



FERROVIE EMILIA ROMAGNA

Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore: adeguamento della progettazione definitiva e coordinamento per sicurezza in fase di progettazione per la realizzazione del completamento dell'interramento della tratta urbana di Bologna della Linea SFM2 Bologna-Portomaggiore e Redazione del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica relativo al raddoppio del binario tra la fermata di Bologna-Via Larga e la stazione di Budrio (CIG 754332765C).

PROGETTO DEFINITIVO



**RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE CON I SOTTOSERVIZI
DEVIATIONE FOGNATURE LUNGO LA LINEA FERROVIARIA
RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI**

CARTELLA N° 7.1

FER BP D T1 SFO STR R 003_0

DATA	CODICE RELAZIONE		REV.
31/10/2019	FER BP D T1	SFO STR R 003	0

AGGIORNAMENTI						
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	Emissione Finale	31/10/2019	C. Giomo	Q.T. Thai Huynh	S. Eandi	V. Floria

<u>Responsabile del progetto e dell'integrazione fra le prestazioni specialistiche:</u> Ing. Vincenza Floria Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino, n. 8042 (Firmato digitalmente)	<u>Il Progettista:</u> Ing. Simone Eandi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo, n. 1418/A (Firmato digitalmente)	<u>Il Responsabile Unico del Procedimento:</u> Ing. Fabrizio Maccari (Firmato digitalmente)
---	--	--

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1	Documenti del progetto di riferimento	3
2.2	Elaborati grafici associati alla presente relazione tecnica.....	3
2.3	Normative	3
2.4	Riferimenti bibliografici	3
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI.....	4
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
4.1	Unità geotecniche.....	5
4.2	Inquadramento idrogeologico.....	6
4.3	Parametri geotecnici utilizzati nelle analisi numeriche	7
5	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....	8
5.1	Sezione TIPO 1.....	8
5.2	Sezione TIPO 2.....	9
6	STRUMENTI E TECNICHE PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE IN PROGETTO	10
6.1	Analisi numeriche.....	10
6.2	Combinazioni di carichi e requisiti normativi.....	10
6.3	Condizioni sismiche.....	12
7	ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI PARATIA TIPO 1.....	13
7.1	Principali assunzioni e Fasi realizzative	13
7.2	Sollecitazioni agenti sulle strutture di contenimento e deformazioni	17
7.3	Verifiche strutturali.....	20
8	ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI PARATIA TIPO 2.....	24
8.1	Principali assunzioni e Fasi realizzative	24
8.2	Sollecitazioni agenti sulle strutture di contenimento e deformazioni	28
8.3	Verifiche strutturali.....	32

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è inquadrata nell'ambito dell'incarico di adeguamento della progettazione definitiva del completamento dell'interramento della Linea ferroviaria Bologna-Portomaggiore, volto all'eliminazione dei passaggi a livello nelle tratte urbane di Bologna tra Zanolini-Rimesse (Tratta 1) e Via Larga (Tratta 2).

La Tratta 1 (Zanolini-Rimesse) è compresa tra le progressive km 2+029,66 e km 3+354,59 della linea, e prevede la realizzazione del completamento della galleria di Zanolini, già realizzata, la predisposizione per la nuova fermata Libia e l'adeguamento dell'esistente Fermata Rimesse

La Tratta 2 (Via Larga) è compresa tra le progressive km 4+000,00 e km 5+100,00 in corrispondenza dei passaggi a livello di via Cellini e via Larga e consiste nell'abbassamento del binario esistente in corrispondenza della nuova fermata di via Larga e nel rimodellamento di via Scandellara, funzionale alla realizzazione di un parcheggio e di una nuova pista ciclo-pedonale.



Figura 1: Ubicazione del sito in progetto su immagine satellitare.

Scopo della presente relazione è la progettazione e verifica delle opere di sostegno necessarie alla posa e realizzazione della deviazione della fognatura di via Rimesse.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DEL PROGETTO DI RIFERIMENTO

T0_GEO_GEN_R_002 – Relazione geologica, idrogeologica e di caratterizzazione geotecnica

2.2 ELABORATI GRAFICI ASSOCIATI ALLA PRESENTE RELAZIONE TECNICA

CARTELLA 7.1 – RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE CON I SOTTOSERVIZI

FER_BP_D	T1_SFO_GEN_S_002	DEVIAZIONE FOGNATURE LUNGO LA LINEA FERROVIARIA – SEZIONI E PARTICOLARI
----------	------------------	---

2.3 NORMATIVE

Gli studi esposti nella presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore, ed in particolare:

- D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e successive istruzioni (superato dalla normativa DM17/1/2018 e circolare esplicativa);

2.4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Manuale Paratie 2018 – Novembre 2017

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

Con riferimento ai materiali utilizzati nell'ambito del progetto, si riportano nel seguito le principali caratteristiche utilizzate nel dimensionamento strutturale.

- **Calcestruzzo**

Miscela per micropali

Classe di resistenza minima C25/30

Classe di esposizione XC2

Acciaio in profili a sezione cava:

Tipo EN 10210-1 S275 J0

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La città di Bologna sorge sui sedimenti alluvionali (conoidi), che raggiungono spessori massimi di 300-400 metri e sono costituiti da alternanze di sedimenti grossolani (ghiaie, sabbie) e fini (limi) per spessori il cui ordine di grandezza varia dalla decina al centinaio di metri.

I terreni interessati dalle indagini svolte lungo la linea in progetto appartengono ad un deposito quaternario di conoide fluviale, continentale, che in accordo alla sua stessa genesi si compone da alternanze di livelli sabbioso ghiaiosi in matrice sabbioso limosa e livelli più fini, limoso argillosi e raramente argilloso limosi. Tutti i depositi dell'apparato di conoide si presentano normal-consolidati. Non sono presenti fenomeni di cementazione.

4.1 UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base delle indagini in sito e prove di laboratorio citate precedentemente, sono state riconosciute due differenti unità geotecniche lungo il tracciato. La suddivisione è stata attuata differenziando i terreni non coesivi a granulometria prevalente grossolana dai terreni coesivi, o debolmente coesivi, a granulometria prevalente fine.

- *Unità A:* ghiaie in matrice sabbiosa e limosa
- *Unità B:* limi più o meno argillosi, localmente sabbiosi

Esula da questi criteri la caratterizzazione dell'orizzonte più superficiale, costituito da terreni di riporto, i quali, a causa del loro modesto spessore (0,4-2,9 m) e della loro grande eterogeneità geotecnica, sono caratterizzati caso per caso.

L'Unità geotecnica A (ghiaie in matrice sabbiosa e limosa) è caratterizzata da una distribuzione spaziale variabile sia in senso orizzontale che verticale. Granulometricamente è rappresentata prevalentemente da sabbie e ghiaie, con frazione limosa variabile, con locale presenza di ciottoli di dimensione 2-4 cm, raramente superiori a 10 cm. Non si riscontra cementazione, né livelli localizzati di cementazione. I materiali sono normal-consolidati.

L'Unità geotecnica B (limi più o meno argillosi, localmente sabbiosi) è caratterizzata i livelli limoso argillosi con una continuità laterale tra sondaggi contigui presenti lungo la linea.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri per le varie unità geotecniche. Per ogni parametro è indicata una forchetta di valori tipici e, tra parentesi, ove possibile un valore consigliato.

Tabella 1: Parametri di resistenza e deformabilità per le unità geotecniche

Unità geotecniche	γ	c'	c_u	ϕ'	E'	E_{ed}	E_u
	kN/m ³	kPa	kPa	[gradi]	MPa	MPa	MPa
Unità A Ghiaie e sabbie	19-21 (20)	0	0	38-42 (38)	35-50 (varia con la profondità)	-	-
Unità B Limi e argille	18-20 (19)	6-15 (10)	50-80 (varia con la profondità)	21-34 (25)	-	3-5 (varia con la profondità)	z = 0 - 6.5m Eu = 8Mpa; z = 6.5 - 15m Eu = 30Mpa; z = 15 - 25m Eu = 50Mpa (varia con la profondità)

(γ : peso di volume del terreno; c' : coesione di picco; c_u : coesione non drenata; Φ' : angolo di resistenza al taglio; E' : modulo di elasticità; E_{ed} : modulo edometrico (drenato), E_u : modulo non drenato).

4.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'intervento in progetto si situa nell'ambito di conoide alluvionale del torrente *Sàvena*, nel più superficiale complesso acquifero denominato *A1*. Nella Tabella 2 sono riassunte le misure di profondità della falda (m da p.c.) effettuate nel piezometro *S1* posizionato in corrispondenza della galleria. A parte la prima misura in fase di perforazione, la profondità della falda risulta sempre inferiore a 28,80 m dal piano campagna.

Tabella 2: Misure piezometriche lungo la linea

Sondaggio/ Piezometro	Durante la perforazione	31/10/ 2003	16/12/ 2003	19/12/ 2004	15/03/ 2004	15/06/ 2004	12/10/ 2004	10/01 2005
S1 (v. Bentivogli)	12,2	28,8	29,03	28,95	29,90	>30	>30	>30

Si distinguono due unità idrogeologiche, alle quali si attribuiscono permeabilità medie per i limi e argille più o meno sabbiosi e permeabilità media per le ghiaie e sabbie in matrice sabbiosa e limosa. La tabella seguente indica i parametri idrodinamici di riferimento.

Tabella 3: Permeabilità dei terreni interessati dalle opere in progetto

Unità	Classe	Cond. Idraulica orizzontale (K_h) (m/s)	Porosità efficace %	Rapporto tra permeabilità verticale e orizzontale (K_v/K_h) (-)
A - Limi e argille	K1 - permeabilità molto bassa	1E-07 ÷ 1E-09*	5 ÷ 8***	1***
B - Ghiaie e sabbie	K3 - permeabilità media	1E-05 ÷ 1E-06**	23 ÷ 25***	0.1 ÷ 0.01***

Note: *: misurato in laboratorio e mediante prove Lefranc PE autostrada A14; **: misurato mediante prove Lefranc PE autostrada A14; ***: stimato da letteratura.

Per quanto riguarda il grado di aggressività dell'acqua sotterranea sul calcestruzzo, è stata condotta una verifica secondo i criteri indicati dalla Norma UNI-EN 206-1. Non si evidenzia pertanto un rischio di aggressività delle acque di falda nei confronti dei calcestruzzi.

4.3 PARAMETRI GEOTECNICI UTILIZZATI NELLE ANALISI NUMERICHE

Nelle analisi numeriche sono stati utilizzati i parametri riportati in Tabella 4.

Tabella 4: Parametri geotecnici di calcolo

Unità geotecniche		Peso di volume del terreno	Coesione		Angolo di resistenza al taglio	Modulo di elasticità	Modulo edometrico (drenato)	Modulo di elasticità non drenato
		γ	c'	C_u	ϕ'	E'	E_{ed}	E_u
		[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Ghiaie e sabbie	A	20	0	0	38	35	-	-
Limi e argille	B	19	10	50	25	-	3	7

In funzione della verifica che si intende effettuare, saranno utilizzati coefficienti che riducono i parametri meccanici di resistenza del terreno o coefficienti che amplificano gli effetti delle azioni, in accordo con quanto prescritto al punto 6.2.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (come descritto dettagliatamente nel Cap. 6.2).

5 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

5.1 SEZIONE TIPO 1

L'intervento proposto in sede di progetto definitivo prevede la realizzazione di una doppia paratia di micropali per il sostegno provvisorio degli scavi.

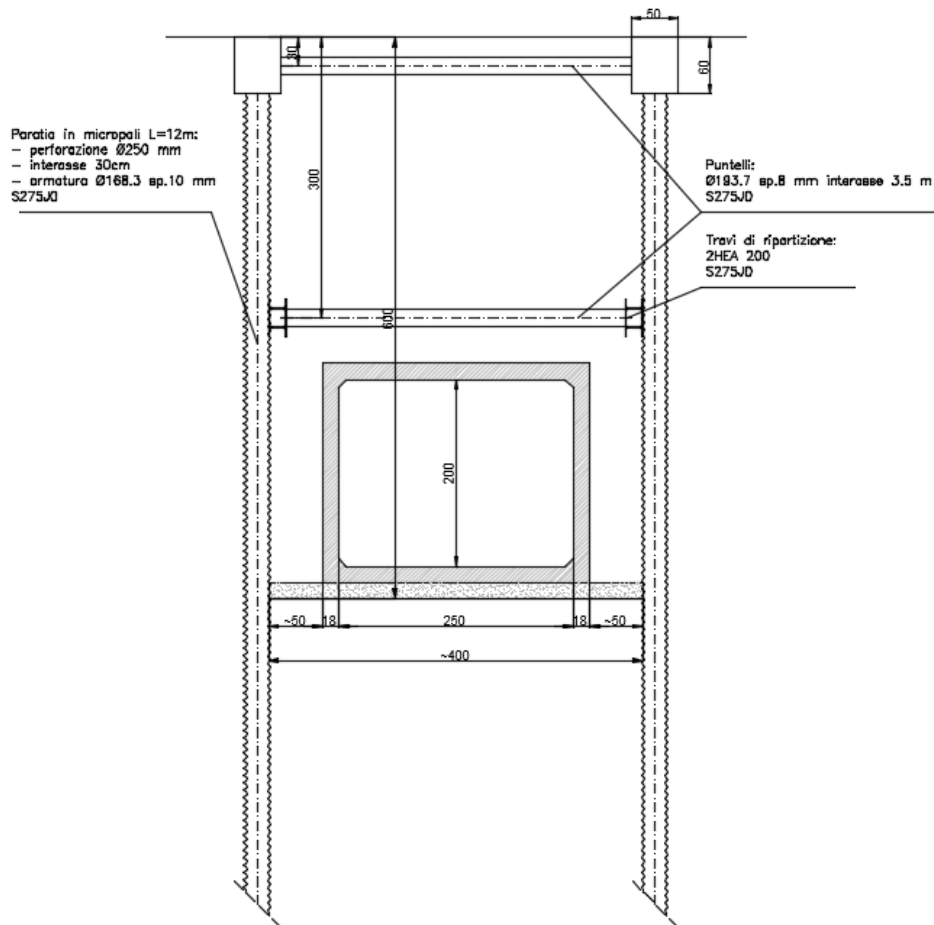


Figura 2: Sezione tipo 1 paratia

La paratia è costituita da due file di micropali ϕ 250 mm posti ad interasse 30 cm aventi lunghezza 12 m, l'armatura è costituita da un tubo ϕ 168.3 mm sp. 10 mm (S275JR).

I puntelli sono costituiti da tubi ϕ 193.7 spessore 8 mm posti a 3.5 m di interasse. Le travi di ripartizione sono costituita da due travi HEA 200 (S275J0).

5.2 SEZIONE TIPO 2

L'intervento proposto in sede di progetto definitivo prevede la realizzazione di una paratia di micropali per il sostegno provvisorio degli scavi contrastati da una paratia di diaframmi in prossimità dell'arrivo della fognatura alla linea ferroviaria.

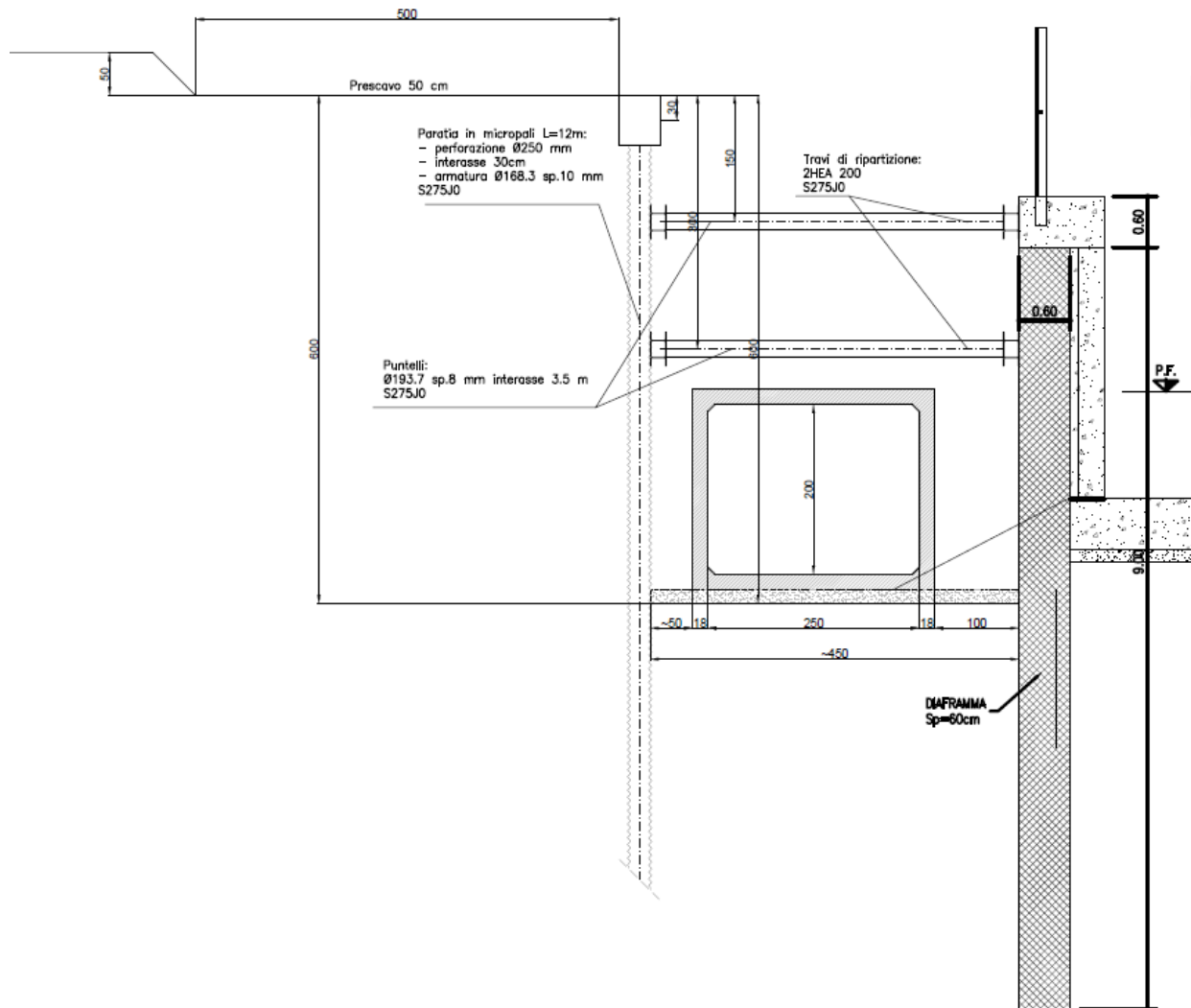


Figura 3: Sezione tipo 2 paratia

La paratia è costituita da una fila di micropali ϕ 250 mm posti ad interasse 30 cm aventi lunghezza 12 m, l'armatura è costituita da un tubo ϕ 168.3 mm sp. 10 mm (S275JR).

I puntelli sono costituiti da tubi ϕ 193.7 spessore 8 mm posti a 3.5 m di interasse. Le travi di ripartizione sono costituita da due travi HEA 200 (S275J0).

6 STRUMENTI E TECNICHE PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE IN PROGETTO

6.1 ANALISI NUMERICHE

Le analisi tenso-deformative sono condotte con il software Paratie versione 2019.

Il programma Paratie è un codice di calcolo agli elementi finiti che esegue l'analisi elastica non lineare di strutture piane inflesse nel terreno di fondazione. Questo tipo di software permette di modellare terreni di tipo granulare o coesivo in condizioni drenate e non drenate. Il programma permette di considerare la rigidità propria del terreno e degli elementi (tiranti, micropali, diaframmi) che costituiscono la struttura ed inoltre permette di simulare le fasi esecutive dell'opera. Il comportamento del terreno viene schematizzato come una trave su suolo elastico rappresentato da molle alla Winkler. L'opera di sostegno viene rappresentata da elementi beam il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale ed è schematizzata con un elemento in acciaio o calcestruzzo con rigidità equivalente.

Le paratie di sostegno temporaneo oggetto della presente relazione tecnica sono state dimensionate ricorrendo a un modellazione semplificata tipo *Beam-Spring approach* che consente di simulare l'interazione terreno-struttura mediante un sistema di molle elastiche definite opportunamente sulla base delle caratteristiche stratigrafiche.

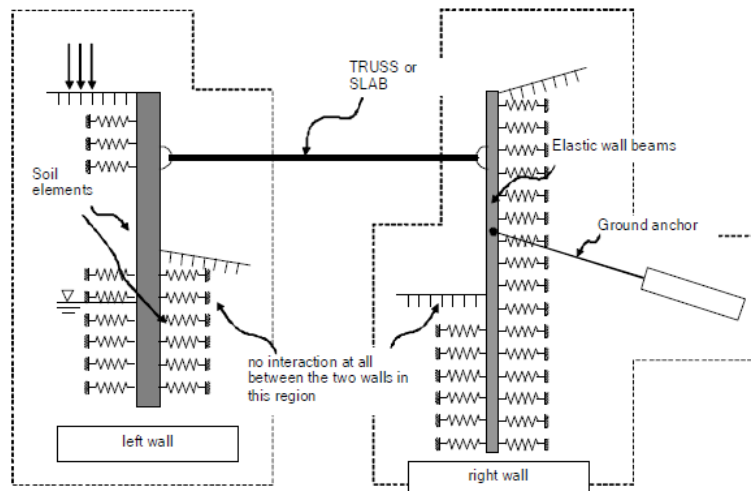


Figura 1 Schema di calcolo Paratie.Plus

6.2 COMBINAZIONI DI CARICHI E REQUISITI NORMATIVI

Le verifiche sono state condotte in accordo al D.M. 17/01/2018 (NTC2018), con riferimento allo Stato Limite Ultimo (SLU) e allo Stato Limite di Esercizio (SLE). Le strutture sono state verificate nelle seguenti combinazioni:

- Combinazione SLU-STR $(A_1+M_1+R_1)$
- Combinazione SLU-GEO $(A_2+M_2+R_1)$

In particolare, per il dimensionamento strutturale si è utilizzato l'Approccio 1 combinazione 1 (DA1-C1), mentre per le verifiche geotecniche si è utilizzato l'Approccio 1 combinazione 2 (DA1-C2).

Si riportano di seguito i principali riferimenti normativi (NTC2018).

Tabella 5: Coefficienti amplificativi dei carichi secondo NTC2018

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tabella 6: Coefficienti riduttivi dei parametri di resistenza del terreno secondo NTC2018

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

Tabella 7: Coefficienti riduttivi della resistenza globale del sistema secondo NTC2018

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Con riferimento al capitolo §6.5.3.1.2 delle NTC2018 verrà analizzata la paratia considerando gli stati limiti di tipo geotecnico (GEO) e di tipo strutturale (STR). Si verificherà strutturalmente la paratia, i puntoni e le travi di ripartizione con la combinazione strutturale A1+M1+R3 (STR).

Considerando la temporaneità dell'opera, l'assenza di interferenza con la falda, l'assenza di pendii nell'intorno della zona di scavo, il sistema di sostegni proposto (assenza di ancoraggi), il tipo di suolo (granulare con prevalenza di ghiaie), le simulazioni numeriche eseguite e le relative verifiche strutturali si ritengono esaustive rispetto ai requisiti normativi (con particolare riferimento al paragrafo 6.5.3.1.2 NTC 2018).

6.3 CONDIZIONI SISMICHE

Essendo l'opera in progetto di tipo provvisoria non si eseguono le analisi sismiche.

7 ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI PARATIA TIPO 1

7.1 PRINCIPALI ASSUNZIONI E FASI REALIZZATIVE

Si riporta di seguito la verifica della paratia per il sostegno provvisorio degli scavi necessaria alla posa dello scatolare.

Il modello geotecnico di riferimento è indicato nel capitolo 4. La paratia è interessata esclusivamente dallo strato A e la falda non è interferente con le paratie di progetto.

Per il calcolo della paratia sono state implementate nel software Paratie 2019 le seguenti fasi.

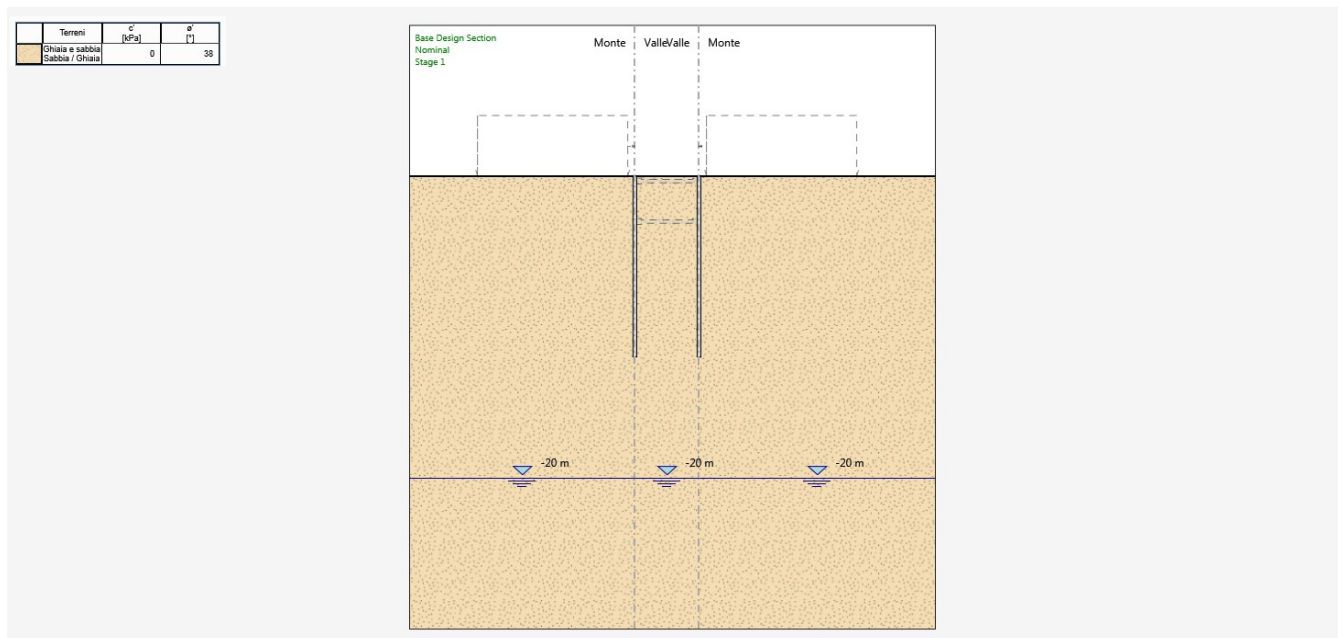


Figura 4: Fase 1 – geostatica

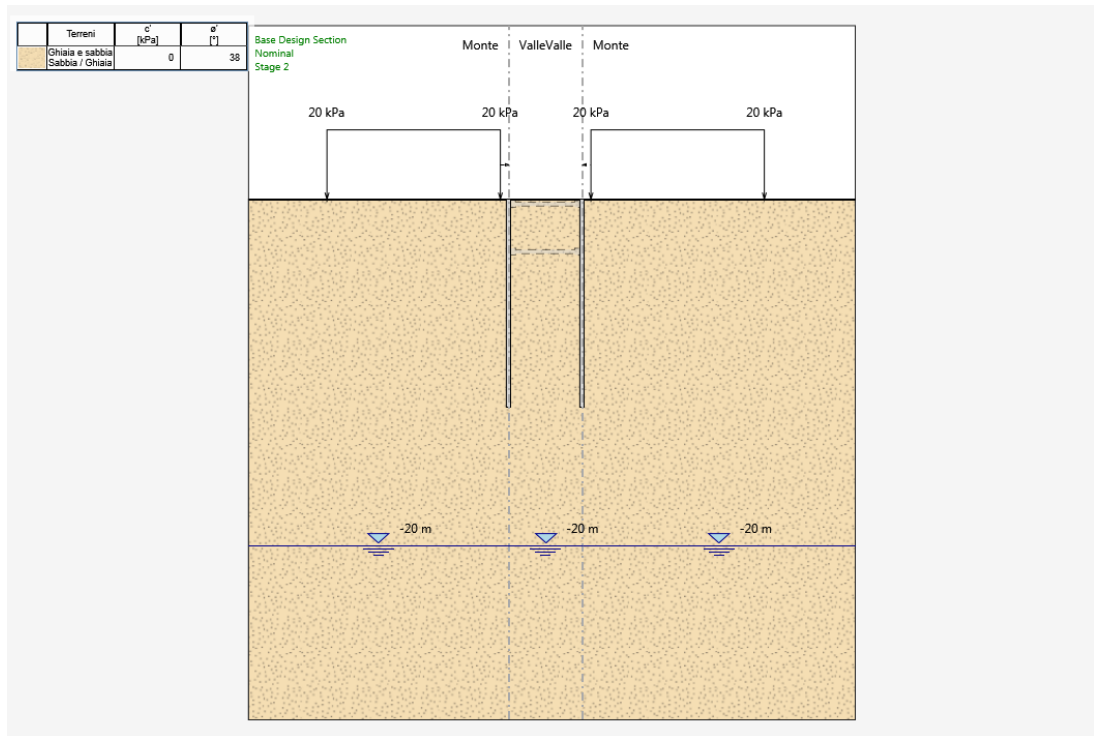


Figura 5: Fase 2 – applicazione sovraccarico accidentale 20 kPa

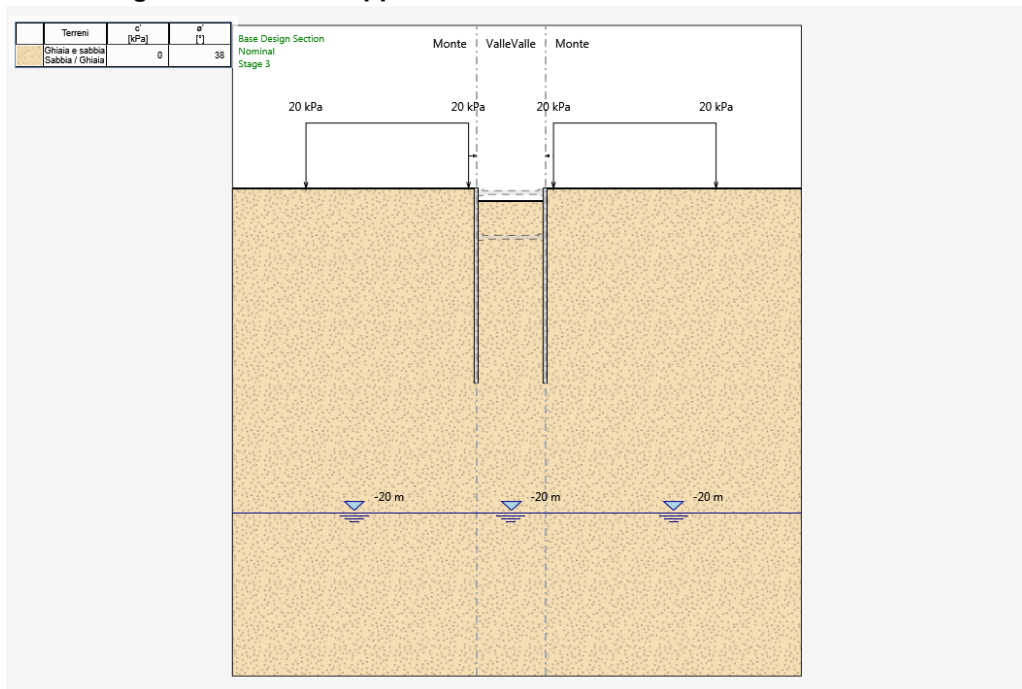


Figura 6: Fase 3 – scavo di 80 cm per successiva posa puntelli

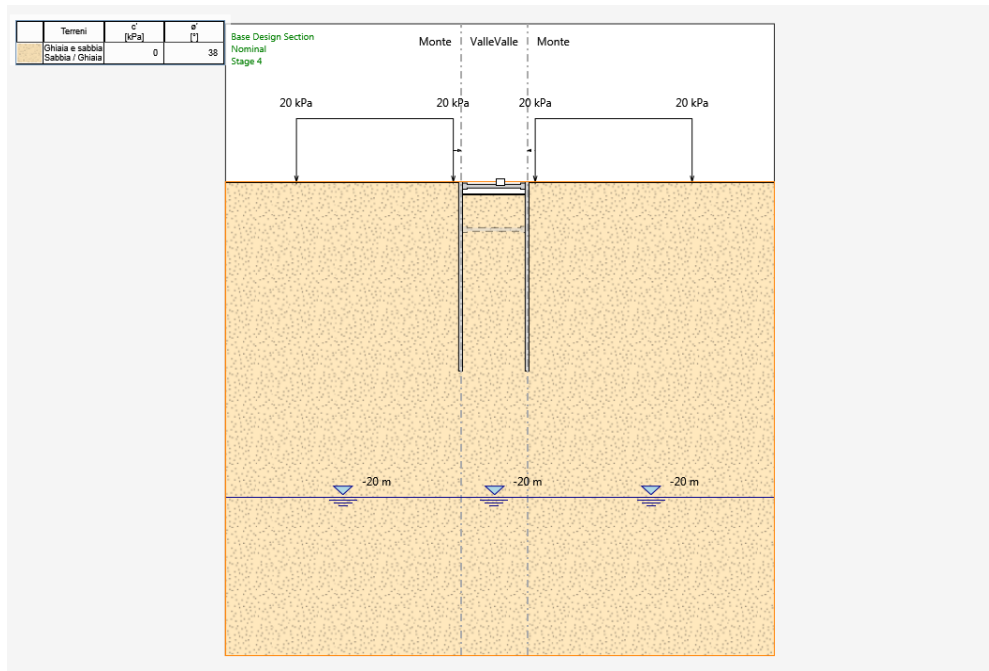


Figura 7: Fase 4 – posa puntelli

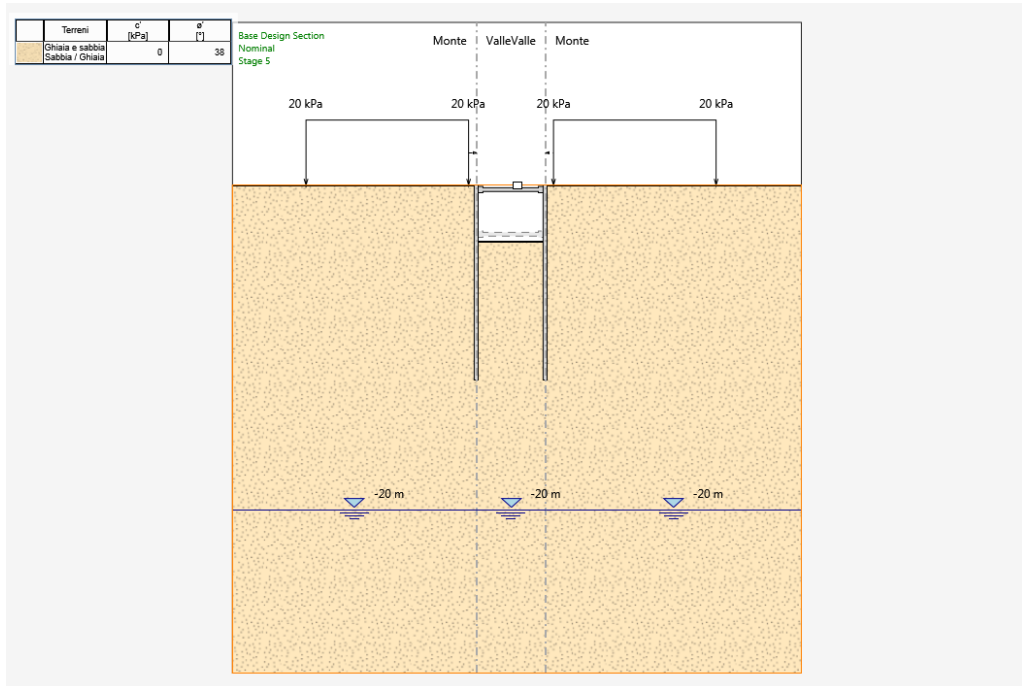


Figura 8: Fase 5 – scavo fino a 3.5 m dal p.c.

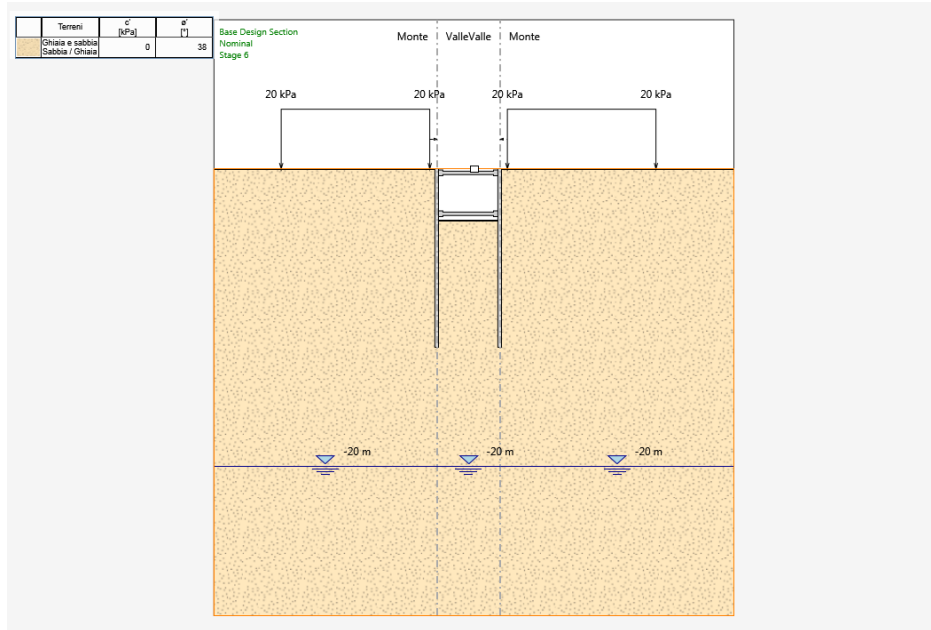


Figura 9: Fase 6 – posa puntelli a -3 m dal p.c.

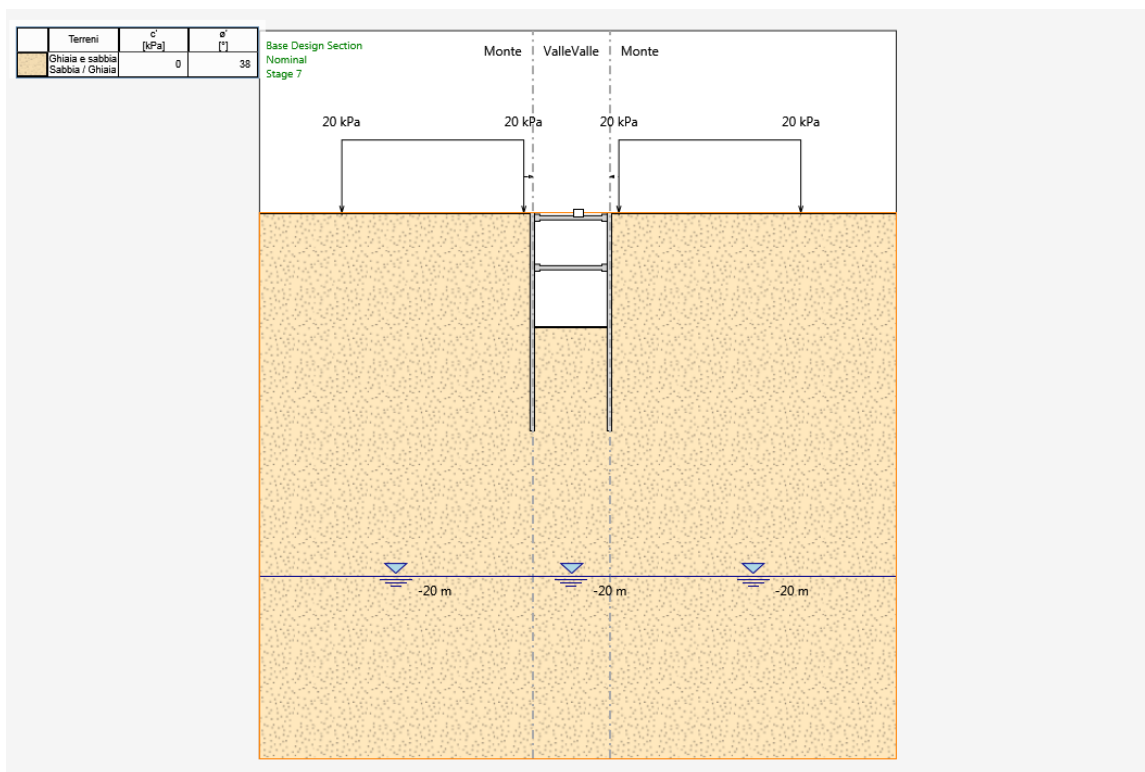


Figura 10: Fase 7 – scavo finale a -6.3m dal p.c.

Lo scavo massimo è pari a 6 m dal p.c., il calcolo verrà eseguito con un sovrascavo pari al 10 % della differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo (0.3 m) come indicato al capitolo 6.5.2.2 delle norme tecniche 17/01/2018 (altezza di calcolo 6.3 m).

7.2 SOLLECITAZIONI AGENTI SULLE STRUTTURE DI CONTENIMENTO E DEFORMAZIONI

Si riportano di seguito le sollecitazioni massime:

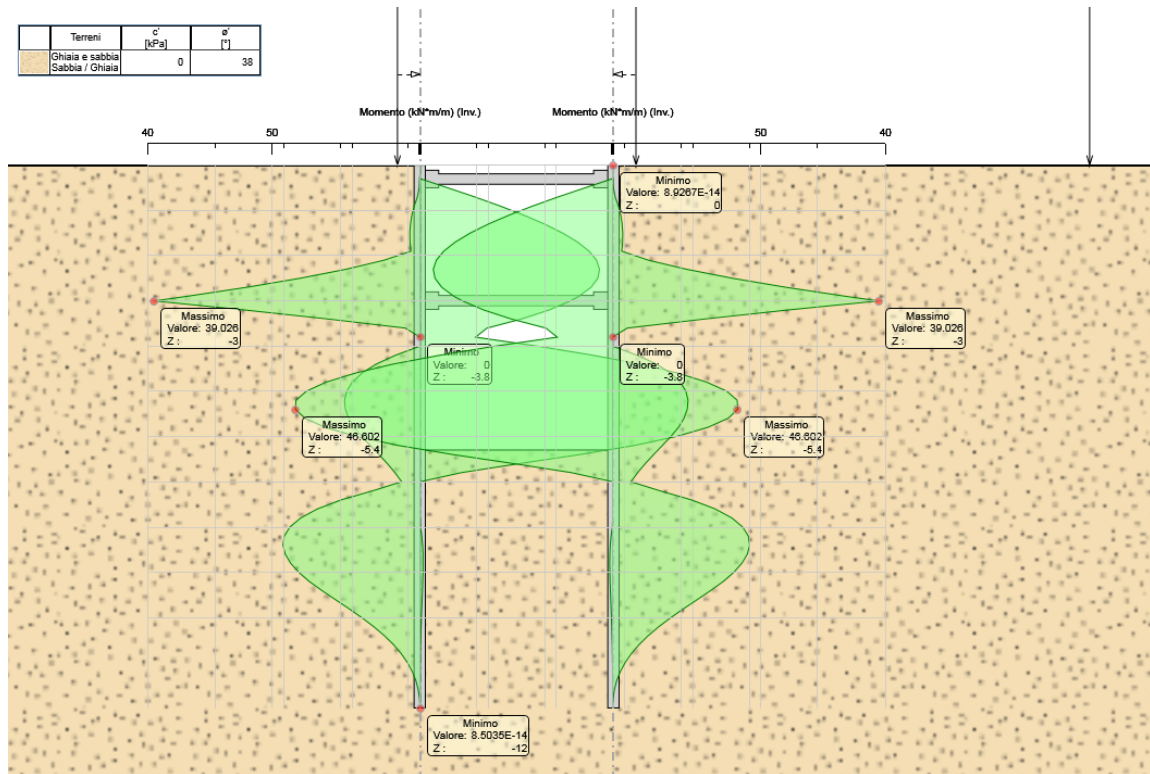


Figura 11: Involuppo momenti combinazione A1+M1+R1 (M=46.6 kNm/m)

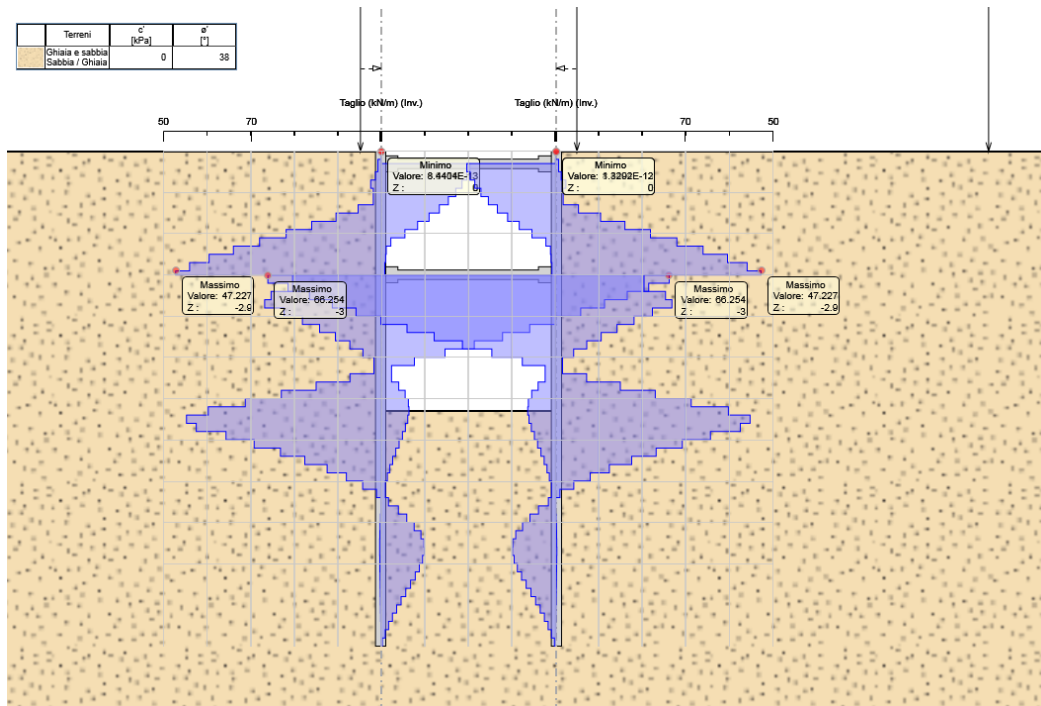


Figura 12: Involuppo taglio combinazione A1+M1+R1 (T =66.2 kN/m)

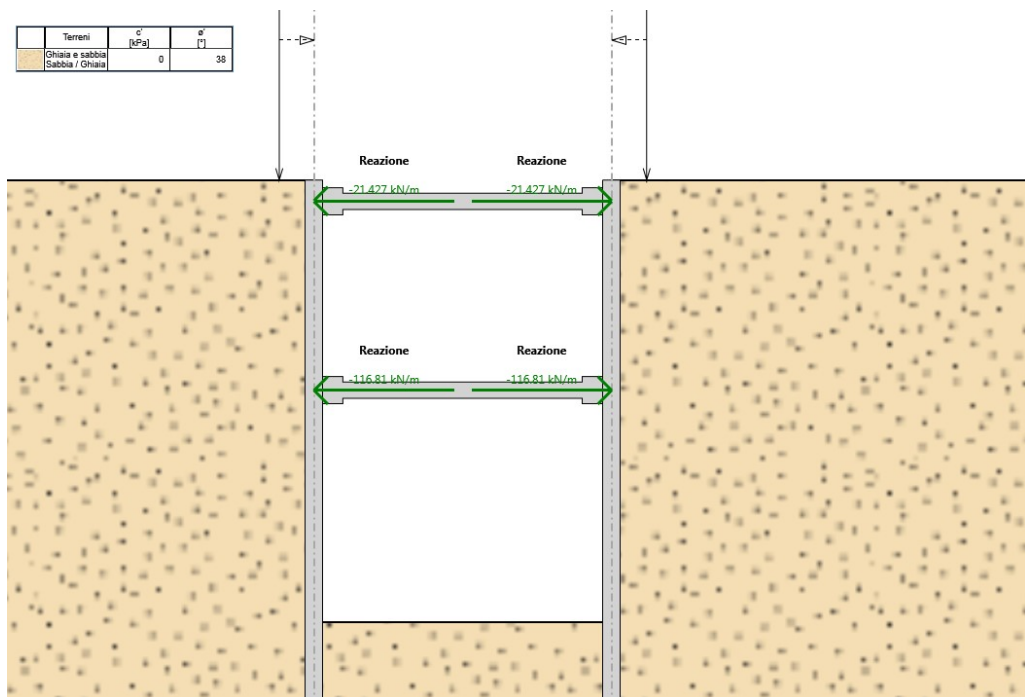


Figura 13: Massima reazione supporti combinazione A1+M1+R1 (N=116.81 kN/m)

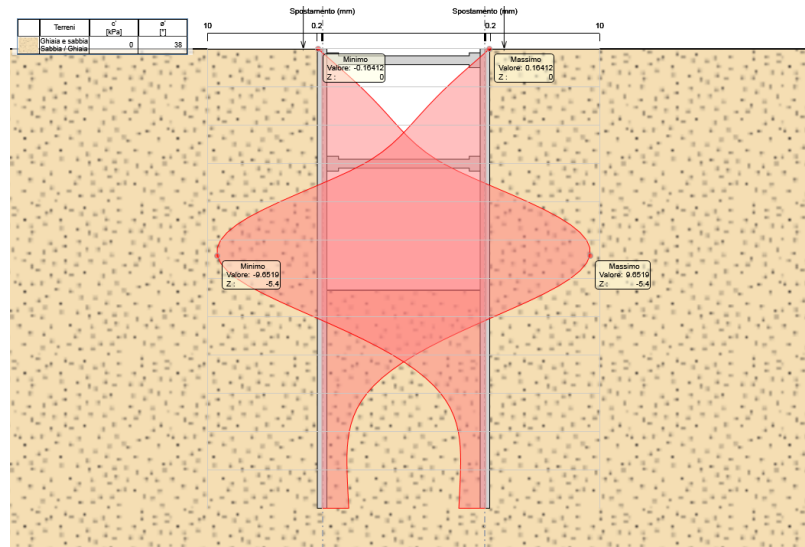


Figura 14: Massimo spostamento orizzontale in combinazione rara fase 7 (9.65 mm)

Lo spostamento massimo pari a 9.65 mm fase 7 (pari a 1/622 dell'altezza di scavo) può ritenersi accettabile data la temporaneità dell'opera.

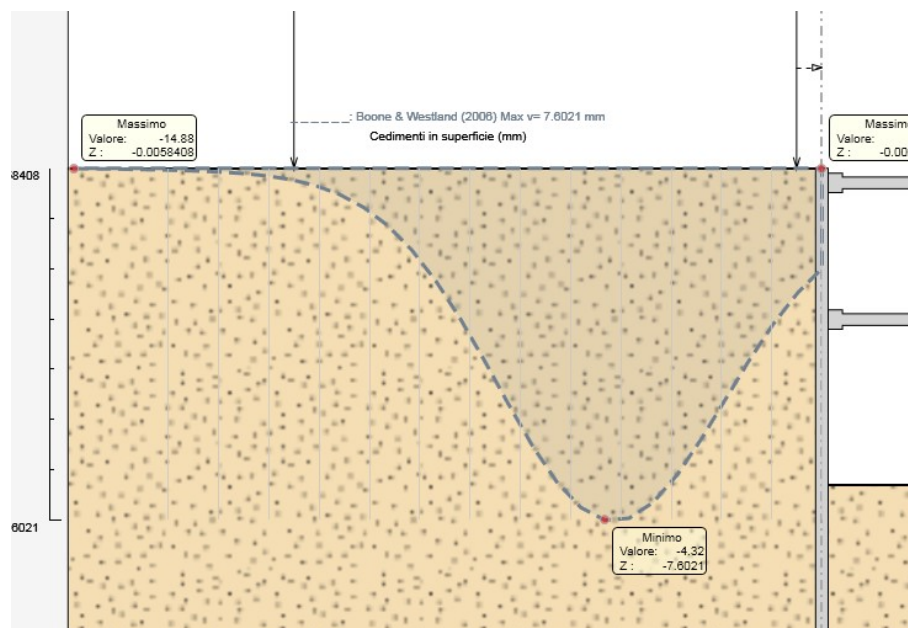


Figura 15: Massimo cedimento in combinazione rara fase 7 (7.6 mm)

Il cedimento massimo a 4.3m dalla paratia calcolato con la teoria di Boone e Westland (2006) è pari a 7.6 mm.

7.3 VERIFICHE STRUTTURALI

Si riportano successivamente le verifiche dei micropali, dei puntelli e delle travi di ripartizione.

Verifica micropalo:

Caratteristiche geometriche CHS

Unità di misura: **cm / MPa**

d	16.83
t	1
f _u	430
f _y	275
ε	0.92
Classe	Classe 1
A _{s tot}	49.731
Y _{g,b,da inf}	8.42
J _g	1563.98
i	5.61
J _{tors}	3127.97
W _{el}	185.86
W _{pl}	250.92

M= 46.6 x 0.3 =13.98 kNm/ micropalo

T= 66.2 x 0.3 =19.86 kN/ micropalo

Sollecitazioni kN,m

V _{z,Sd}	M _{z,Sd}	V _{y,Sd}	M _{y,Sd}	N _{Sd}
19.86	0.00	0.00	13.98	0.00

SOLO PER CLASSI 1 & 2

M _{y,Ed}	13.98	kNm
N _{Ed}	0.00	kN
V _{z,Ed}	19.86	kN

taglio sollecitante parallelo all'anima

M _{pl,y,Rd}	65.72	kNm
M _{v,y,Rd}	65.72	kNm
N _{pl,Rd}	1302.49	kN
M _{N,y,Rd}	65.72	kNm

momento resistente plastico di progetto

momento resistente di progetto ridotto per il taglio

resistenza plastica di progetto

momento resistente plastico di progetto ridotto

Sezione Verificata

Verifica puntelli:

Caratteristiche geometriche CHS

Unità di misura: **cm / MPa**

d	19.37
t	0.8
f _u	430
f _y	275
ε	0.92
Classe	Classe 1
A _{s tot}	46.672
Y _{g,b,da inf}	9.69
J _g	2015.54
i	6.57
J _{tors}	4031.07
W _{el}	208.11
W _{pl}	276.05

$$N = 116.81 \times 3.5 \text{ m} = 408.81 \text{ kN}$$

$$M_{\text{peso} \times 1.3} = 0.73 \text{ kNm}$$

$$T_{\text{peso} \times 1.3} = 0.91 \text{ kN}$$

V _{z.Sd}	M _{z.Sd}	V _{y.Sd}	M _{y.Sd}	N _{Sd}
0.91	0.00	0.00	0.73	-408.84

SOLO PER CLASSI 1 & 2

M _{y.Ed}	0.73	kNm
N _{Ed}	408.84	kN
V _{z.Ed}	0.91	kN

taglio sollecitante parallelo all'anima

M _{pl.y.Rd}	72.30	kNm
M _{V.y.Rd}	72.30	kNm
N _{pl.Rd}	1222.35	kN
M _{N.y.Rd}	63.51	kNm

momento resistente plastico di progetto

momento resistente di progetto ridotto per il taglio

resistenza plastica di progetto

momento resistente plastico di progetto ridotto

Sezione Verificata

INSTABILITA' ALLA COMPRESSIONE

tipo	hot	
N_{Ed}	408.84	kN
asse	a	
λ_1	86.80	
I_{y-y}	400.00	cm
I_{z-z}	400.00	cm
λ_y	0.70	
λ_z	0.70	
χ_y	0.8472	
χ_z	0.8472	
$N_{b.y.Rd}$	1035.53	kN
$N_{b.z.Rd}$	1035.53	kN

hot finished or cold formed
compressione
curva di instabilità per y

α	0.21
----------	------

coefficiente d'imperfezione per y

λ_y	60.87
λ_z	60.87

snellezza geometrica lungo y
snellezza geometrica lungo z

ϕ_y	0.80
ϕ_z	0.80

snellezza meccanica lungo y
snellezza meccanica lungo z

χ_y	0.8472
χ_z	0.8472

coefficiente di riduzione per asse y
coefficiente di riduzione per asse z

$N_{b.y.Rd}$	1035.53	kN
$N_{b.z.Rd}$	1035.53	kN

resistenza di progetto all'instabilità di una membratura compressa, asse y
resistenza di progetto all'instabilità di una membratura compressa, asse z

Buckling check mandatory y-y axis
Buckling check mandatory z-z axis

Stabilità

INSTABILITA' ALLA PRESSOFLESSIONE

$M_{y,Ed}$	0.73	kNm
N_{Ed}	408.84	kN
$M_{z,Ed}$	0.00	kNm

λ_y	0.70
λ_z	0.70
χ_y	0.85
χ_z	0.85

snellezza meccanica lungo y
snellezza meccanica lungo z
coefficiente di riduzione per asse y
coefficiente di riduzione per asse z

C_{my}	0.95
C_{mz}	0.95

coefficiente di momento da calcolare con ->
coefficiente di momento da calcolare con ->

k_{yy}	1.14
k_{yz}	0.68
k_{zy}	0.00
k_{zz}	1.14

si utilizza l'Annex B metodo 2

per Classe 1 e 2	
0.41	
0.39	
Stabilità	

Table B.3: Equivalent uniform moment factors C_m in Tables B.1 and B.2

Moment diagram	range	C_{my} and C_{mz} and C_{mT}	
		uniform loading	concentrated load
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0.6 + 0.4\psi \geq 0.4$	
	$0 \leq \alpha_1 \leq 1$	$0.2 + 0.8\alpha_1 \geq 0.4$	$0.2 + 0.8\alpha_1 \geq 0.4$
	$-1 \leq \alpha_1 < 0$	$0.1 - 0.8\alpha_1 \geq 0.4$	$-0.8\alpha_1 \geq 0.4$
	$0 \leq \alpha_2 \leq 1$	$0.95 + 0.05\alpha_2$	$0.90 + 0.10\alpha_2$
	$-1 \leq \alpha_2 < 0$	$0.95 + 0.05\alpha_2$	$0.90 + 0.10\alpha_2$

For members with sway buckling mode the equivalent uniform moment factor should be taken $C_{my} = 0.9$ or $C_{mz} = 0.9$ respectively.

C_{my} , C_{mz} and C_{mT} should be obtained according to the bending moment diagram between the relevant braced points as follows:

moment factor	bending axis	points braced in direction
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mT}	Y-Y	Y-Y

Verifica travi di ripartizione:

$$M = 1/8 \times 116.81 \times 3.5^2 = 178.86 \text{ kNm}$$

$$M \text{ a trave} = 178.86/2 = 89.43 \text{ kNm}$$

$$T = 1/2 \times 116.81 \times 3.5 = 204.4 \text{ kN}$$

$$T \text{ a trave} = 204.4/2 = 102.2 \text{ kN}$$

IPE - HE - HL = verifica di resistenza a taglio - flessione

(Azione nel piano dell'anima)

$$M_{Ed} \leq M_{V,pl,Rd} \quad M_{V,pl,Rd} = (1 - \rho) M_{pl,Rd} \quad \rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2 \quad V_{c,Rd} = \frac{A_v (f_{yk} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

M_{Ed} = momento sollecitante di calcolo
 $M_{V,Rd}$ = resistenza convenzionale di calcolo
 V_{Ed} = taglio di calcolo
 $V_{c,Rd}$ = resistenza di calcolo a taglio
 A_v = area resistente a taglio della sezione
 f_{yk} = tensione caratteristica a snervamento
 γ_{M0} = coefficiente di sicurezza

INPUT

Definizione dell'azione sollecitante	V [kN] = <input type="text" value="102.2"/>	M [kNm] = <input type="text" value="89.43"/>
Scelta del profilo	<input type="text" value="HE 200 A"/>	$V_{pl,Rd}$ [kN] = <input type="text" value="273"/>
Classe dell'acciaio	<input type="text" value="S275JO - S275JR - S275J2"/>	Classe sez. <input type="text" value="1"/>

OUTPUT

(VERIFICA Punto 4.2.4.1.2 NTC 2008)

$M_{Ed} =$	89.43 [kNm]	$M_{Ed} / M_{V,pl,Rd} =$	0.85	Verifica a fless. soddisfatta
$M_{V,pl,Rd} =$	105.32 [kNm]	$V_{Ed} / V_{c,Rd} =$	0.37	Verifica a taglio soddisfatta

8 ANALISI E VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI PARATIA TIPO 2

8.1 PRINCIPALI ASSUNZIONI E FASI REALIZZATIVE

Si riporta di seguito la verifica della paratia di micropali per il sostegno provvisorio degli scavi necessaria alla posa dello scatolare.

Il modello geotecnico di riferimento è indicato nel capitolo 4. La paratia è interessata esclusivamente dallo strato A e la falda non è interferente con le paratie di progetto.

Per il calcolo della paratia sono state implementate nel software Paratie 2019 le seguenti fasi.

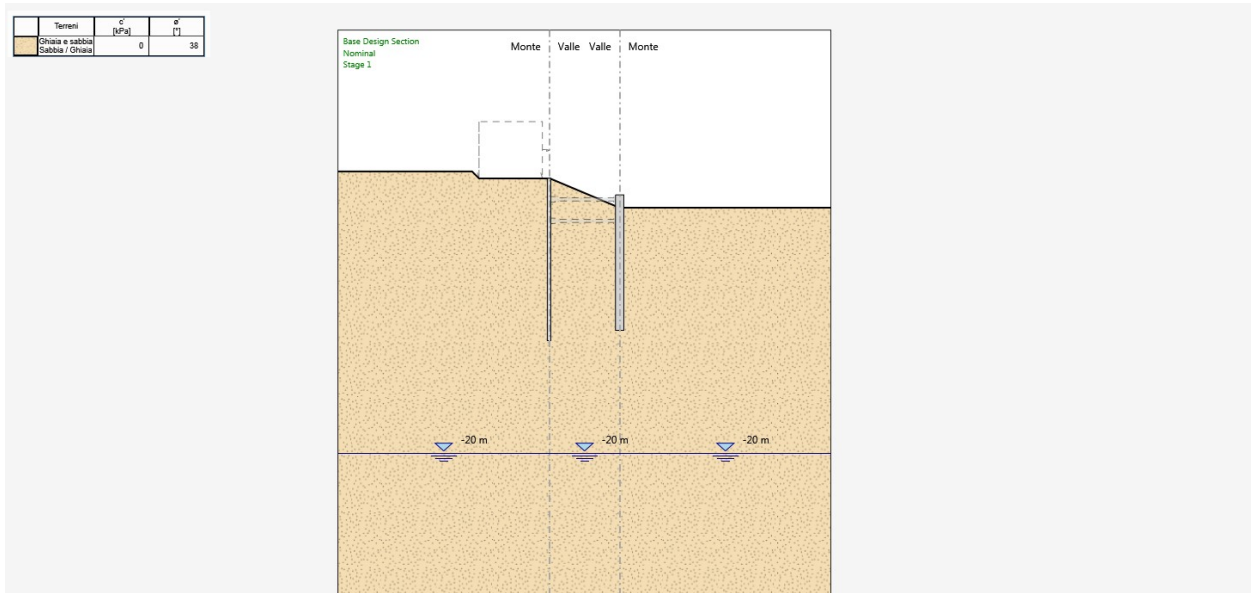


Figura 16: Fase 1 – geostatica con prescavo di 50 cm per una larghezza di 5 m

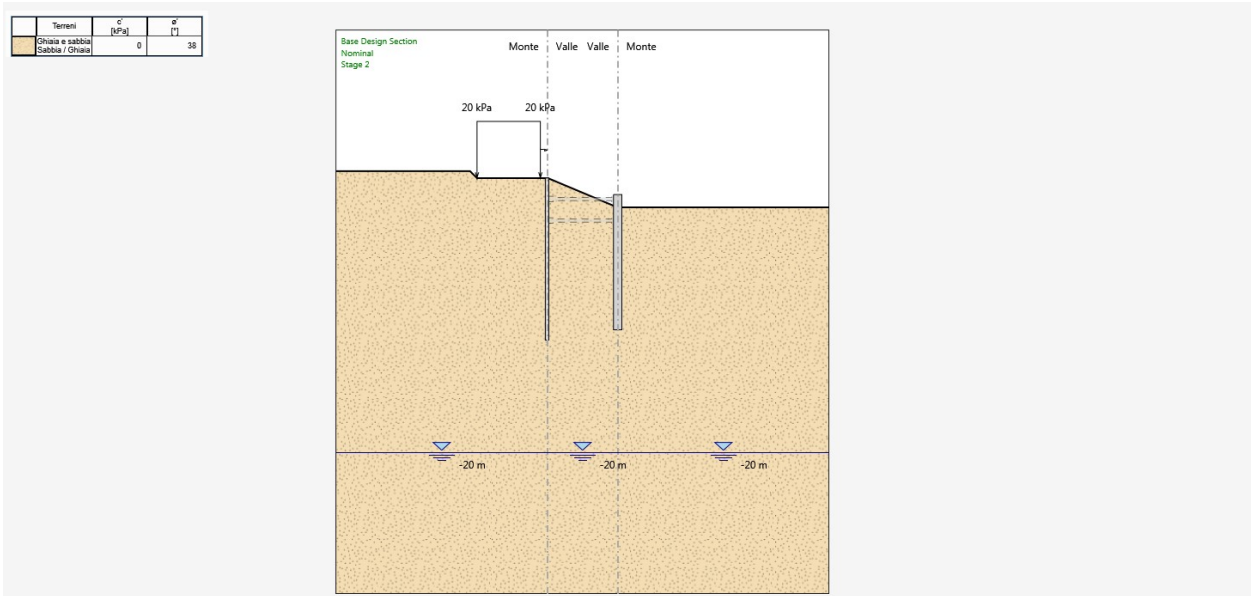


Figura 17: Fase 2 – applicazione sovraccarico accidentale 20 kPa

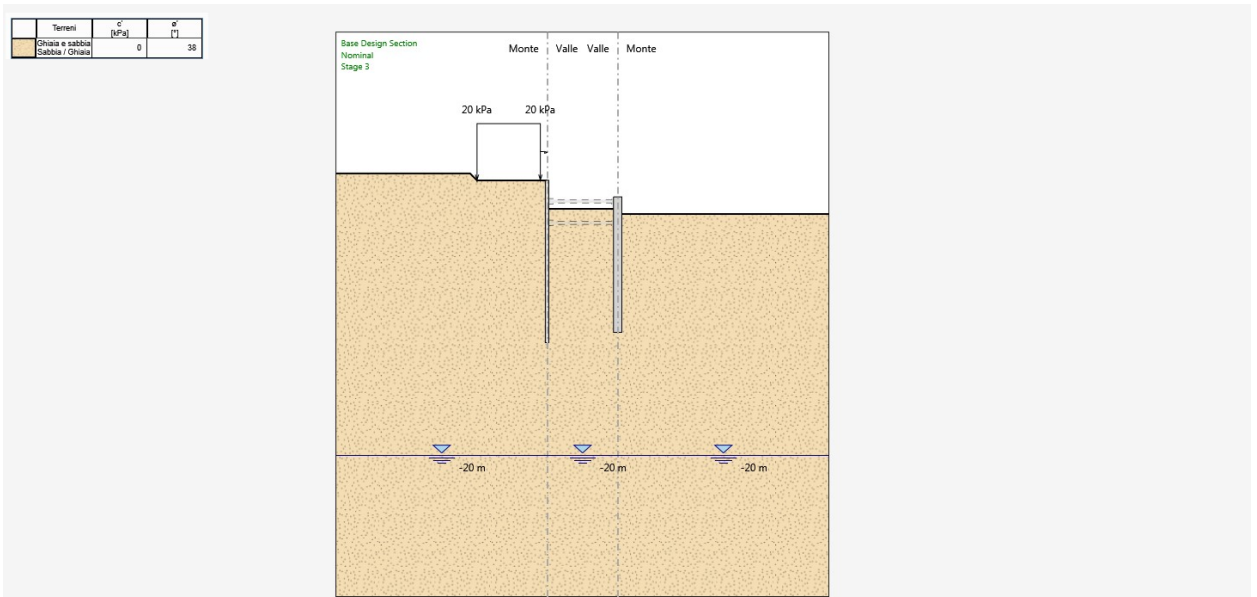


Figura 18: Fase 3 – scavo di 200 cm da sommità paratia per successiva posa puntelli

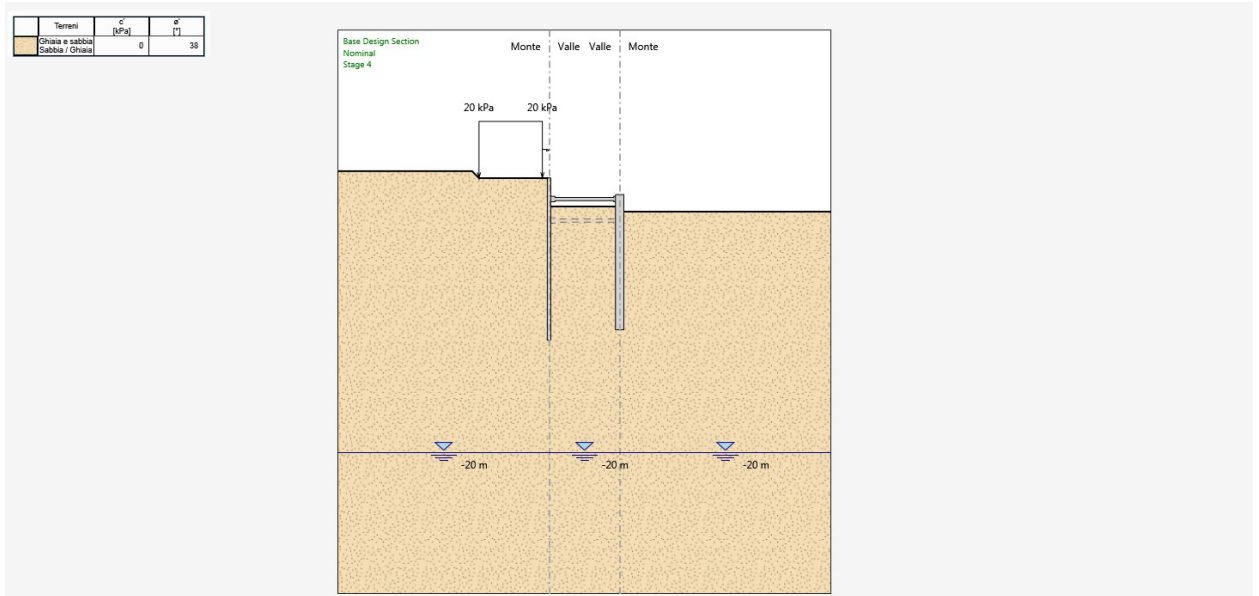


Figura 19: Fase 4 – posa puntelli

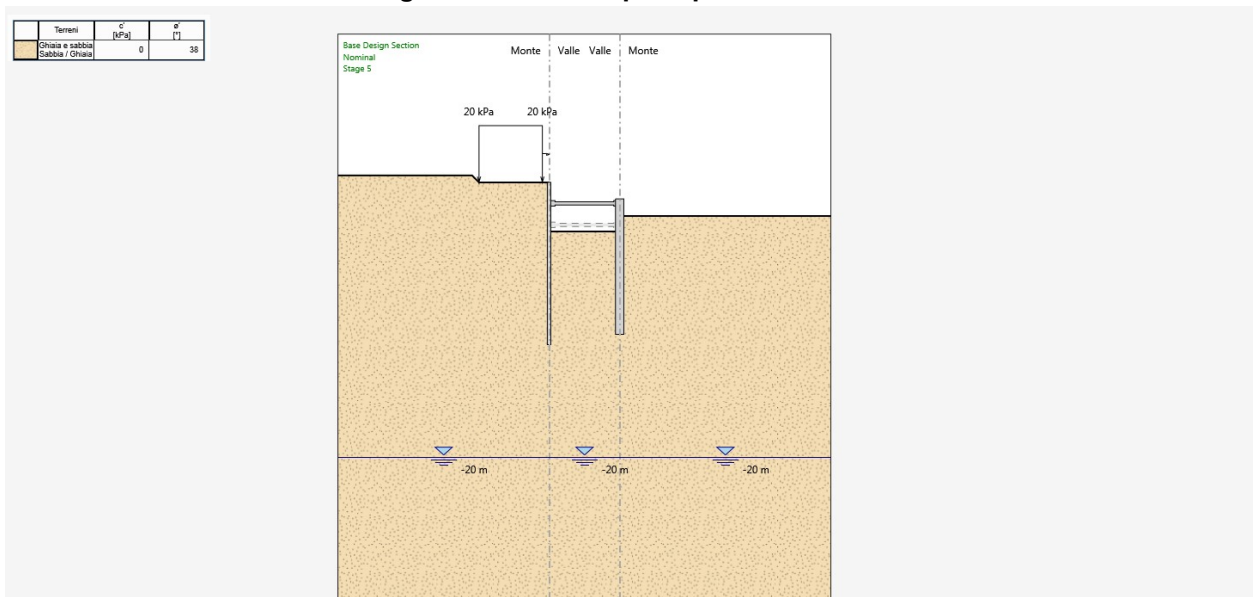


Figura 20: Fase 5 – scavo fino a 3.5 m da sommità paratia

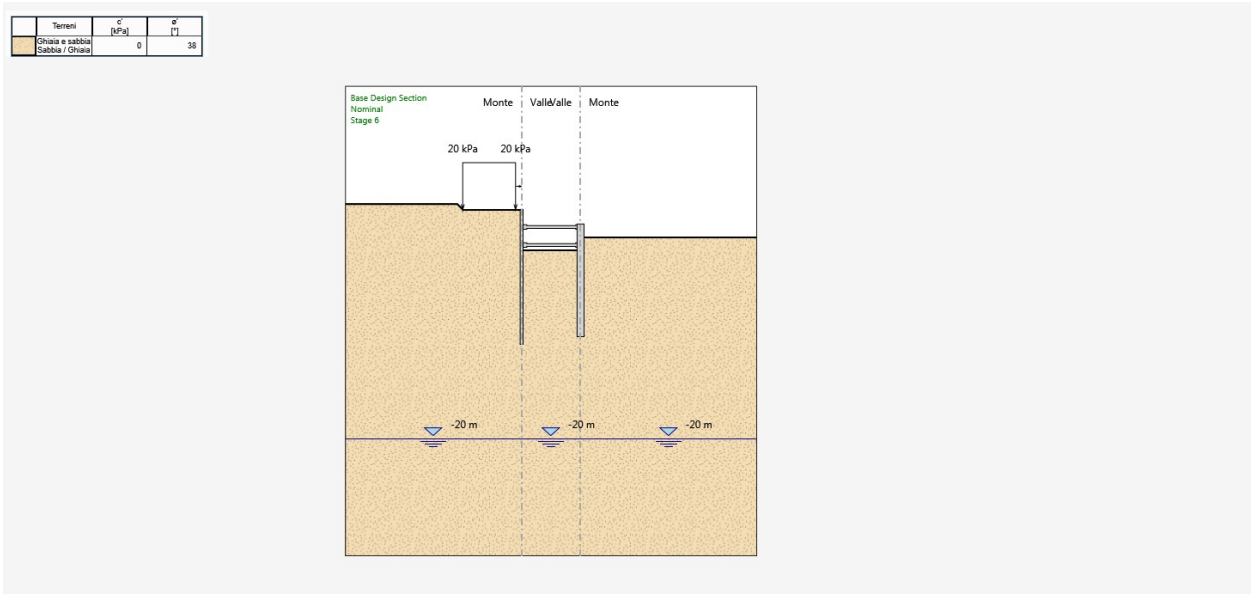


Figura 21: Fase 6 – posa puntelli a -3 m da sommità paratia

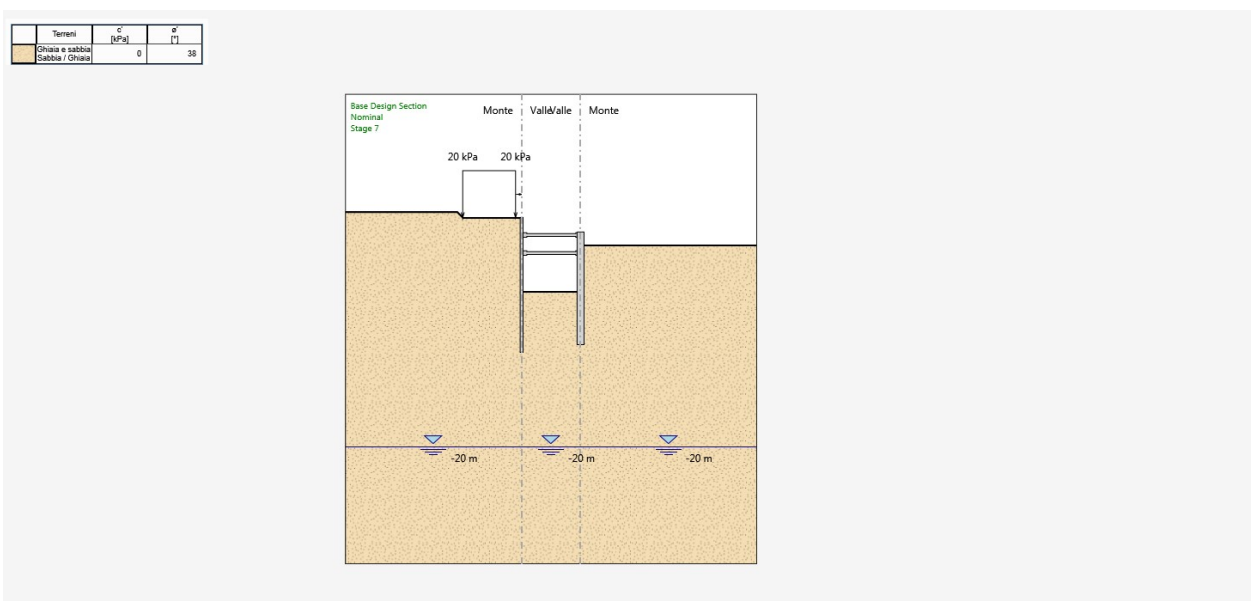


Figura 22: Fase 7 – scavo finale a -6.3m dal p.c.

Lo scavo massimo è pari a 6 m da sommità paratia (6.5 da p.c.), il calcolo verrà eseguito con un sovrascavo pari al 10 % della differenza di quota tra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo (0.3 m) come indicato al capitolo 6.5.2.2 delle norme tecniche 17/01/2018 (altezza di calcolo 6.3 m).

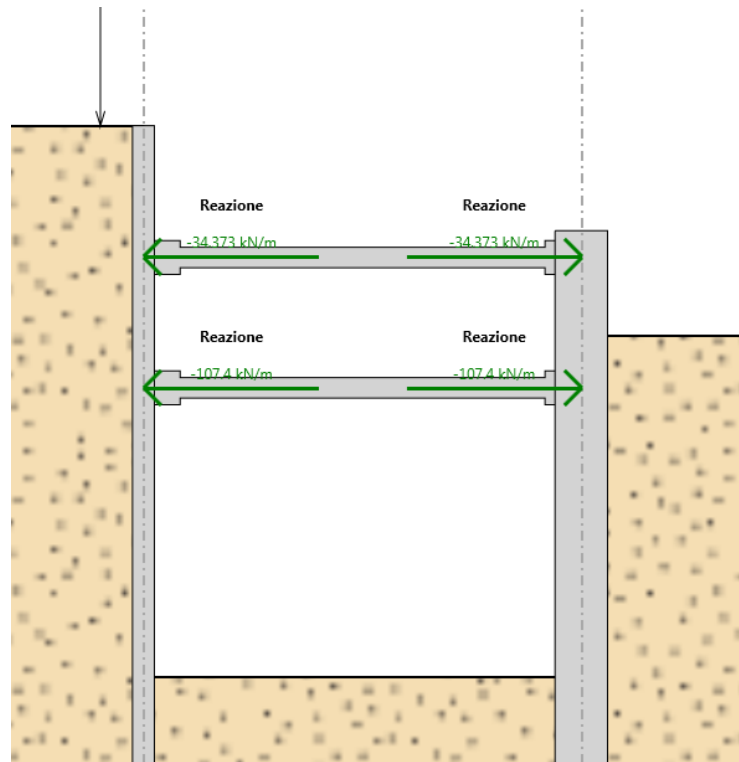


Figura 25: Massima reazione supporti combinazione A1+M1+R1 (N=107.4 kN/m)

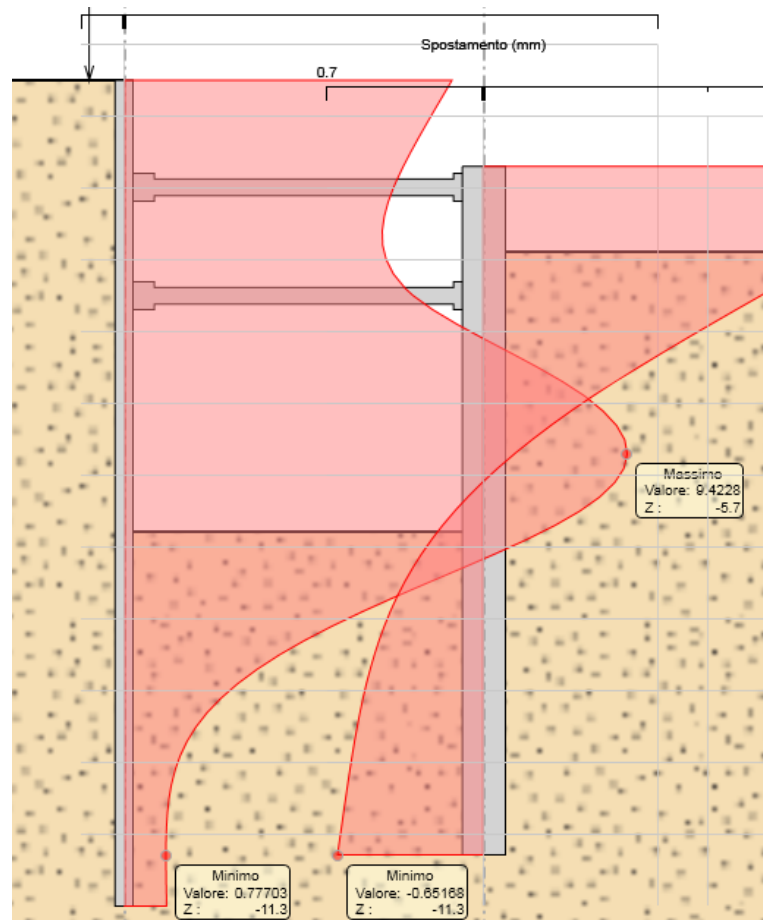


Figura 26: Massimo spostamento orizzontale in combinazione rara fase 7 (9.42 mm)

Lo spostamento massimo pari a 9.42 mm fase 7 (pari a 1/637 dell'altezza di scavo da sommità micropalo) può ritenersi accettabile data la temporaneità dell'opera.

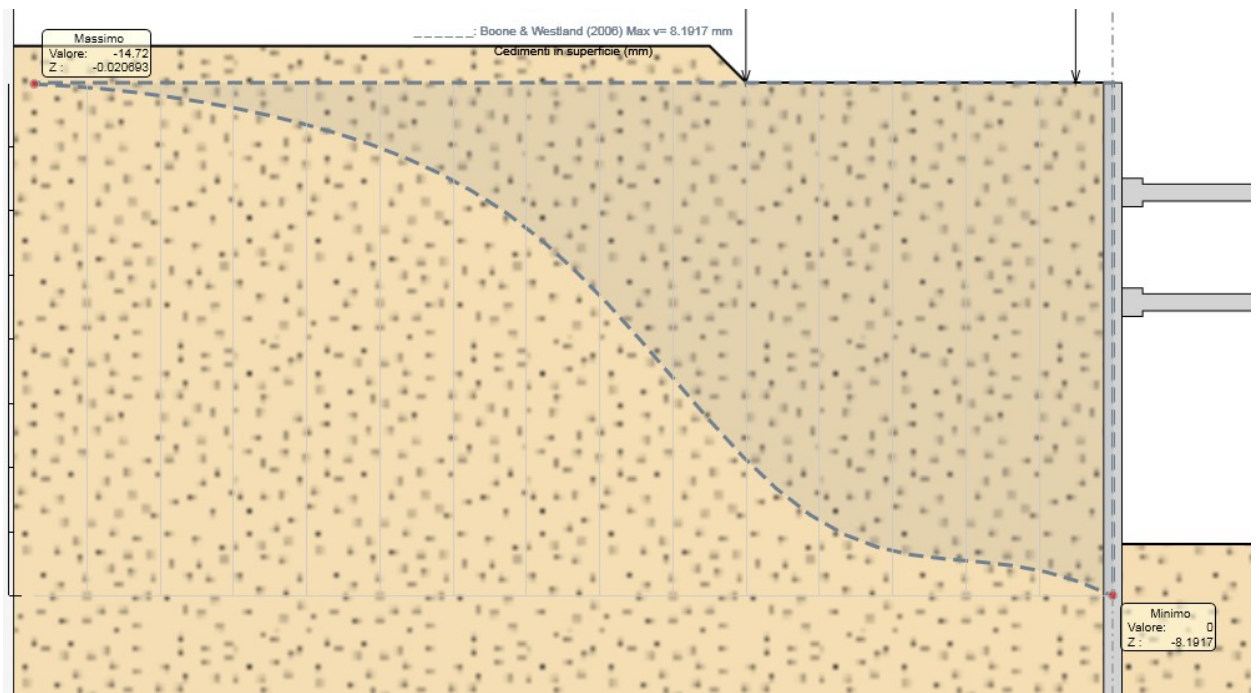


Figura 27: Massimo cedimento in combinazione rara fase 7 (8.2 mm)

Il cedimento massimo in prossimità della paratia calcolato con la teoria di Boone e Westland (2006) è pari a 8.2 mm.

8.3 VERIFICHE STRUTTURALI

Si riportano successivamente le verifiche dei micropali, dei puntelli e delle travi di ripartizione.

Verifica micropalo:

Caratteristiche geometriche CHS

Unità di misura: **cm / MPa**

d	16.83
t	1
f _u	430
f _y	275
ε	0.92
Classe	Classe 1
A _{s tot}	49.731
Y _{g,b,da inf}	8.42
J _g	1563.98
i	5.61
J _{tors}	3127.97
W _{el}	185.86
W _{pl}	250.92

M= 43.7 x 0.3 =13.11 kNm/ micropalo

T= 67 x 0.3 =20.1 kN/ micropalo

Sollecitazioni kN,m

V _{z.Sd}	M _{z.Sd}	V _{y.Sd}	M _{y.Sd}	N _{Sd}
20.10	0.00	0.00	13.11	0.00

SOLO PER CLASSI 1 & 2

M _{y.Ed}	13.11	kNm
N _{Ed}	0.00	kN
V _{z.Ed}	20.10	kN

taglio sollecitante parallelo all'anima

M _{pl.y.Rd}	65.72	kNm
M _{v.y.Rd}	65.72	kNm
N _{pl.Rd}	1302.49	kN
M _{N.y.Rd}	65.72	kNm

momento resistente plastico di progetto

momento resistente di progetto ridotto per il taglio

resistenza plastica di progetto

momento resistente plastico di progetto ridotto

Sezione Verificata

Verifica puntelli:

Caratteristiche geometriche CHS

Unità di misura: **cm / MPa**

d	19.37
t	0.8
f _u	430
f _y	275
ε	0.92
Classe	Classe 1
A _{s tot}	46.672
Y _{g,b.da inf}	9.69
J _g	2015.54
i	6.57
J _{tors}	4031.07
W _{el}	208.11
W _{pl}	276.05

$$N = 107.4 \times 3.5 \text{ m} = 375.9 \text{ kN}$$

$$M_{\text{peso} \times 1.3} = 0.73 \text{ kNm}$$

$$T_{\text{peso} \times 1.3} = 0.91 \text{ kN}$$

Sollecitazioni kN,m

V _{z.Sd}	M _{z.Sd}	V _{y.Sd}	M _{y.Sd}	N _{Sd}
0.91	0.00	0.00	0.73	-375.90

SOLO PER CLASSI 1 & 2

M _{y.Ed}	0.73	kNm
N _{Ed}	375.90	kN
V _{z.Ed}	0.91	kN

taglio sollecitante parallelo all'anima

M _{pl.y.Rd}	72.30	kNm
M _{v.y.Rd}	72.30	kNm
N _{pl.Rd}	1222.35	kN
M _{N.y.Rd}	65.06	kNm

momento resistente plastico di progetto

momento resistente di progetto ridotto per il taglio

resistenza plastica di progetto

momento resistente plastico di progetto ridotto

Sezione Verificata

INSTABILITA' ALLA COMPRESSIONE

tipo	hot		hot finished or cold formed		
N_{Ed}	408.84	kN	compressione		
asse	a		curva di instabilità per y	α	0.21
λ₁	86.80				
I_{y-y}	400.00	cm	lunghezza libera d'inflessione	λ_y	60.87
I_{z-z}	400.00	cm	lunghezza libera d'inflessione	λ_z	60.87
λ_y	0.70		snellezza meccanica lungo y	φ_y	0.80
λ_z	0.70		snellezza meccanica lungo z	φ_z	0.80
χ_y	0.8472		coefficiente di riduzione per asse y		
χ_z	0.8472		coefficiente di riduzione per asse z		
N_{b,y,Rd}	1035.53	kN	resistenza di progetto all'instabilità di una membratura compressa, asse y		
N_{b,z,Rd}	1035.53	kN	resistenza di progetto all'instabilità di una membratura compressa, asse z		

Buckling check mandatory y-y axis
Buckling check mandatory z-z axis

Stabilità

INSTABILITA' ALLA PRESSOFLESSIONE

M_{y,Ed}	0.73	kNm
N_{Ed}	375.90	kN
M_{z,Ed}	0.00	kNm

λ_y	0.79
λ_z	0.79
χ_y	0.80
χ_z	0.80

snellezza meccanica lungo y
snellezza meccanica lungo z
coefficiente di riduzione per asse y
coefficiente di riduzione per asse z

C_{my}	0.95
C_{mz}	0.95

coefficiente di momento da calcolare con ->
coefficiente di momento da calcolare con ->

k_{yy}	1.16
k_{yz}	0.70
k_{zy}	0.00
k_{zz}	1.16

si utilizza l'Annex B metodo 2

per Classe 1 e 2	
0.40	
0.38	
Stabilità	

Table B.3: Equivalent uniform moment factors C_m in Tables B.1 and B.2

Moment diagram	range	C _{my} and C _{mz} and C _{mT}	
		uniform loading	concentrated load
	-1 ≤ ψ ≤ 1	0.6 + 0.4ψ ≥ 0.4	
	0 ≤ α ₁ ≤ 1	0.2 + 0.8α ₁ ≥ 0.4	0.2 + 0.8α ₁ ≥ 0.4
	-1 ≤ α ₁ < 0	0.1 - 0.8α ₁ ≥ 0.4	-0.8α ₁ ≥ 0.4
	0 ≤ α ₂ ≤ 1	0.95 + 0.05α ₂	0.90 + 0.10α ₂
	-1 ≤ α ₂ < 0	0.95 + 0.05α ₂	0.90 + 0.10α ₂
		0.95 + 0.05α ₂ (1+2ψ)	0.90 - 0.10α ₂ (1+2ψ)

For members with sway buckling mode the equivalent uniform moment factor should be taken C_{my} = 0.9 or C_{mz} = 0.9 respectively.

C_{my}, C_{mz} and C_{mT} should be obtained according to the bending moment diagram between the relevant braced points as follows:

moment factor	bending axis	points braced in direction
C _{my}	y-y	z-z
C _{mz}	z-z	y-y
C _{mT}	y-y	y-y

Verifica travi di ripartizione:

$$M = 1/8 \times 107.4 \times 3.5^2 = 164.5 \text{ kNm}$$

$$M \text{ a trave} = 164.5/2 = 82.25 \text{ kNm}$$

$$T = 1/2 \times 107.4 \times 3.5 = 187.95 \text{ kN}$$

$$T \text{ a trave} = 187.95/2 = 93.98 \text{ kN}$$

IPE - HE - HL = verifica di resistenza a taglio - flessione

(Azione nel piano dell'anima)

$$M_{Ed} \leq M_{V,pl,Rd} \quad M_{V,pl,Rd} = (1-\rho)M_{pl,Rd} \quad \rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2 \quad V_{c,Rd} = \frac{A_v (f_{yk} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

M_{Ed} = momento sollecitante di calcolo
M_{V,Rd} = resistenza convenzionale di calcolo
V_{Ed} = taglio di calcolo
V_{c,Rd} = resistenza di calcolo a taglio
A_v = area resistente a taglio della sezione
f_{yk} = tensione caratteristica a snervamento
γ_{M0} = coefficiente di sicurezza

INPUT

Definizione dell'azione sollecitante V [kN] = M [kNm] =

Scelta del profilo V_{pl,Rd} [kN] =

Classe dell'acciaio Classe sez.

OUTPUT

(VERIFICA Punto 4.2.4.1.2 NTC 2008)

M _{Ed} =	82.25 [kNm]	M _{Ed} / M _{V,pl,Rd} =	0.81	Verifica a fless. soddisfatta
M _{V,pl,Rd} =	101.50 [kNm]	V _{Ed} / V _{c,Rd} =	0.34	Verifica a taglio soddisfatta