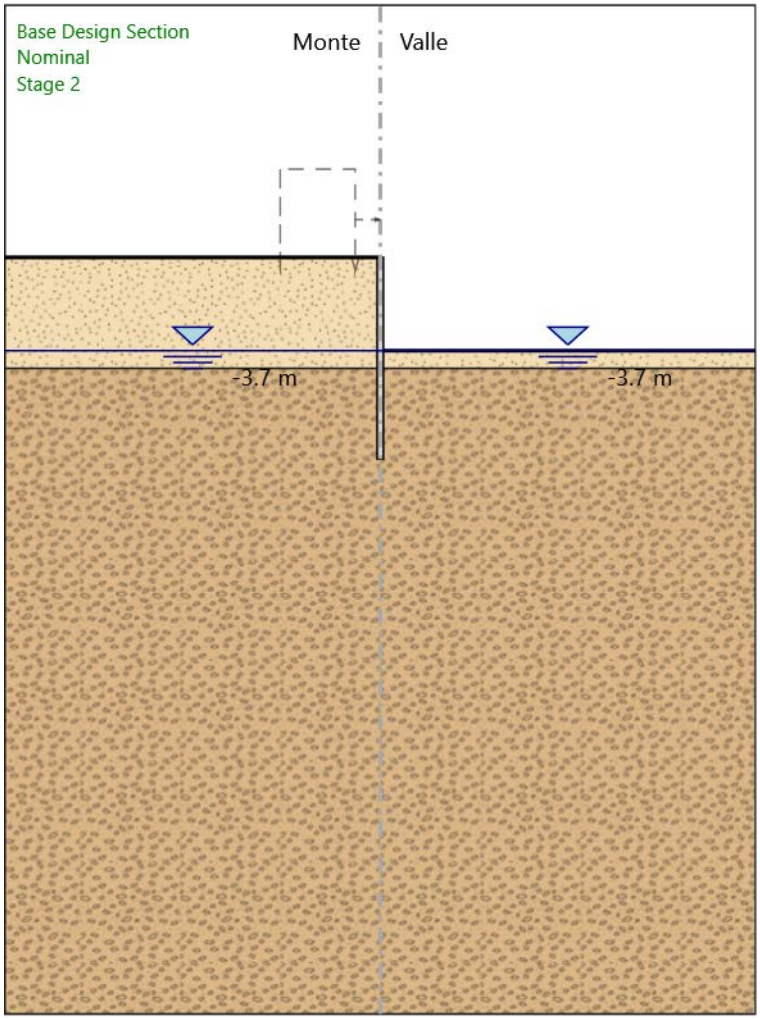
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -8 m

Sezione : Berlinese

Stage 2



Stage 2

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

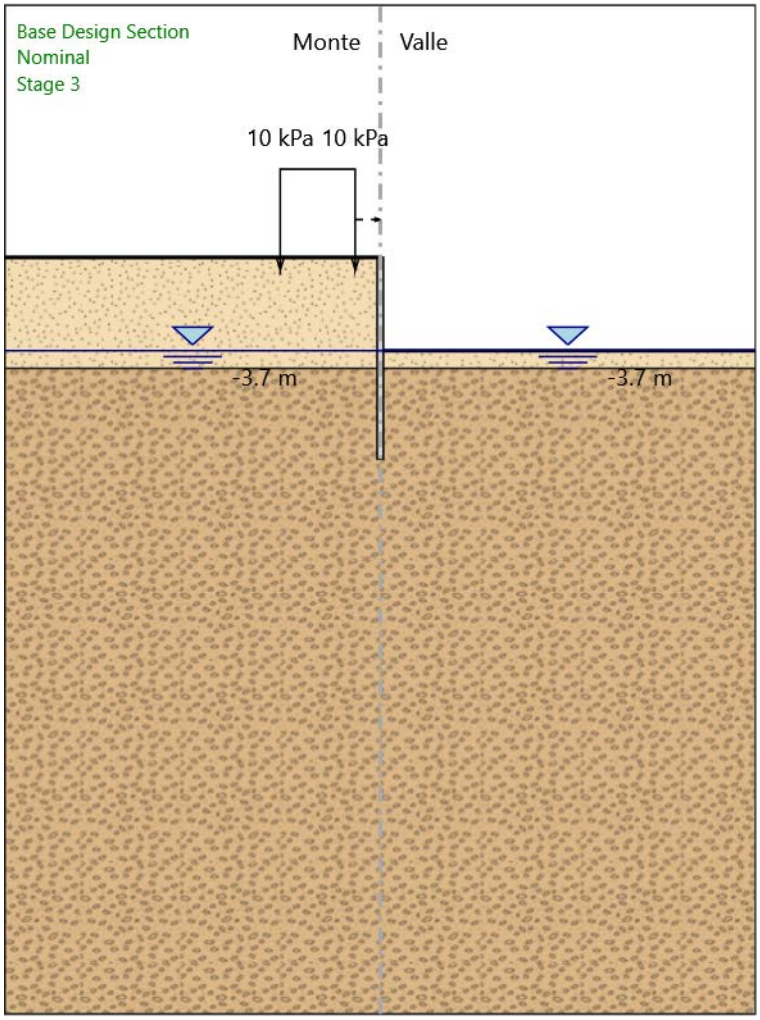
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -8 m

Sezione : Berlinese

Stage 3



Stage 3

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

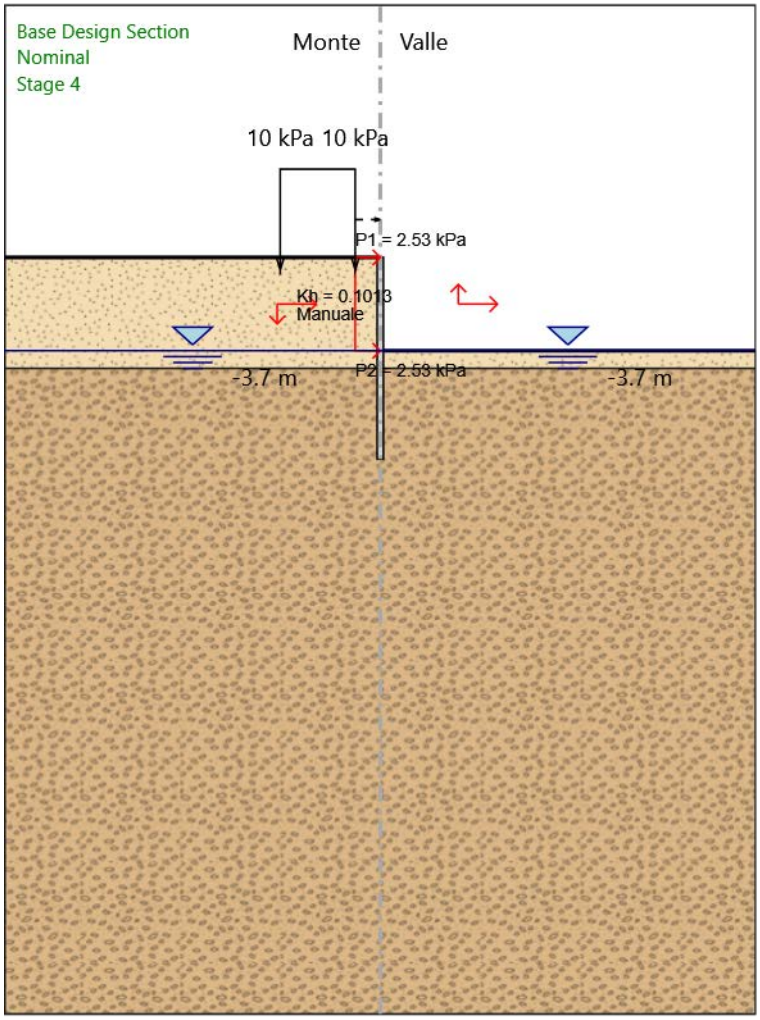
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -8 m

Sezione : Berlinese

Stage 4



Stage 4

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -8 m

Sezione : Berlinese

Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seism_load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F_WaterDR)	Pressioni Acqua Lato Valle (F_WaterRes)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UPL_QDStab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_HYD_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_GStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_QDStab)
Simbolo	**γG**	**γG**	**γQ**	**γQ**	**γQE**	**γG**	**γG**	**γGdst**	**γGstb**	**γQdst**	**γGdst**	**γGstb**	**γQdst**
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Nome	Parziale su tan(ø') (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	**γϕ**	**γc**	**γcu**	**γqu**	**γγ**
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	**γRe**	**γap**	**γat**	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1.2	1.1	1

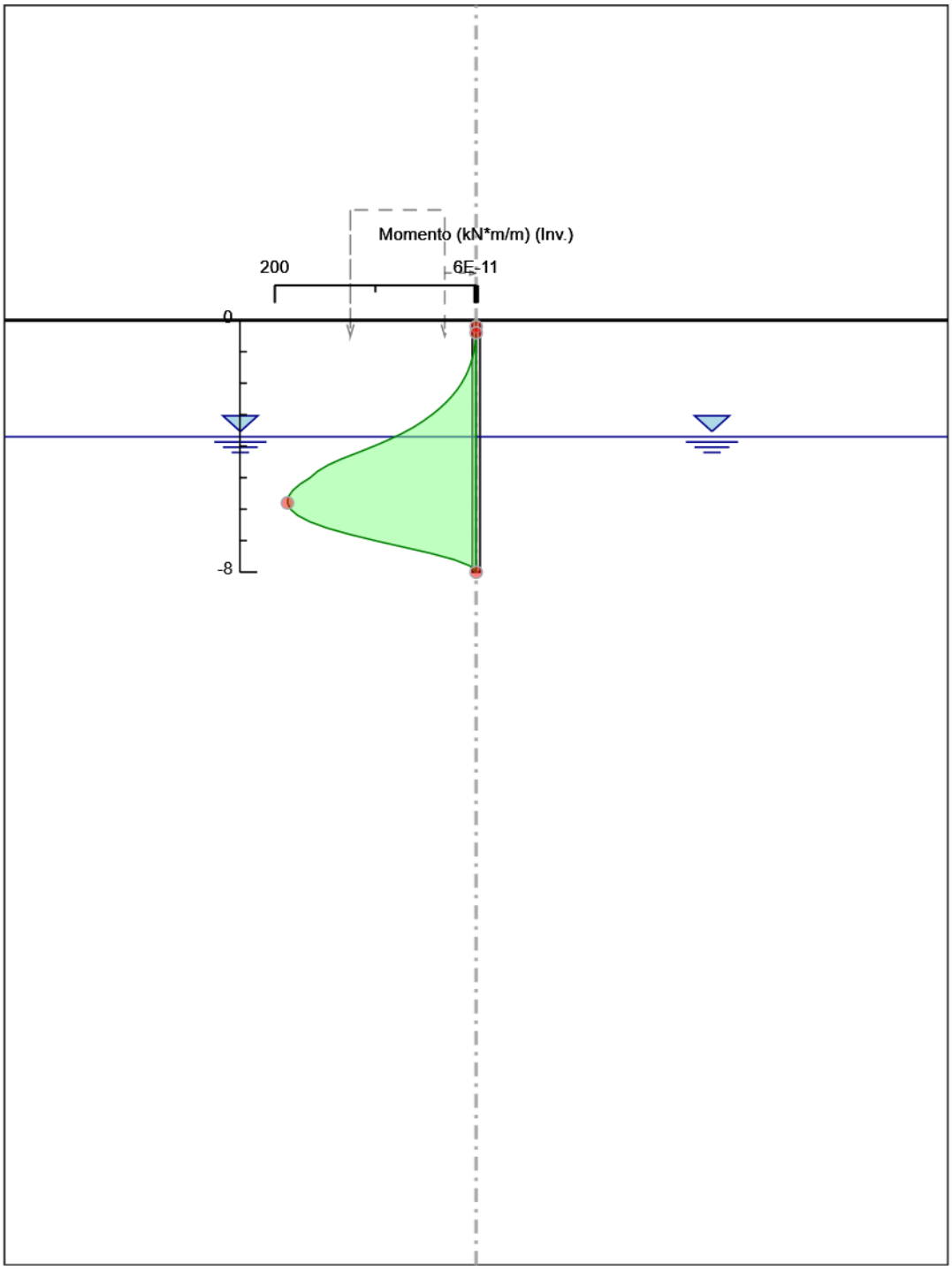
Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	γRe	γap	γat	
NTC2018: SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

Tabella Inviluppi Momento WallElement

Design Assumption: Nominal	Inviluppi: Momento	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.2	0.051	0
-0.4	0.261	0
-0.6	0.686	0
-0.8	1.382	0
-1	2.407	0
-1.2	3.817	0
-1.4	5.674	0
-1.6	8.038	0
-1.8	10.97	0
-2	14.531	0
-2.2	18.784	0
-2.4	23.795	0
-2.6	29.624	0
-2.8	36.333	0
-3	43.984	0
-3.2	52.635	0
-3.4	62.346	0
-3.6	73.95	0
-3.8	87.196	0
-4	101.735	0
-4.2	117.259	0
-4.4	133.456	0
-4.6	147.216	0
-4.8	157.618	0
-5	164.889	0
-5.2	174.759	0
-5.4	182.095	0
-5.6	186.454	0
-5.8	187.391	0
-6	184.462	0
-6.2	177.222	0
-6.4	165.229	0
-6.6	148.037	0
-6.8	125.818	0
-7	100.209	0
-7.2	72.774	0
-7.4	45.26	0
-7.6	22.175	0
-7.8	6.205	0
-8	0	0

Grafico Inviluppi Momento

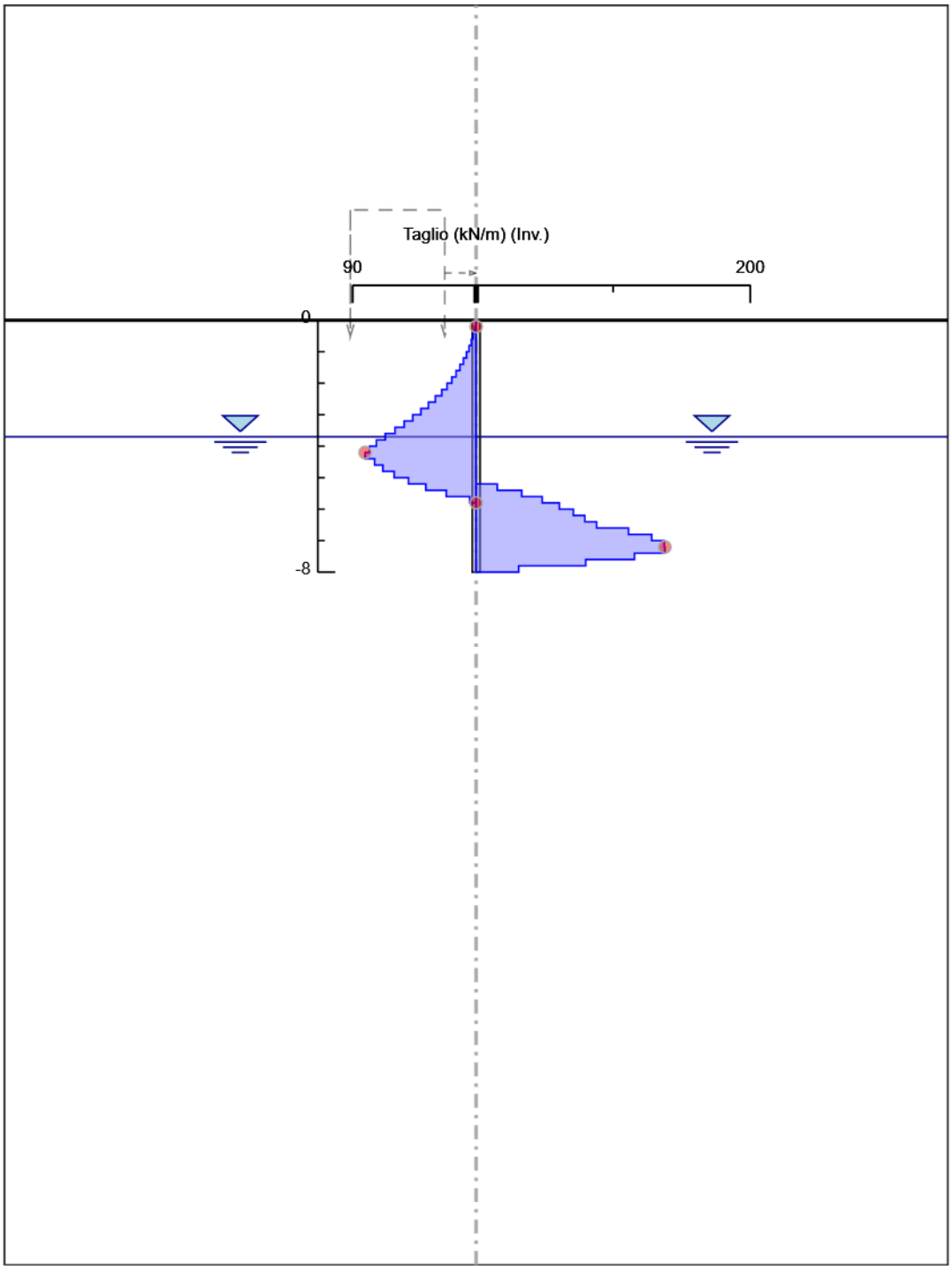


Momento

Tabella Inviluppi Taglio WallElement

Design Assumption: Nominal	Inviluppi: Taglio	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
0	0.257	0
-0.2	1.05	0
-0.4	2.125	0
-0.6	3.481	0
-0.8	5.121	0
-1	7.053	0
-1.2	9.285	0
-1.4	11.821	0
-1.6	14.66	0
-1.8	17.802	0
-2	21.268	0
-2.2	25.053	0
-2.4	29.719	0
-2.6	34.821	0
-2.8	40.324	0
-3	46.215	0
-3.2	52.499	0
-3.4	59.171	0
-3.6	66.23	0
-3.8	72.701	0
-4	77.623	0
-4.2	80.987	0
-4.4	80.987	0
-4.6	74.01	0
-4.8	68.013	0
-5	59.792	0
-5.2	49.348	15.364
-5.4	36.682	33.231
-5.6	21.794	48.197
-5.8	4.684	60.633
-6	0	70.889
-6.2	0	79.283
-6.4	0	87.859
-6.6	0	111.091
-6.8	0	128.047
-7	0	137.177
-7.2	0	137.569
-7.4	0	137.569
-7.6	0	115.424
-7.8	0	79.852
-8	0	31.023

Grafico Inviluppi Taglio



Taglio

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
NTC2018: A2+M2+R1	Stage 3	Left Wall	LEFT	12.04
NTC2018: A2+M2+R1	Stage 3	Left Wall	RIGHT	57.37

Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
NTC2018: SISMICA STR	Stage 3	Left Wall	LEFT	8746.33
NTC2018: SISMICA STR	Stage 3	Left Wall	RIGHT	22906.87

Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali

Normative Verifiche	
Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

Coefficienti per Verifica Tiranti	
GEO FS	1
ξa3	1.8
γs	1.15

Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

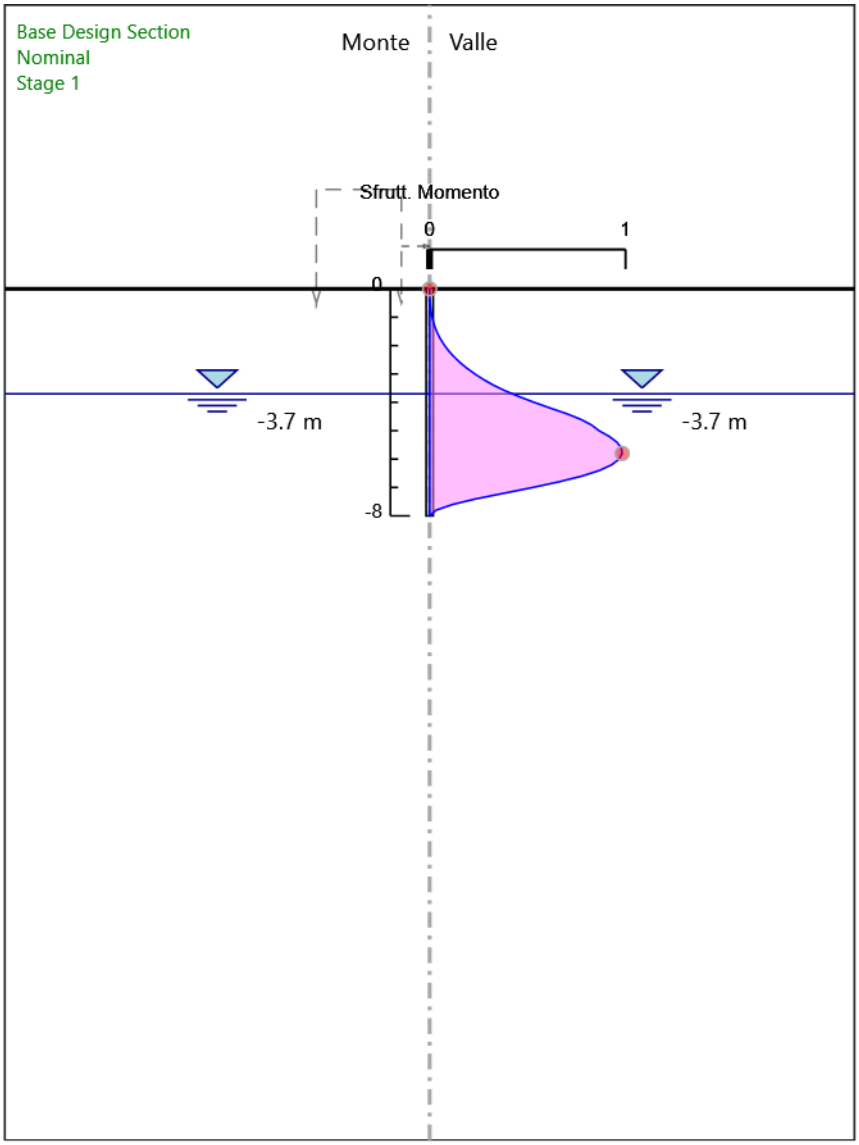
Design Assumption	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)				
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)			V	V
NTC2018: A2+M2+R1			V	V
NTC2018: SISMICA STR			V	V
NTC2018: SISMICA GEO			V	V

Risultati SteelWorld

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld
0	0
-0.2	0
-0.4	0.001
-0.6	0.004
-0.8	0.007
-1	0.013
-1.2	0.02
-1.4	0.03
-1.6	0.042
-1.8	0.058
-2	0.076
-2.2	0.099
-2.4	0.125
-2.6	0.155
-2.8	0.191
-3	0.231
-3.2	0.276
-3.4	0.327
-3.6	0.388
-3.8	0.457
-4	0.534
-4.2	0.615
-4.4	0.7
-4.6	0.772
-4.8	0.827
-5	0.865
-5.2	0.917
-5.4	0.955
-5.6	0.978
-5.8	0.983
-6	0.968
-6.2	0.93
-6.4	0.867
-6.6	0.777
-6.8	0.66
-7	0.526
-7.2	0.382
-7.4	0.237
-7.6	0.116
-7.8	0.033
-8	0

Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld

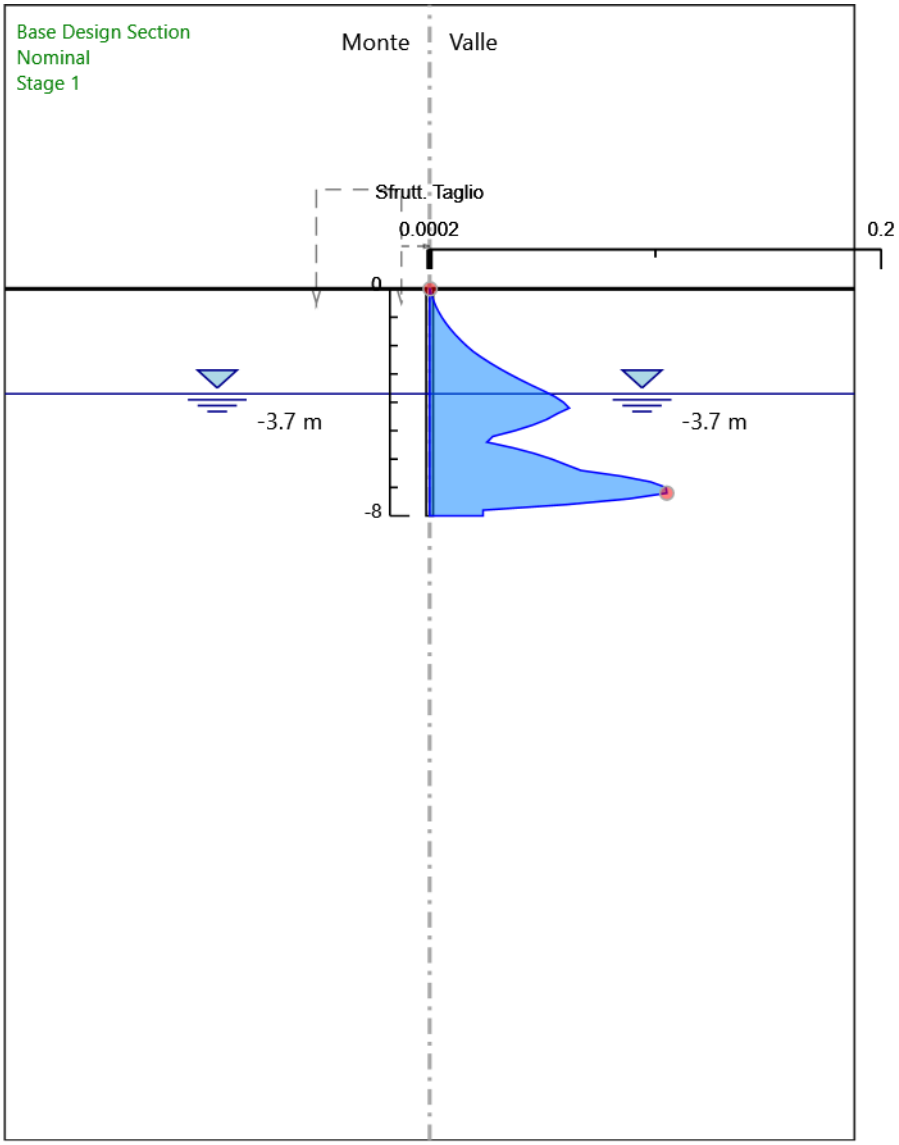


Inviluppi
Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld

Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld
0	0
-0.2	0.001
-0.4	0.002
-0.6	0.003
-0.8	0.004
-1	0.005
-1.2	0.007
-1.4	0.009
-1.6	0.011
-1.8	0.014
-2	0.016
-2.2	0.019
-2.4	0.023
-2.6	0.027
-2.8	0.031
-3	0.035
-3.2	0.04
-3.4	0.045
-3.6	0.051
-3.8	0.055
-4	0.059
-4.2	0.062
-4.4	0.056
-4.6	0.052
-4.8	0.046
-5	0.038
-5.2	0.028
-5.4	0.025
-5.6	0.037
-5.8	0.046
-6	0.054
-6.2	0.061
-6.4	0.067
-6.6	0.085
-6.8	0.098
-7	0.105
-7.2	0.105
-7.4	0.088
-7.6	0.061
-7.8	0.024
-8	0.024

Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld



Inviluppi
Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld