

RTI Progettisti:

SYSTRA

SOTECNI
SYSTRA GROUP

architector
engineering

AEGIS
CANTARELLI + PARTNERS

STUDIO MATTIOLI
Ambiente - Ingegneria - Energia

cooperativa archeologia

PROGETTO DEFINITIVO DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE)

OPERE CIVILI LUNGO LINEA

Opere puntuali - Strutturale

O01 - Sottovia Via Mazza Relazione di calcolo

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE
ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO
ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ing. Barbara Baraldi
arch. Virginia Borrello
ing. Giulio Cimbali
geom. Agnese Fero
ing. Stefania Guadagnini
geom. Luciano Notte
ing. Lisa Ombra
ing. Marco Pesare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DI COMMESSA
ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE TECNICO
ING. ALESSANDRO PIAZZA

SISTEMA TRANVIARIO
ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO
ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE A VERDE
ARCH. NICOLA CANTARELLI

OPERE STRUTTURALI
ING. STEFANO TORTELLA
SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONI
ING. ANGELA TORTORELLA

AMBIENTE
PROF. MATTEO MATTIOLI

SICUREZZA
ARCH. SERGIO MOSCHEO

ARCHEOLOGIA
DOTT. CRISTINA BIGAZZI

BIM MANAGER
GEOM. MIRKO CASAROLI

RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
ING. SANTI CAMINITI

IMPIANTI TECNOLOGICI
ING. SIMONE VILLA

STUDI TRASPORTISTICI
ING. ANDREA SPINOSA

VIABILITA' INTERFERENTE E SOTTOSERVIZI
ING. PIETRO CAMINITI

IDRAULICA E IDROLOGIA
ING. ANDREA BENVENUTI

DEPOSITO
ING. GIORGIO COLETTI

ARMAMENTO
ING. MAURIZIO FALZEA
GEOLOGIA E GEOTECNICA
DOTT. GEOL. ANTONIO PAONE

TRAZIONE ELETTRICA
ING. DOMENICO D'APOLLONIO

IMPIANTI MECCANICI
ING. SALVATORE GIUA

COMMESSA	FASE	LOTTO	WBS	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381	C	D	X00	O01	STR	RT	01	A	B381C-D-X00-O01-STR-RT-01-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Ago. 2023	PRIMA EMISSIONE	SISTO	TORTELLA	S. CAMINITI
B					
C					
D					

Indice

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA.....	7
3. MATERIALI	9
3.1 MAGRONE	9
3.2 CALCESTRUZZO.....	9
3.3 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO.....	9
4. GEOLOGIA E GEOTECNICA.....	11
5. ANALISI STRUTTURALE	13
5.1 VERIFICHE DI RESISTENZA	13
5.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO.....	13
5.2.1 DEFINIZIONE DEGLI STATI LIMITE DI FESSURAZIONE.....	13
5.2.2 CONDIZIONI AMBIENTALI.....	14
5.2.3 SENSIBILITÀ DELLE ARMATURE ALLA CORROSIONE	14
5.2.4 SCELTA DEGLI STATI LIMITE DI FESSURAZIONE.....	15
5.3 VERIFICHE PER SOLLECITAZIONI CHE PROVOCANO TENSIONI NORMALI	15
5.4 VERIFICHE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO	16
6. CARICHI CONSIDERATI NEL MODELLO	17
6.1 CARICHI APPLICATI.....	17
6.1.1 PESO PROPRIO STRUTTURE	17
6.1.2 CARICHI MOBILI STRADALI.....	17
6.1.3 INPUT SISMICI	17
6.2 COMBINAZIONI DI CARICO	20
7. MODELLO E CALCOLO DELLE STRUTTURE	22
7.1 SEZIONE IN CORRISPONDENZA DEL SOTTOPASSO	24

7.2	SEZIONE IN CORRISPONDENZA DEL SOTTOPASSO – ZONA VASCA DI RACCOLTA ACQUE	
	30	
7.3	SEZIONE TRINCEA H_PALI = 20M.....	36
7.4	SEZIONE TRINCEA H_PALI = 17M.....	42
7.5	SEZIONE TRINCEA H_PALI = 12M.....	47
7.6	SEZIONE TRINCEA H_PALI = 8M.....	52
7.7	SEZIONE TRINCEA H_MICROPALI = 6M.....	57
7.8	OPERA IN C.A.....	62

1. PREMESSA

Nell'ambito dei lavori previsti per la realizzazione della linea tranviaria di Bologna "Linea verde" sono previste numerose opere d'arte. In particolare in corrispondenza di via Ferrarese e via mazza, come si può notare nel riquadro evidenziato in rosso nell'immagine che segue, è prevista un'opera di sottoattraversamento stradale al fine di creare un collegamento stradale diretto e permettere il passaggio in superficie dell'infrastruttura tranviaria.



Figura 1 - Inquadramento generale

L'opera viene realizzata per mezzo di uno scavo con tecnologia TOP DOWN eseguendo preventivamente le opere di sostegno laterale, poi le opere di copertura laddove previste e poi uno scavo a cielo aperto in corrispondenza delle rampe di approccio (in corrispondenza delle rampe più vicine al sottopasso saranno da prevedere puntoni provvisori in sommità durante le varie fasi di scavo) e in sotterraneo in corrispondenza del sottopasso. Le opere di sostegno vengono realizzate a mezzo sia di pali del diametro di 920mm con lunghezza di palo in funzione dell'andamento altimetrico di progetto, sia con micropali del diametro del 220mm e lunghezza pari a 6m nelle zone terminali delle rampe di accesso. All'interno dello scavo, viene poi realizzata una struttura in c.a. con funzione di contenimento della sede stradale con platea di fondazione di spessore pari a 1.00m e fodere laterali a contrasto con i pali di spessore pari a 0.40m (sia nelle zone all'aperto che in sotterraneo).

La scelta di utilizzare opere di sostegno realizzate per mezzo di pali del diametro 920mm, deriva dal fatto che con queste dimensioni e con le caratteristiche litologie proprie della zona di interesse, potranno essere utilizzate tecnologie particolari di scavo (come ad esempio l'utilizzo di pali CFA ad elica continua) che non prevedono l'utilizzo di fanghi o altre sostanze per il sostegno dello scavo (la stessa elica autosostiene direttamente lo scavo) e quindi senza in alcun modo generare problemi di natura ambientale alle acque di falda sottostante.

Inoltre, al fine di non generare alcuna barriera od ostacolo alla normale regimentazione della falda, durante le fasi operative e di tracciamento delle opere, sarà previsto, in corrispondenza di un palo ogni cinque, un arretramento in pianta dello stesso rispetto alla linea d'asse di circa 40cm al fine di creare delle zone puntuali di riequilibrio del livello della falda sottostante.

Vengono di seguito riportate alcune immagini raffiguranti l'opera in oggetto.

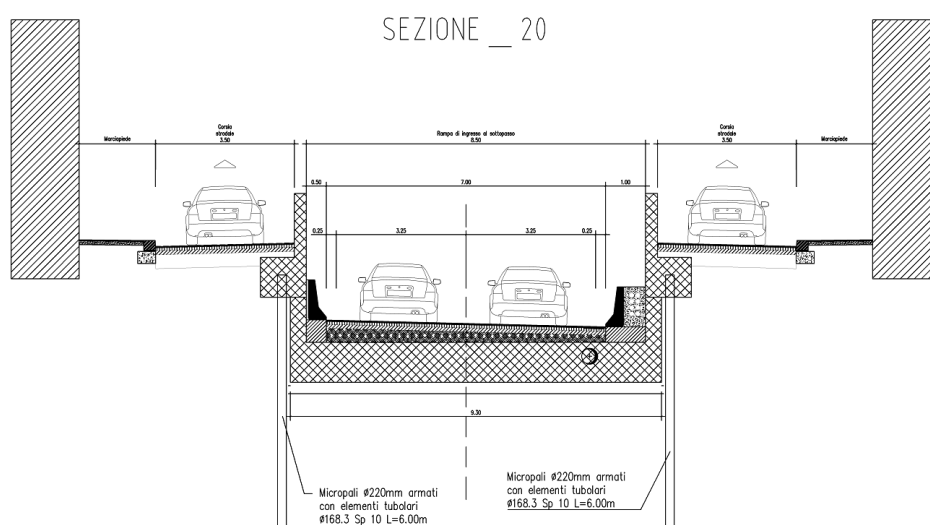


Figura 2 - Sezione in corrispondenza dei Micropali

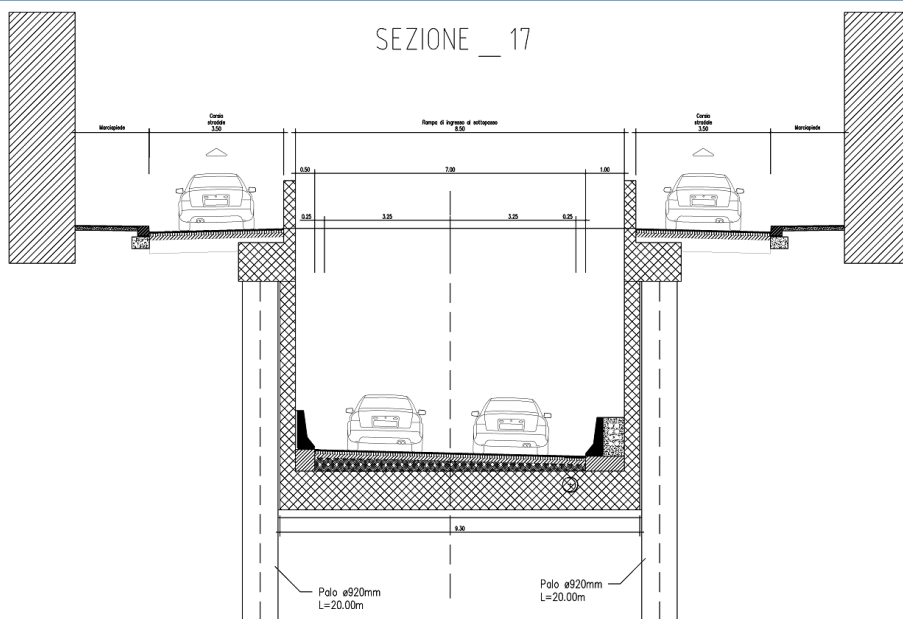


Figura 3 - Sezione corrente in trincea

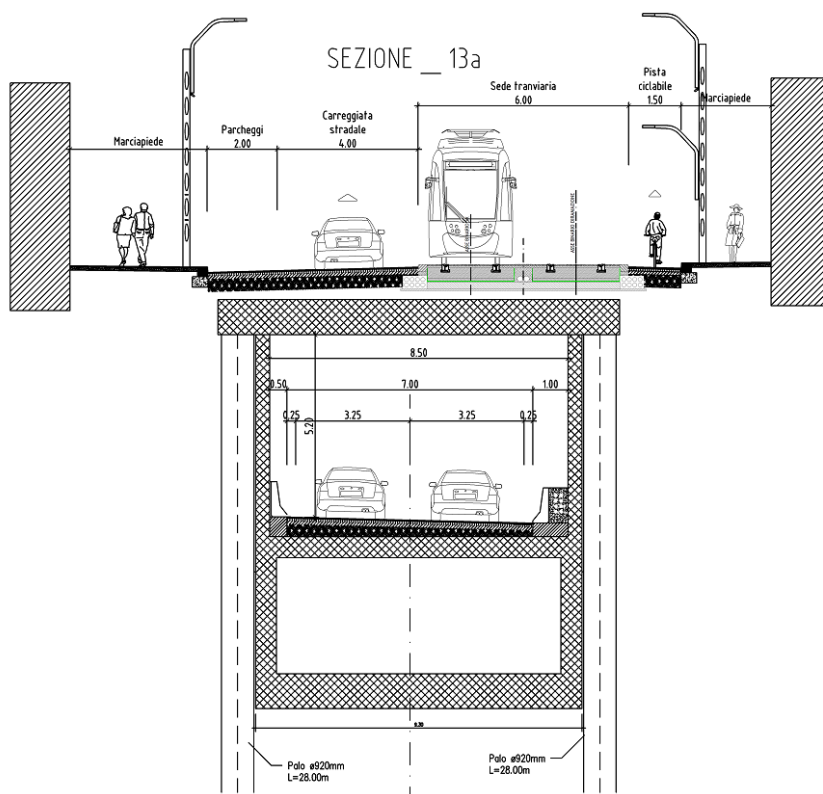


Figura 4 - Sezione in corrispondenza del sottopasso – in corrispondenza della zona di vasca

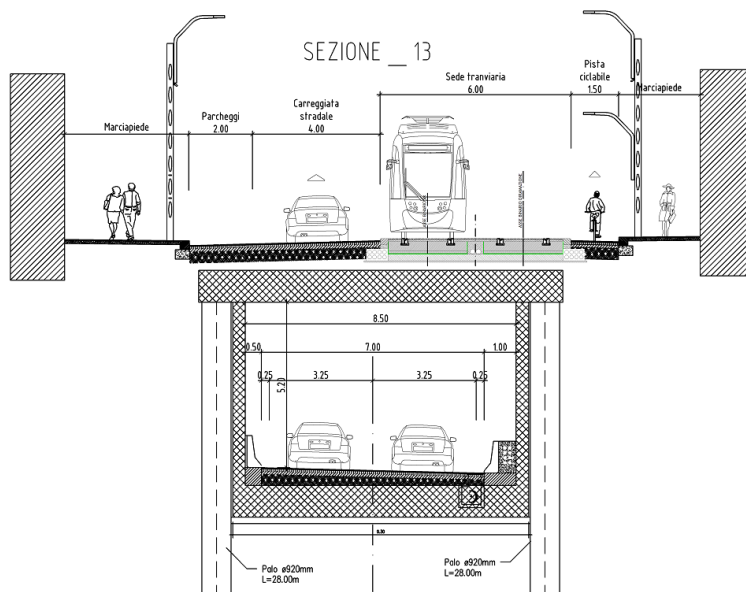


Figura 5 - Sezione in corrispondenza del sottopasso – Sezione corrente

2. NORMATIVA

I calcoli e le disposizioni esecutive sono conformi alle norme attualmente in vigore.

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica
- Circ. Min. LL.PP.14 Febbraio 1974, n. 11951 – Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086
- Legge 2 febbraio 1974 n. 64, recante provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- D. M. Min. II. TT. 17 gennaio del 2018 – Norme tecniche per le costruzioni
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”
- UNI EN 1991-2-4 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”
- UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”
- UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: “Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi”
- UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: “Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”;
- UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti”

- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale
- UNI EN 197-1 giugno 2001 – “Cemento: composizione, specifiche e criteri di conformità per cementi comuni”
- UNI EN 11104 marzo 2004 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l’applicazione delle EN 206-1
- UNI EN 206-1 ottobre 2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”

3. MATERIALI

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'impiego dei sottoelencati materiali.

3.1 *magrone*

Per il magrone di sottofondazione si prevede l'utilizzo di calcestruzzo di classe Rck 15.

3.2 *Calcestruzzo*

- 1) Per la realizzazione della fondazione dello scatolare e dei pali, si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe Rck ≥ 35 N/mm², che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 29.05$ N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 16.46$ N/mm ²
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.83$ N/mm ²
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.981$ N/mm ²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.321$ N/mm ²
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 16.80$ N/mm ²
Resistenza a compressione (comb. Quasi Permanente)	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 13.07$ N/mm ²

- 2) Per la realizzazione della soletta di copertura si prevede l'utilizzo di calcestruzzo in classe Rck ≥ 40 N/mm², che presenta le seguenti caratteristiche:

Resistenza a compressione (cilindrica)	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 33.20$ N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 18.81$ N/mm ²
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 3.10$ N/mm ²
Resistenza a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17$ N/mm ²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.45$ N/mm ²
Resistenza a compressione (comb. Rara)	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} = 19.92$ N/mm ²
Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 14.94$ N/mm ²

3.3 *Acciaio per cemento armato*

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

Proprietà	Requisito
Limite di snervamento f_y	≥ 450 MPa
Limite di rottura f_t	≥ 540 MPa
Allungamento totale al carico massimo	$\geq 7.5\%$
A_{gt}	
Rapporto f_t/f_y	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$

Rapporto $f_{y \text{ misurato}} / f_{y \text{ nom}}$

$\leq 1,25$

Tensione di snervamento caratteristica

$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica a rottura

$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$

Tensione in condizione di esercizio (comb. Rara)

$\sigma_s = 0.80 \cdot f_{yk} = 360.00 \text{ N/mm}^2$

Fattore di sicurezza acciaio

$\gamma_s = 1.15$

Resistenza a trazione di calcolo

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.30 \text{ N/mm}^2$

4. GEOLOGIA E GEOTECNICA

Per le caratteristiche dei terreni presenti in sito, nonché la caratterizzazione geotecnica, si è fatto riferimento a quanto riportato nella relazione geologica, geotecnica allegata al progetto in questione. Vengono di seguito riportate alcune immagini raffiguranti le stratigrafie interessate dall'opera in oggetto e la descrizione degli strati di terreno di riferimento, rimandando come suddetto alla relazione specifica allegata al progetto per maggiori dettagli.

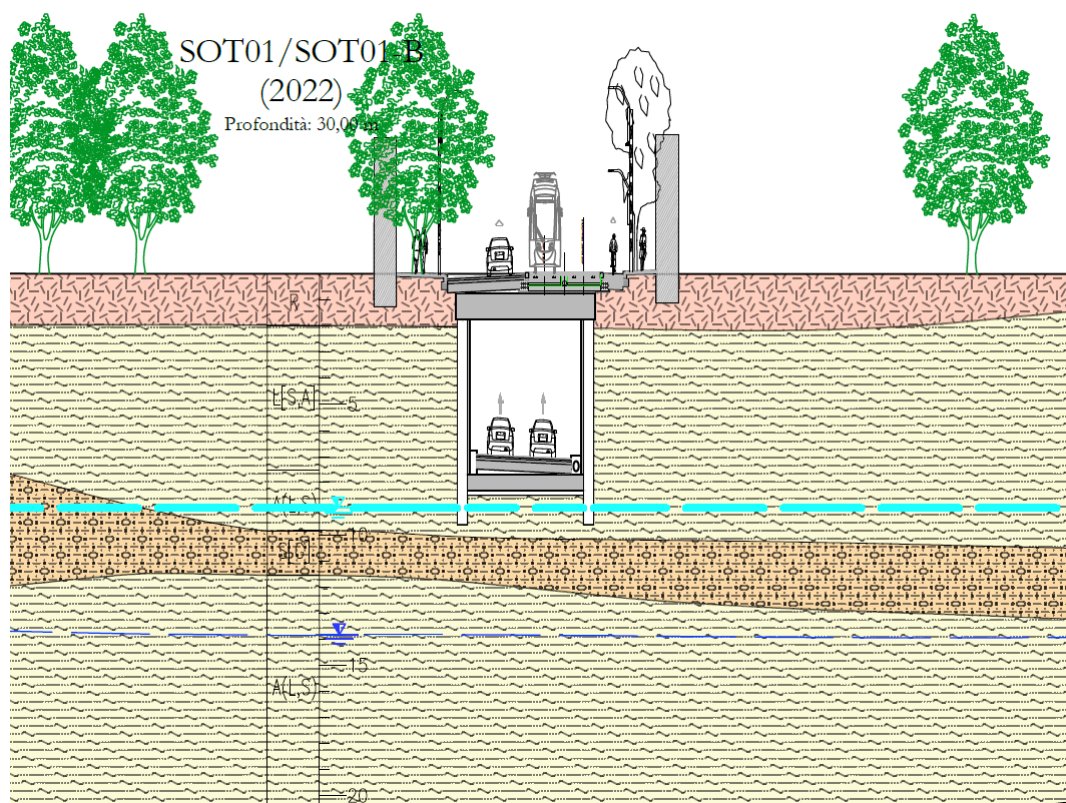


Figura 6 - Sezione stratigrafica di riferimento

LEGENDA DELLE UNITA' GEOLOGICHE

Terreni superficiali sciolti derivanti dalle attività agricole e/o antropiche

Terreni alluvionali di natura prevalentemente limoso argilloso

Terreni alluvionali di natura prevalentemente ghiaiose sabbiose

Classi di permeabilità




GRADO DI PERMEABILITÀ	UNITÀ IDROGEOLOGICHE	UNITÀ GEOLOGICO TECNICHE PROFILO	TIPO DI PERMEABILITÀ
Permeabilità alta ($K > 10^{-4}$ m/s)		Riporto	Porosità
Permeabilità medio-alta ($10^{-4} < K < 10^{-3}$ m/s)		Terreni alluvionali incoerenti	Porosità
Permeabilità medio-bassa ($10^{-3} < K < 10^{-2}$ m/s)		Terreni alluvionali coesivi	Porosità

Figura 7 - Legenda unità geologiche

RIPORTO	
Terreni limoso-sabbiosi con inclusi	
Grado di addensamento	Da poco a moderatamente addensato
Peso di volume secco (γ_d)	16-18 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	28°-30°
Coesione mobilizzabile (c)	0 kPa

UNITÀ A	
Limi Argillosi	
Grado di addensamento	-
Peso di volume secco (γ_d)	19-20 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	24°-27°
Coesione mobilizzabile (c)	5-10 kPa

UNITÀ B	
Terreni sabbioso-limosi	
Grado di addensamento	Medio-elevato
Peso di volume secco (γ_d)	18-20 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	27°-30°
Coesione mobilizzabile (c)	0-5 kPa

UNITÀ C	
Terreni ghiaiosi in matrice sabbiosa	
Grado di addensamento	elevato
Peso di volume secco (γ_d)	19-21 kN/m ³
Angolo di attrito mobilizzabile (ϕ)	35°-32°
Coesione mobilizzabile (c)	0 kPa

Figura 8 - Caratteristiche meccaniche delle unità attraversate

Ai fini dei calcoli effettuati, quindi, è stata considerata la seguente stratigrafia:

Da 0 m a 1.0m – Terreno di riporto

Da 1.0m a 17m – Terreni sabbiosi – limosi – Unità B

Oltre 17 m – Terreni ghiaiosi in matrice sabbiosa – Unità C

5. ANALISI STRUTTURALE

5.1 Verifiche di resistenza

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le verifiche si basano sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considera una famiglia di combinazioni (indicata come A1-M1) generate con le seguenti modalità:

- caso A1-M1: in questo tipo di combinazioni vengono incrementati le azioni permanenti e variabili con i coefficienti (γ_G, γ_Q) e vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno. Le combinazioni ottenute sono rilevanti per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno.

M1	$\tan\phi'$	\rightarrow	$\gamma_{\phi'} = 1,00$	c_u	\rightarrow	$\gamma_{cu} = 1,00$
	c'	\rightarrow	$\gamma_{c'} = 1,00$	$\gamma =$	\rightarrow	$\gamma_{\gamma} = 1,00$

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato ai paragrafi 5.2.3.1.3. e 5.2.3.3. del *D.M.17/01/18*.

5.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

5.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t \leq \frac{f_{ctk}}{\gamma_m}$$

- stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

5.2.2 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, ai fini della valutazione della durabilità delle strutture in calcestruzzo, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

CONDIZIONI AMBIENTALI	DESCRIZIONE
Ordinarie	Tutte le sollecitazioni escluse le successive
Aggressive	Ambiente aggressivo per cause naturali, caratterizzato da elevata umidità, scarso o nullo soleggiamento.
Molto aggressive	Ambiente molto aggressivo per cause antropiche, caratterizzato da presenza di liquidi o di aeriformi particolarmente corrosivi, ambiente marino.

La tabella 4.1.III della N.T.C. raccoglie le classi di esposizione per ogni condizione ambientale:

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie per quanto riguarda la soletta di fondo, XC2 ed a condizioni aggressive per quanto riguarda piedritti e soletta superiore, XC4-XD1-XF1.

5.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili
- armature poco sensibili

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso (con stato tensionale imposto). Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Le armature dello scatolare, oggetto della relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili.

5.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

w_1 , w_2 , w_3 sono definiti al § 4.1.2.2.4, il valore w_k è definito al § 4.1.2.2.4.5.

Le armature dello scatolare, oggetto della presente relazione, appartengono al gruppo delle armature poco sensibili e si trovano in condizioni ambientali aggressive per quanto riguarda i piedritti e la soletta superiore e in condizioni ordinarie per quanto riguarda le solette di fondo.

Per la verifica dello stato limite di fessurazione si fa quindi riferimento ai limiti di apertura delle fessure w_2 e w_1 , rispettivamente pari a 0.3 e 0.2 mm per le azioni frequenti e quasi permanenti in condizioni aggressive.

Si fa invece riferimento ai limiti di apertura delle fessure w_3 e w_2 , rispettivamente pari a 0.4 e 0.3 mm per le azioni frequenti e quasi permanenti in condizioni ordinarie.

5.3 Verifiche per sollecitazioni che provocano tensioni normali

Stato limite di decompressione e di formazione delle fessure

Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w_1 , w_2 , w_3 secondo quanto riportato nella Tabella riportata in precedenza.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$$w_d = 1,7 \cdot w_m$$

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure (w_m) è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{sm} può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \leq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con σ_s tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed E_s è il modulo elastico dell'acciaio.

5.4 Verifiche delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni rare e quasi permanenti delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel conglomerato cementizio sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Verifica della tensione massima di compressione del conglomerato cementizio nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del conglomerato cementizio σ_c deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c \leq 0,6 f_{ck} \text{ per la combinazione caratteristica (rara)}$$

$$\sigma_c \leq 0,45 f_{ck} \text{ per la combinazione quasi permanente}$$

Verifica della tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio

Per l'acciaio, la tensione massima, σ_s , per effetto delle azioni dovute alle combinazioni rare deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s \leq 0.8 \cdot f_{yk}$$

dove f_{yk} è la tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio.

6. CARICHI CONSIDERATI NEL MODELLO

6.1 carichi applicati

Le condizioni di carico inseriti nei modelli sono:

1. Peso proprio delle strutture
2. Carico accidentale a tergo delle strutture
3. Sisma orizzontale.

6.1.1 Peso proprio strutture

Il peso proprio delle strutture viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo.

6.1.2 Carichi mobili stradali

Le azioni variabili del traffico a tergo delle strutture di sostegno vengono considerate pari ad un carico distribuito di 20 kN/mq applicato per la larghezza della carreggiata di riferimento di progetto.

6.1.3 Input sismici

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva

invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione 2.

Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: "costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico."

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso e nel caso specifico assume valore pari a 2:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV.

Azioni di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50 esimo percentile ed attribuendo ad:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{100}{\ln(1 - 0.1)} = 949 \text{ anni}$$

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito a_g è espressa in $g/10$; F_0 è adimensionale, T_C^* è espresso in secondi.

L'opera è ubicata in corrispondenza delle seguenti coordinate:

Latitudine = 44.511890 e Longitudine = 11.347574

Categoria di sottosuolo

In base alla natura del terreno e ai parametri individuati, il suolo presente è classificabile in Categoria C.

Da ciò si ricava il parametro $S = S_s \times S_T$ che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, essendo S_s il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T il coefficiente di amplificazione topografica.

Versione NTC

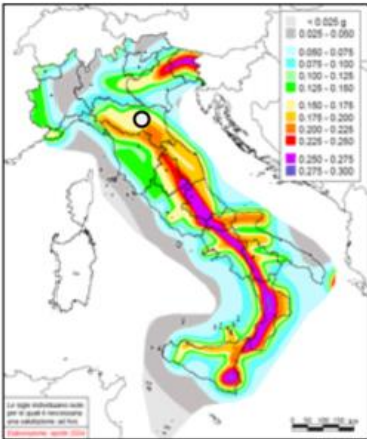
Latitudine Longitudine Somewhere
 44° 30' 42.8" N 11° 20' 51.27" E

Vita nominale (anni) Classe d'uso Cu 1

Stato Limite Cat. Sottosuolo Cat. topografica

Tr (anni)
 ag (g)
 F0
 T*c
 Ss
 St
 Cc
 amax

Calcola



posizione indicativa (mappa INGV)
punti 16730 16731 16952 16953

6.2 Combinazioni di carico

Si riportano di seguito le combinazioni di carico analizzate nelle varie analisi effettuate.






Attivo	Std	Collezione	Nome	Stato Limite	Descrizione	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F.dead.load.unfavour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F.live.load.unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F.live.load.favour)	Carico Sismico (F.seism.load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F.WaterRk)	Pressioni Acqua Lato Valle (F.WaterRk)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F.UPL.GD5tab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F.UPL.G5tab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F.UPL.QD5tab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F.HYP.GD5tab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F.HYP.G5tab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F.HYP.QD5tab)	Deformazione anelastica (F.inelastic.strain)
<input checked="" type="checkbox"/>			Nominal	UNDEFINED		Yc	YQ	YQ	YcE	Yc	Yc	Ycdat	Ycstb	Ycstb	Ycstb	Ycstb	Ycstb	Yp
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SLE (Rara/Frequent)	SERVICE		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A1+M1+R1	ULTIMATE		1.3	1.5	1.5	1	1.3	1.3	1	1	1	1.3	0.9	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A2+M2+R1	ULTIMATE		1	1.3	1.3	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1	1.1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: A2+M2+R2	ULTIMATE		1	1.3	1.3	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1	1.1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SISMICA STR	ULTIMATE		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2018 (ITA)	NTC2018: SISMICA GEO	ULTIMATE		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1	1.1

7. MODELLO E CALCOLO DELLE STRUTTURE

Al fine di verificare la totalità delle strutture, sono state analizzate diverse sezioni di calcolo ed in particolare ad ogni cambio di lunghezza e/o tipologia dei pali laterali con riferimento alle rampe di approccio, nonché in corrispondenza della sezione del sottopasso laddove si incontrano ricoprimenti maggiori.

Per quanto riguarda le opere di sostegno sia definitive (pali del diametro 920mm) che provvisori (micropali) sono state verificate utilizzando modelli piani per mezzo dell'ausilio del programma PARATIE PLUS. Di seguito viene riportata un'immagine delle sezioni di verifica, nonché il modello di calcolo con le relative sollecitazioni per ogni sezione di verifica.

Nelle elaborazioni che seguono, oltre ad essere riportati i grafici relativi a ciascuno stage di ribasso, posa puntoni (puntoni provvisori o soletta di copertura) e applicazione dei carichi finali, in funzione delle singole combinazioni dei carichi, vengono riportati i seguenti diagrammi:

-  Deformata in condizioni SLE;
-  Involuppo Momento Flettente;
-  Involuppo Taglio;
-  Diagramma di sfruttamento – Verifica a momento;
-  Diagramma di sfruttamento – Verifica a Taglio.

Le sezioni trasversali delle paratie che sono state utilizzate sono riportate nelle immagini che seguono.

Nome: MICROPALI 220mm

Inerzia Equivalente: 0.0001 m⁴/m

Area Equivalente: 0.025140794903445 m²/m

Mat. omogeneizzazione: S275

Da utilizzare per:

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

Geometria e materiali

Sezione personalizzata

Materiale: Inerzia: m⁴/m Area: m²/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C28/35

Spessore: Ct 0.6 m

Diametro: Cd 0.22 m

Passo: Cs 0.4 m

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

Acciaio

Materiale: S275

Profilo: CHS168.3*10

Diametro: Sod 0.1683 m

Spessore: Sot 0.01 m

Palancole

Profilo: Catalogo Palancole

Materiale: S275

Tipo: β_s 1

Peso per superficie unitaria di parete: 0 kN/m² β_D 1

Anteprima

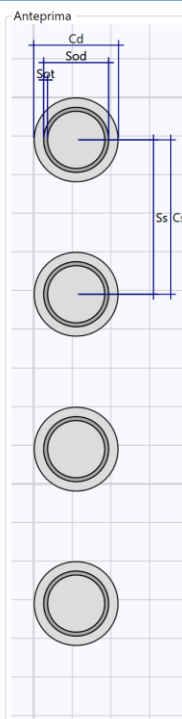


Figura 9 - Sezioni Micropali

Nome: PALI

Inerzia Equivalente: 0.0382 m⁴/m

Area Equivalente: 0.722566310325652 m²/m

Mat. omogeneizzazione: C32/40

Da utilizzare per:

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

Geometria e materiali

Sezione personalizzata

Materiale: C28/35 Inerzia: m⁴/m Area: m²/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C32/40

Spessore: Ct 0.6 m

Diametro: Cd 0.92 m

Passo: Cs 0.92 m

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

Acciaio

Materiale: Fe510

Profilo: Passo Ss 0.92 m

Anteprima

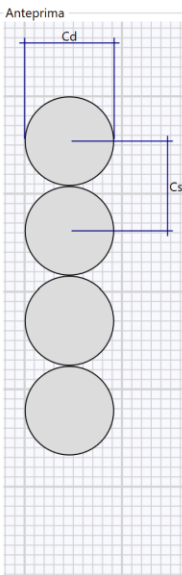


Figura 10 - Sezione Pali

Per quanto riguarda le armature utilizzate nei pali e nelle verifiche di sfruttamento dei materiali che sono state condotte, le stesse sono state introdotte singolarmente caso per caso in funzione delle necessità di resistenza desiderata.

7.1 SEZIONE IN CORRISPONDENZA DEL SOTTOPASSO

Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso $z = -1.5\text{m}$
Fase3	Installazione vincolo (soletta copertura) $z = -1.5\text{m}$
Fase4	Fase secondo ribasso $z = -7.8\text{m}$
Fase5	Installazione vincolo (soletta di fondazione) $z = -7.3\text{m}$
Fase6	Applicazione mobili e sisma

Materiale armature B450C

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore 0 m

Lunghezza della gabbia 23 m

Quota inferiore -23 m

Armature longitudinali

Layer < 1 / 1 >

Diametro $\phi 24$

Numero per elemento 20

Copriferro asse barra 0.074 m

Armature a taglio

Armatura a taglio < 1 / 1 >

Strato armatura a taglio

Quota superiore 0 m

Lunghezza tratto armato a taglio 23 m

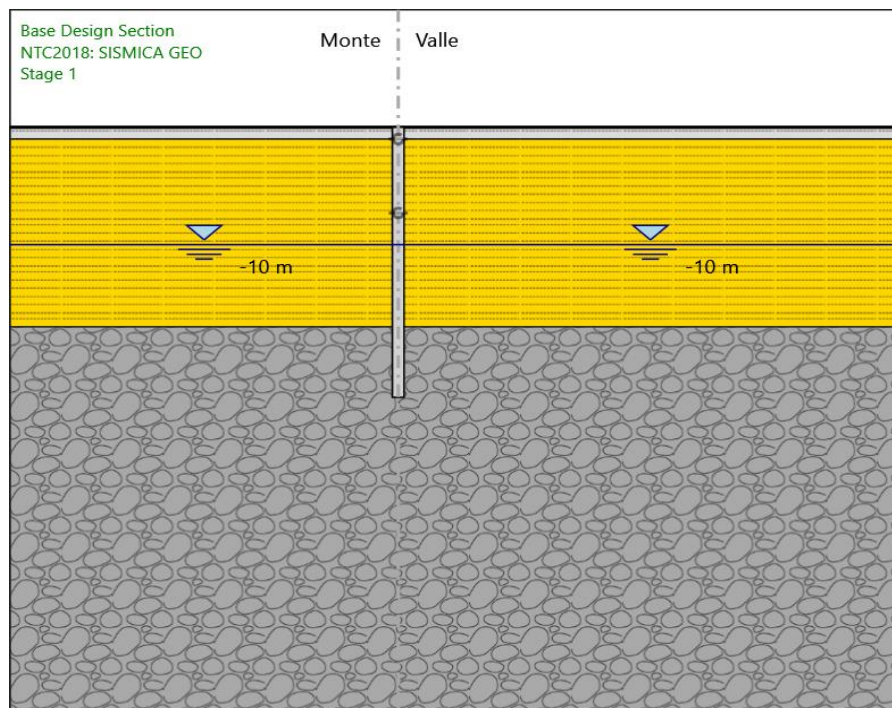
Quota inferiore -23 m

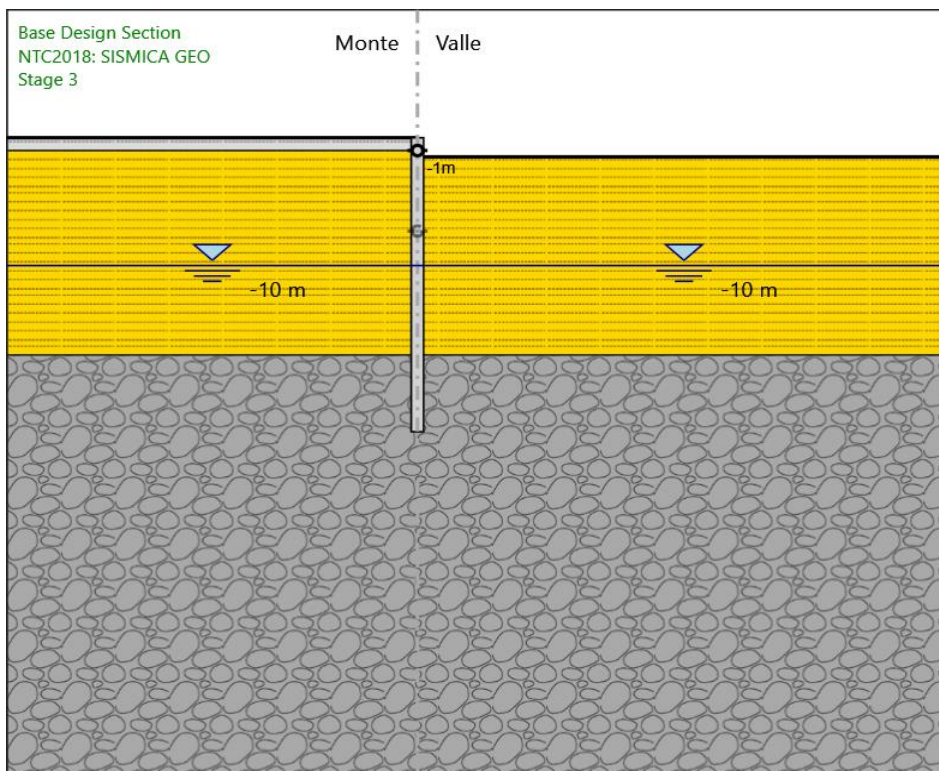
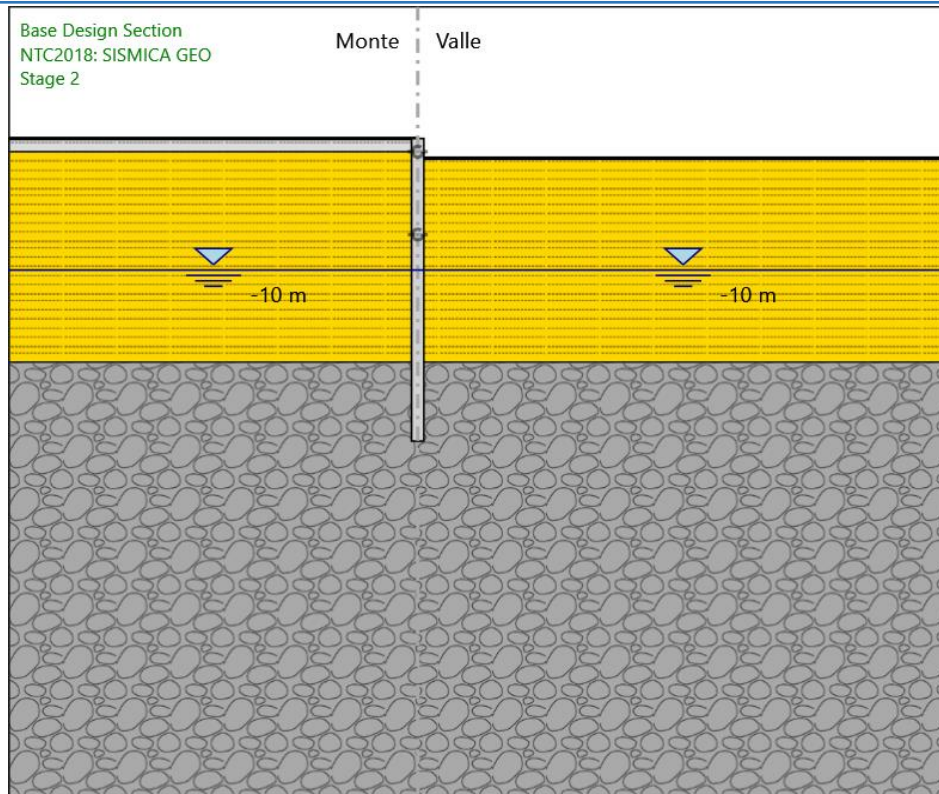
Passo 0.25 m

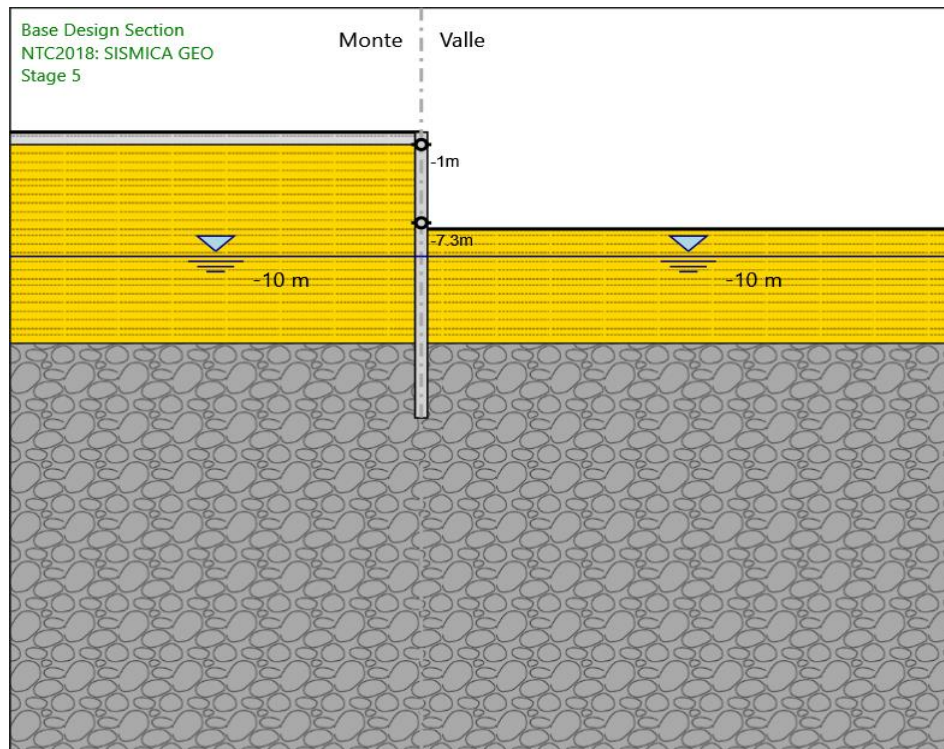
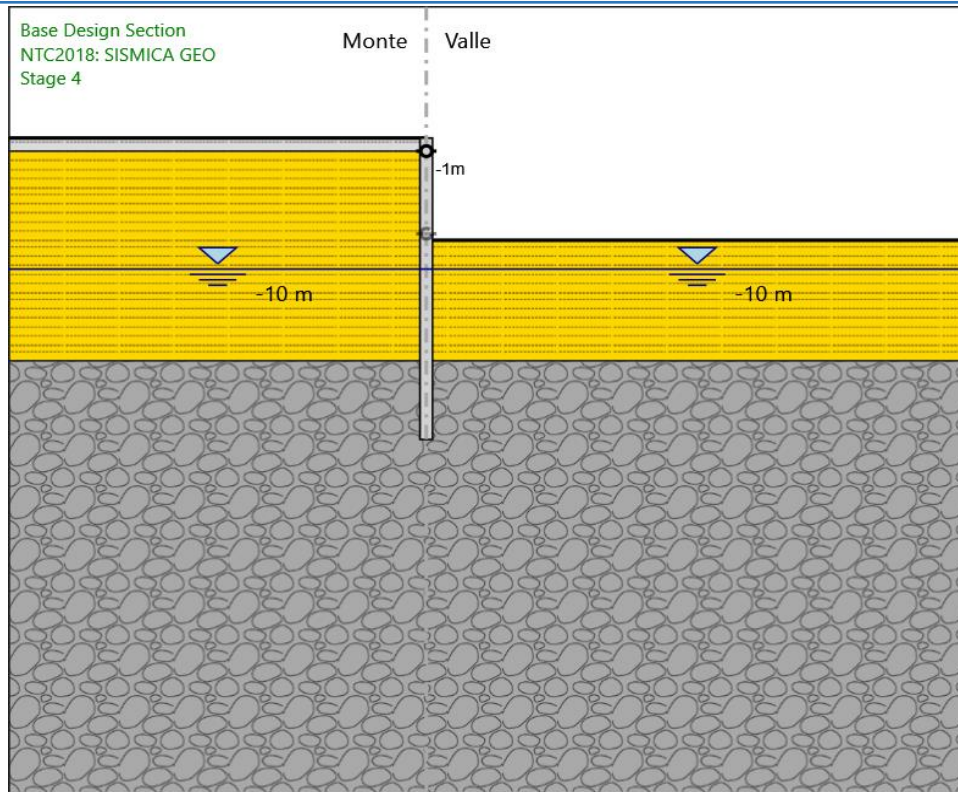
Diametro $\phi 12$

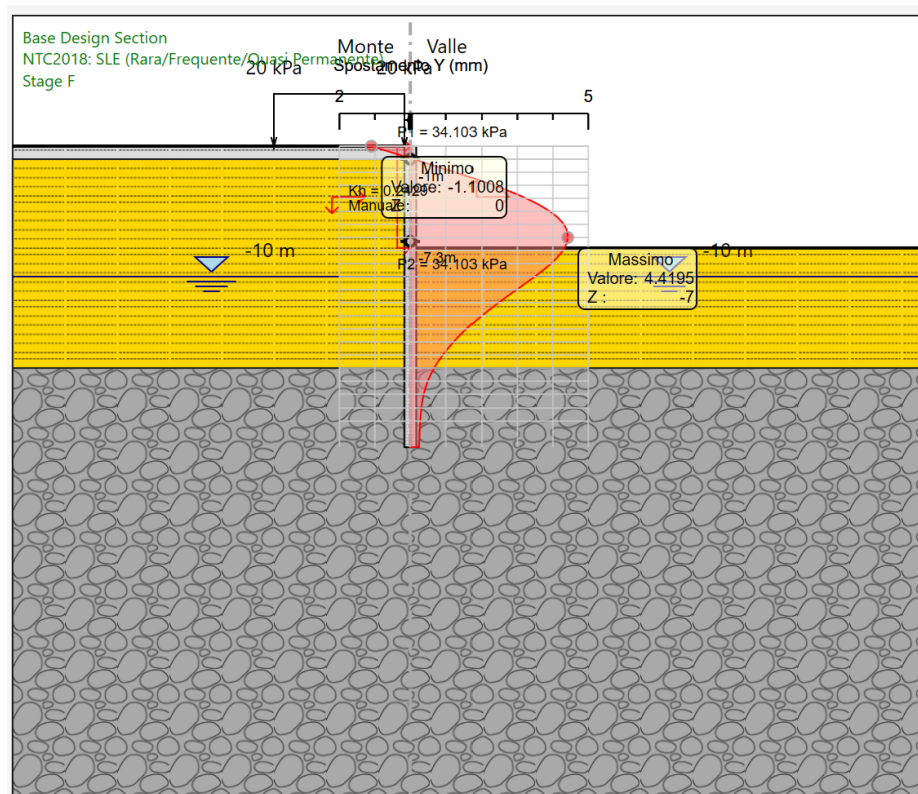
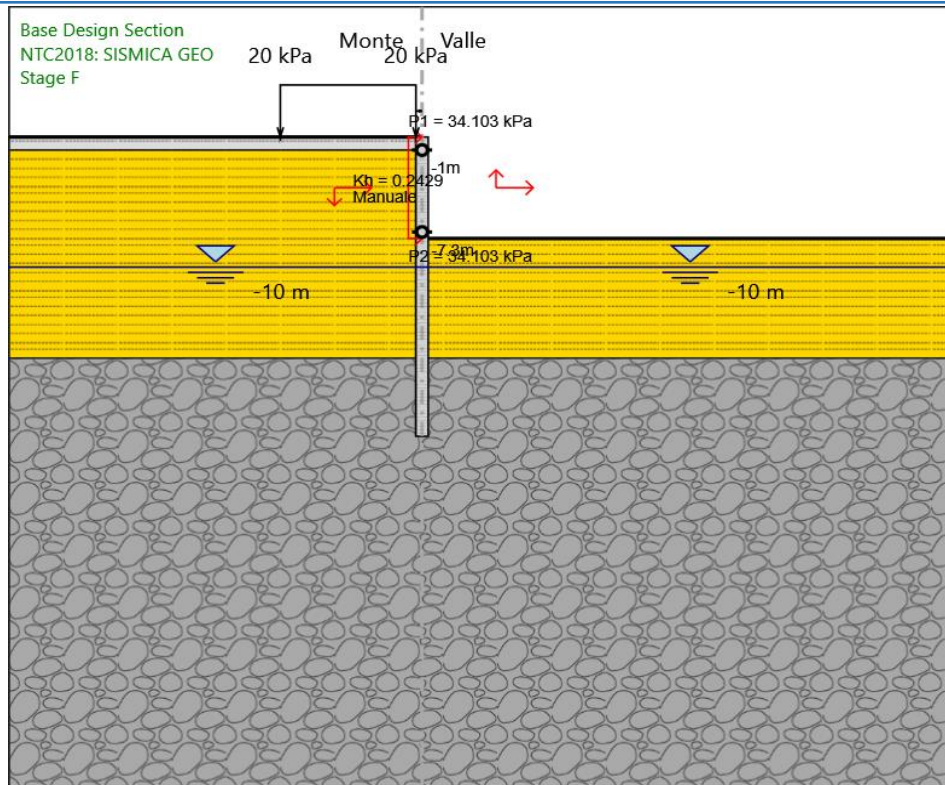
Numero di bracci 2

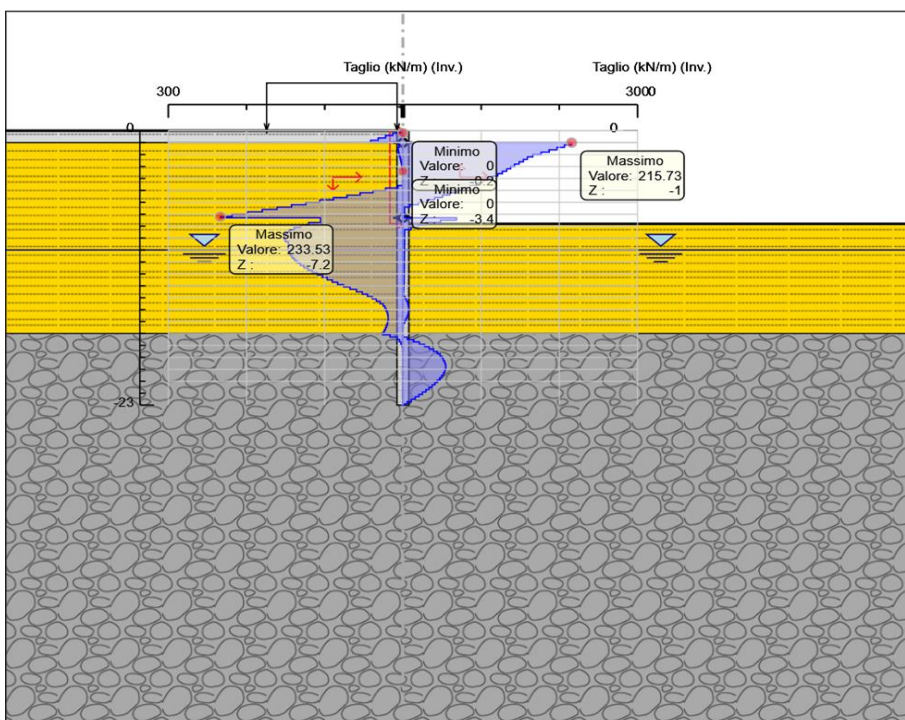
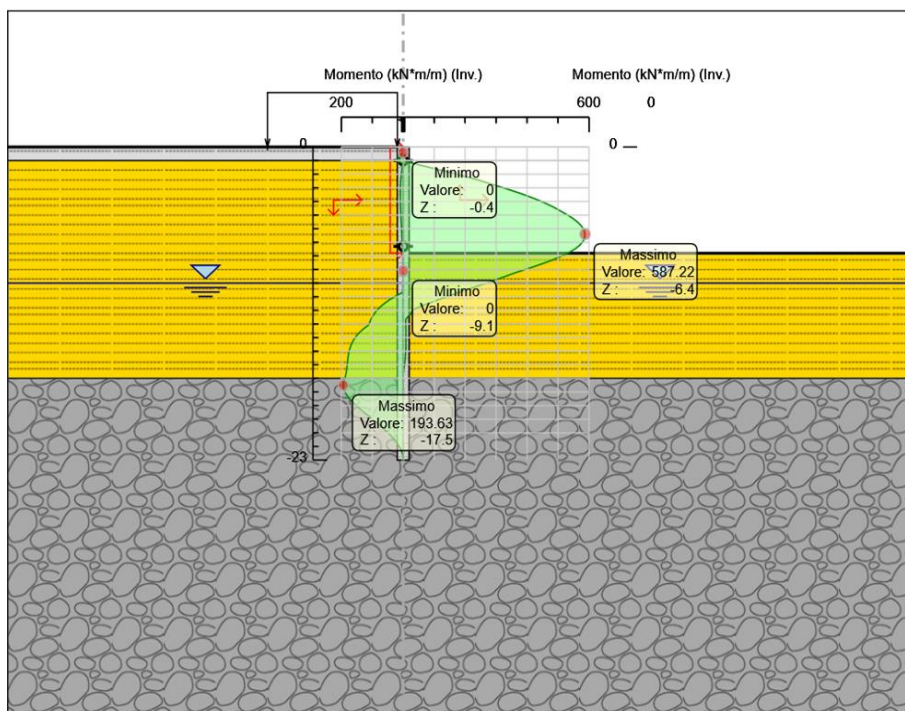
Copriferro netto 0.05 m

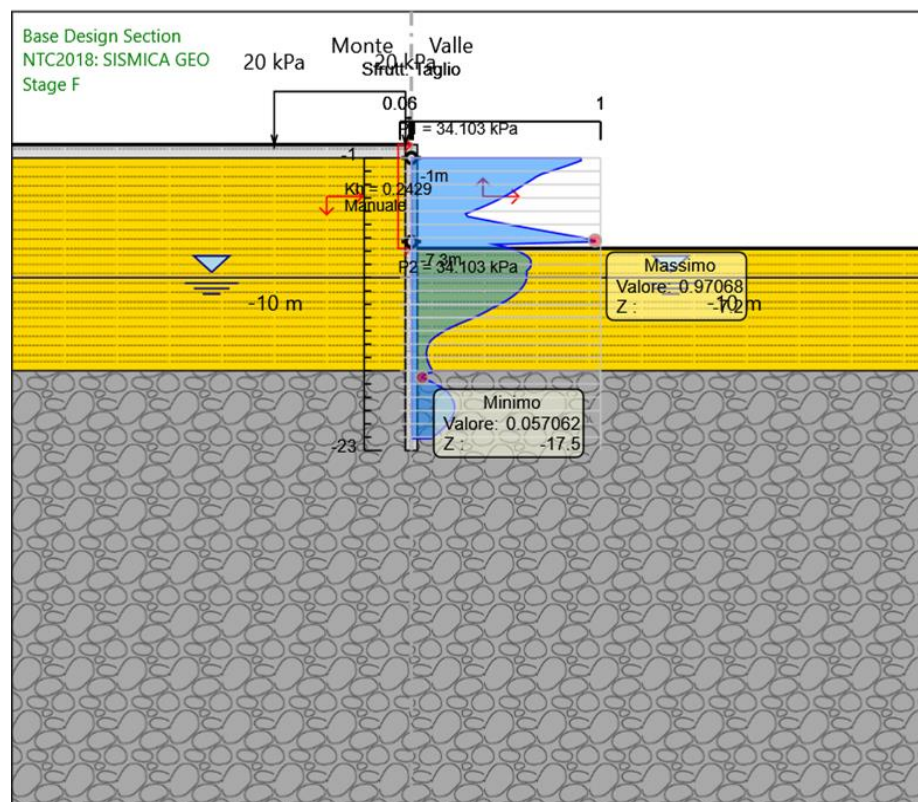
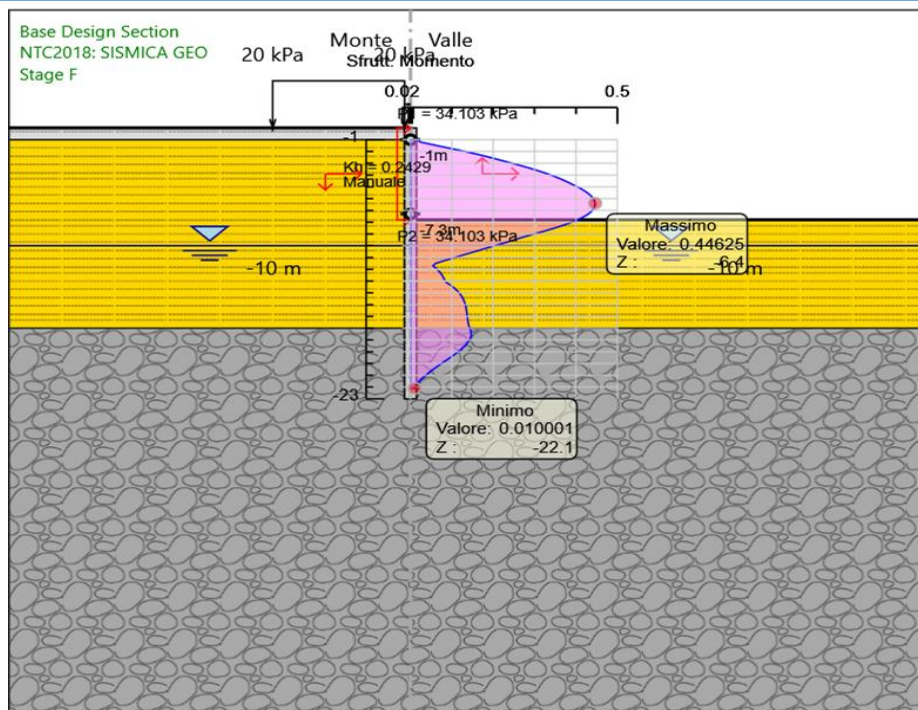












7.2 SEZIONE IN CORRISPONDENZA DEL SOTTOPASSO – ZONA VASCA DI RACCOLTA ACQUE

Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso $z = -1.5\text{m}$
Fase3	Installazione vincolo (soletta copertura) $z = -1.5\text{m}$
Fase4	Fase secondo ribasso $z = -12.0\text{m}$
Fase5	Installazione vincolo (soletta di fondazione) $z = -12.0\text{m}$
Fase6	Applicazione mobili e sisma

Materiale armature B450C

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore 0 m

Lunghezza della gabbia 28 m

Quota inferiore -28 m

Armature longitudinali

Layer < 1 / 1 >

Diametro $\phi 30$

Numero per elemento 28

Copriferro asse barra 0.081 m

Armature a taglio

Strato armatura a taglio < 1 / 1 >

Quota superiore 0 m

Lunghezza tratto armato a taglio 28 m

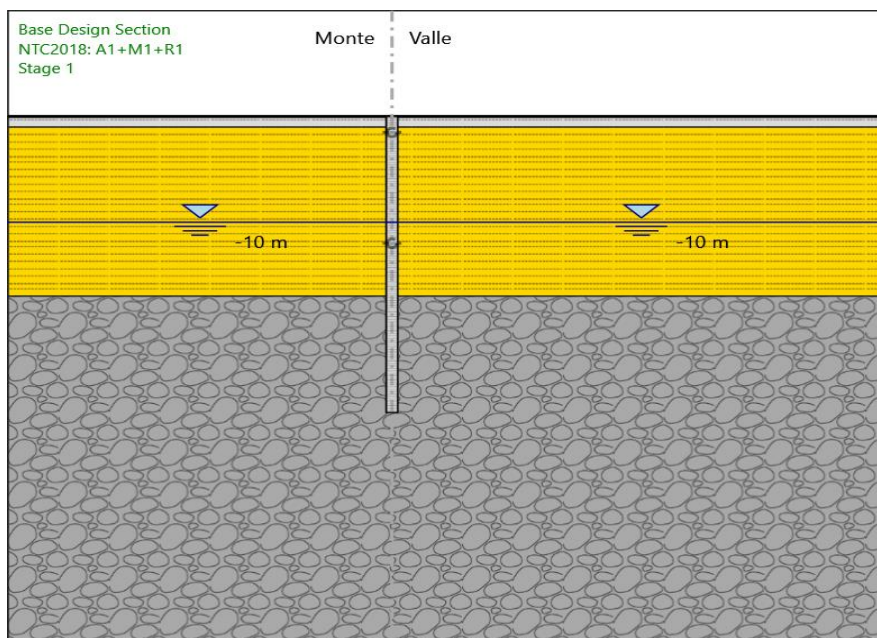
Quota inferiore -28 m

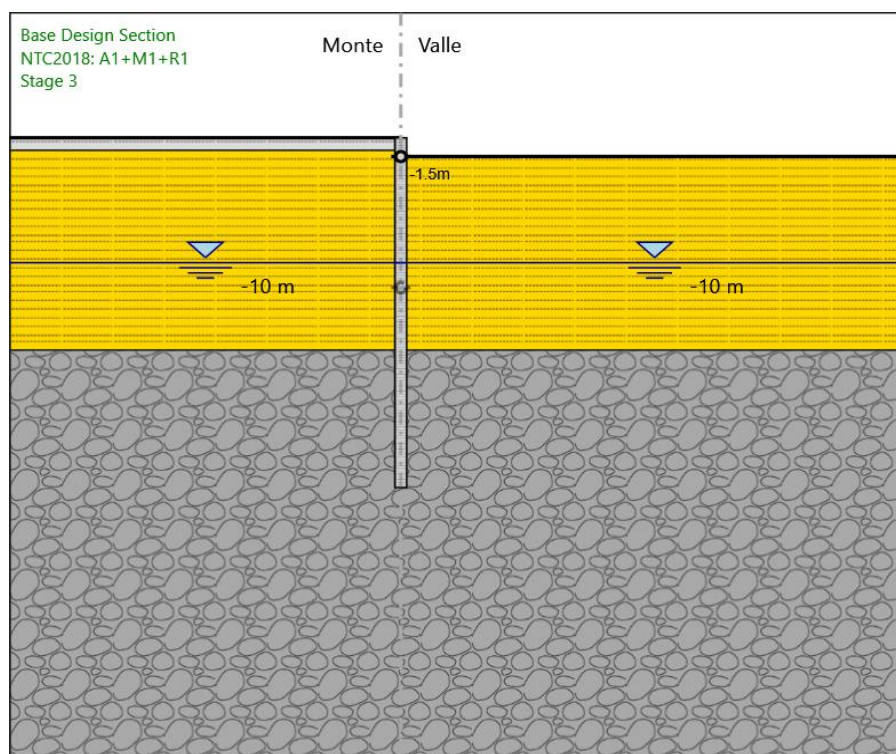
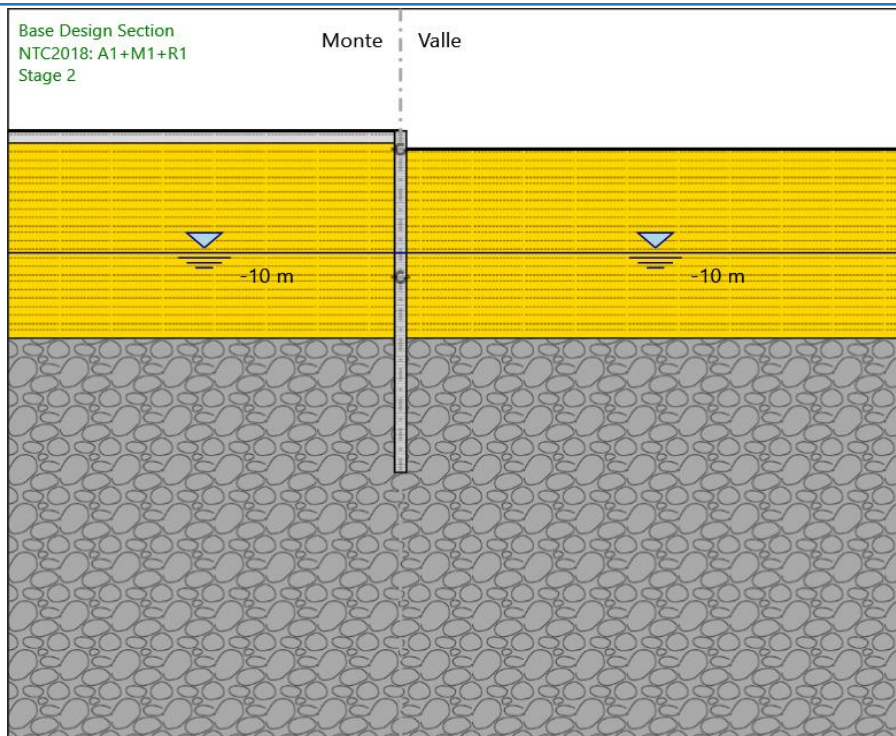
Passo 0.15 m

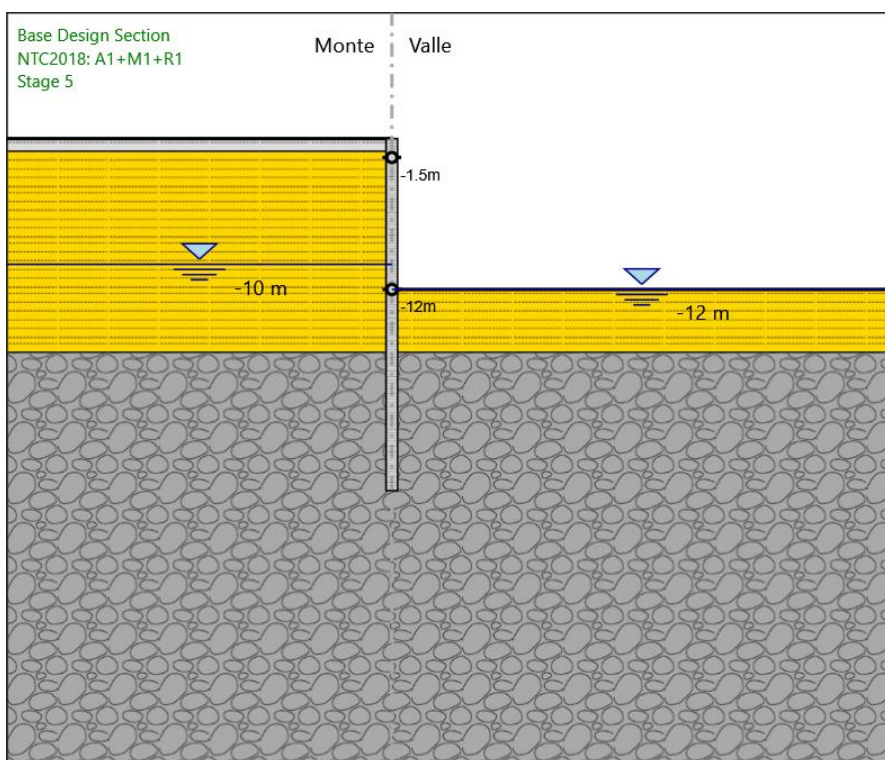
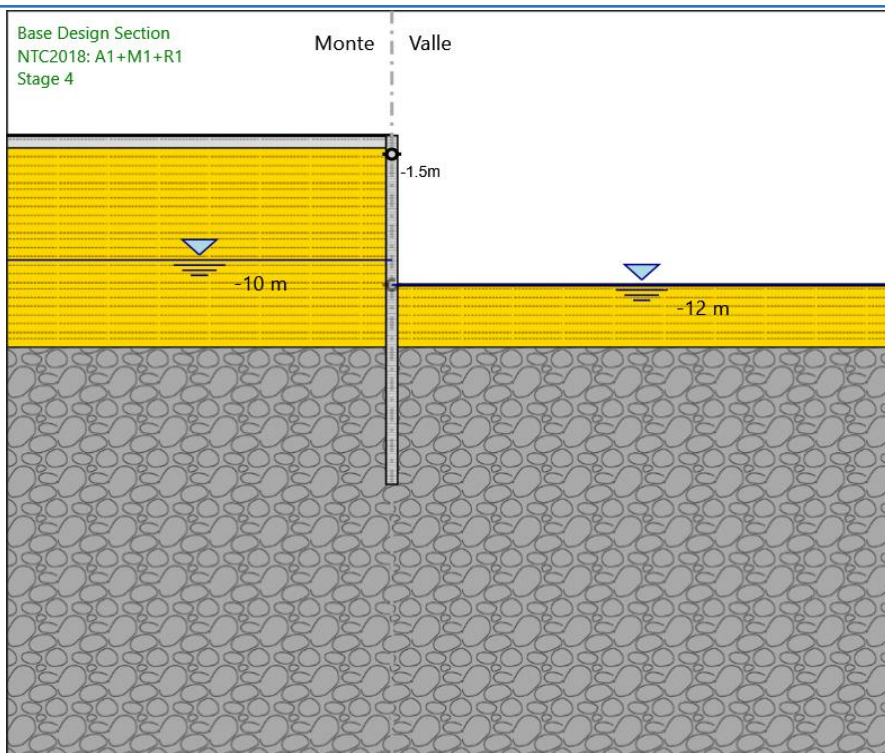
Diametro $\phi 16$

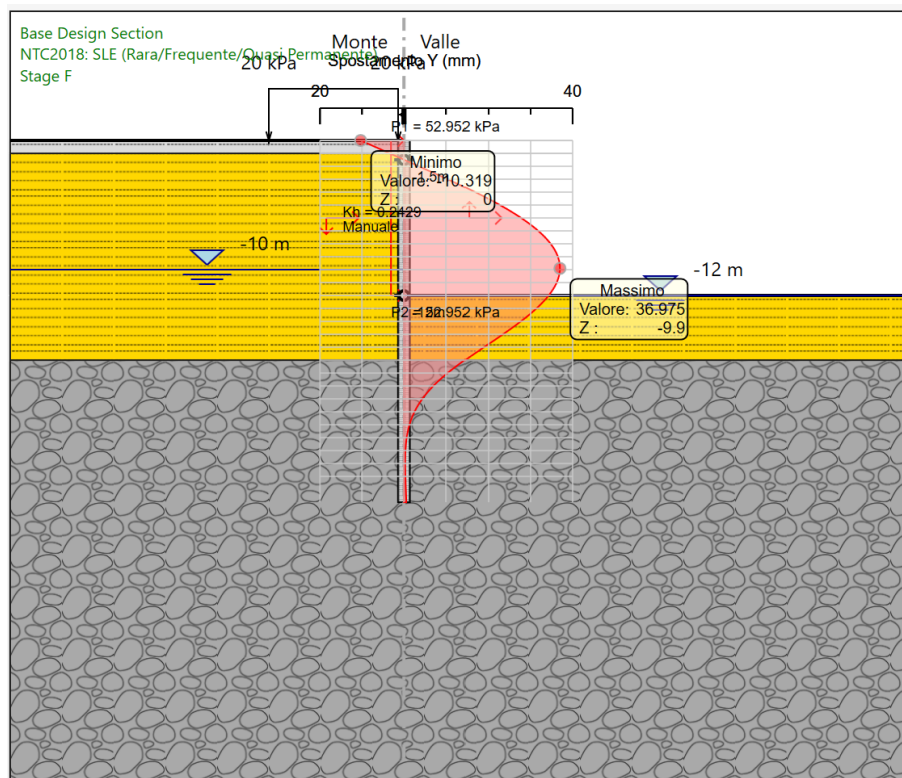
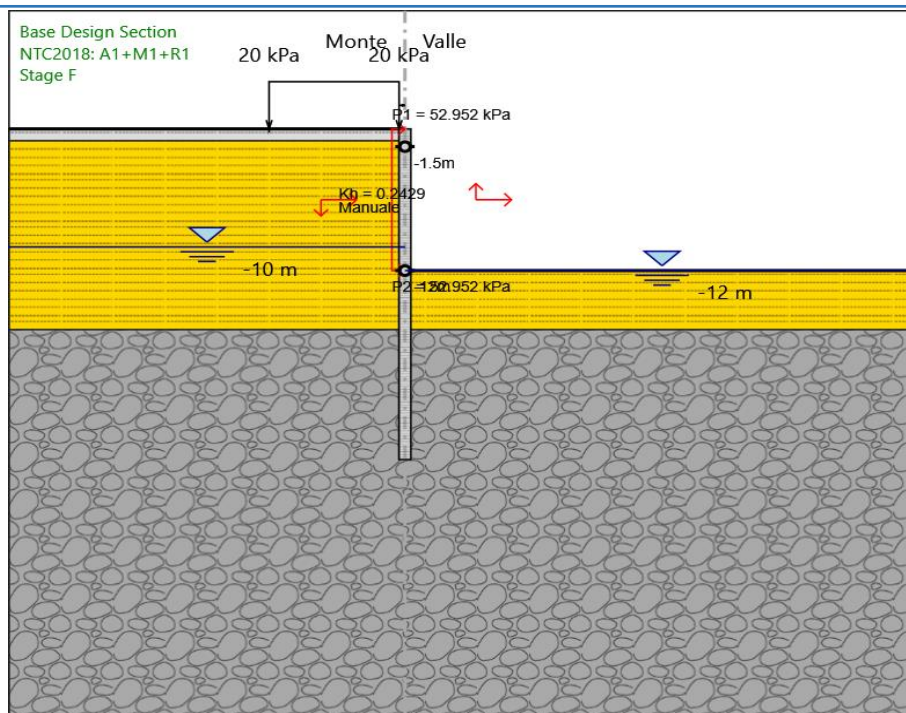
Numero di bracci 2

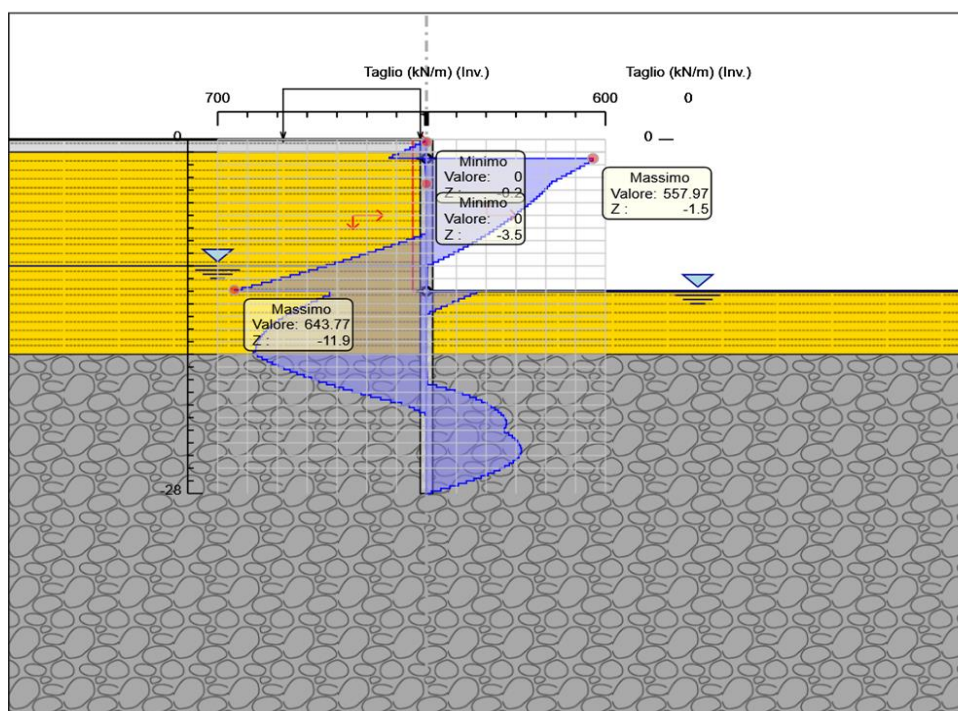
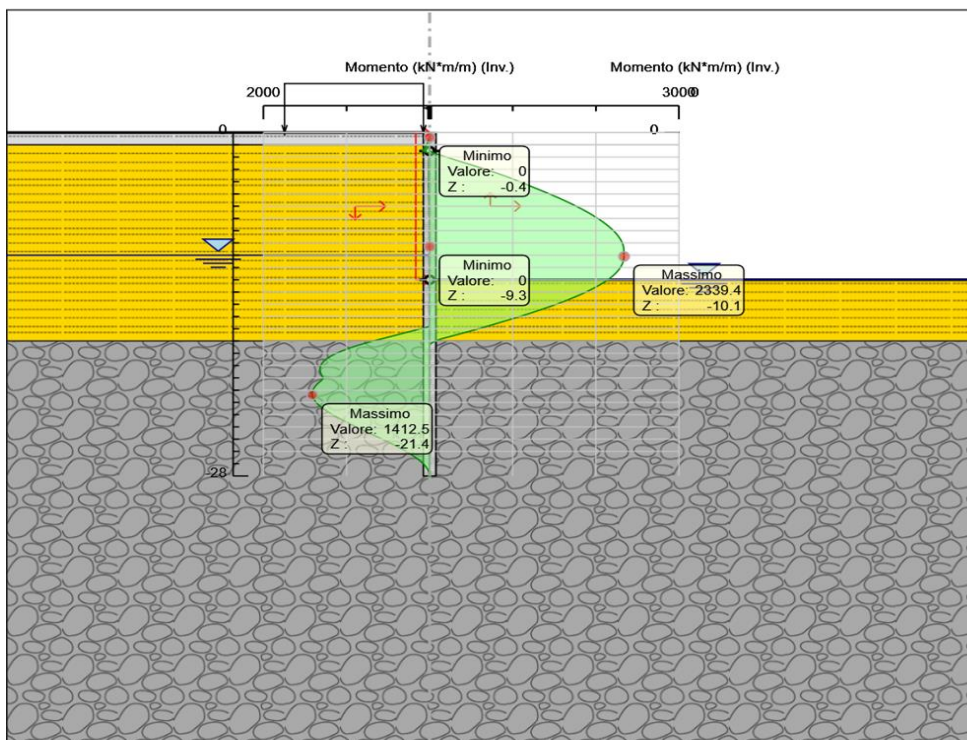
Copriferro netto 0.05 m

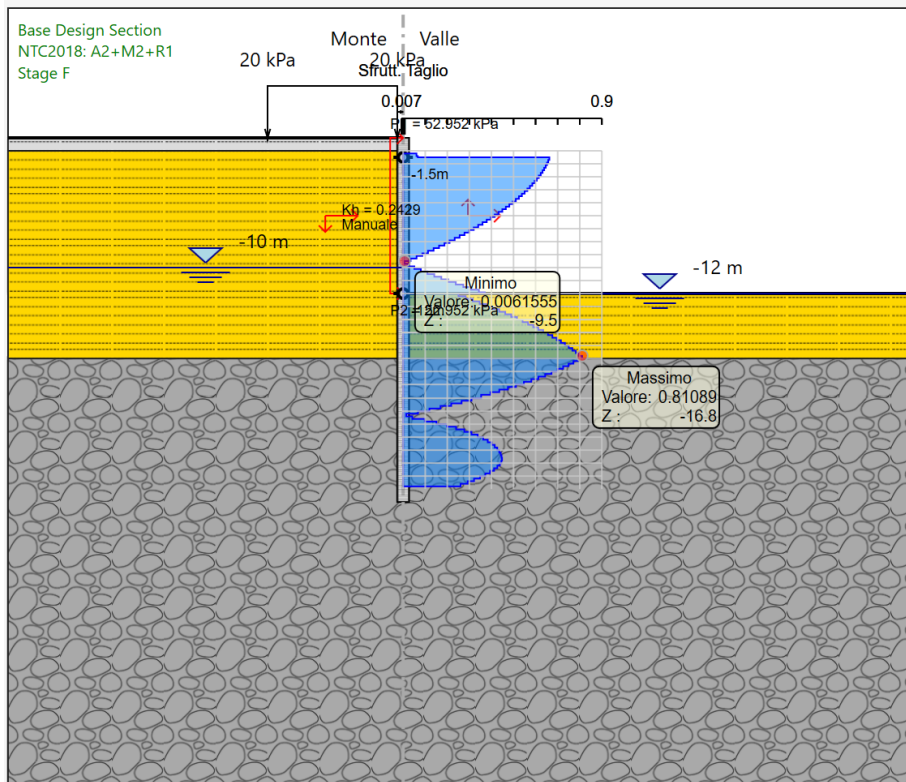
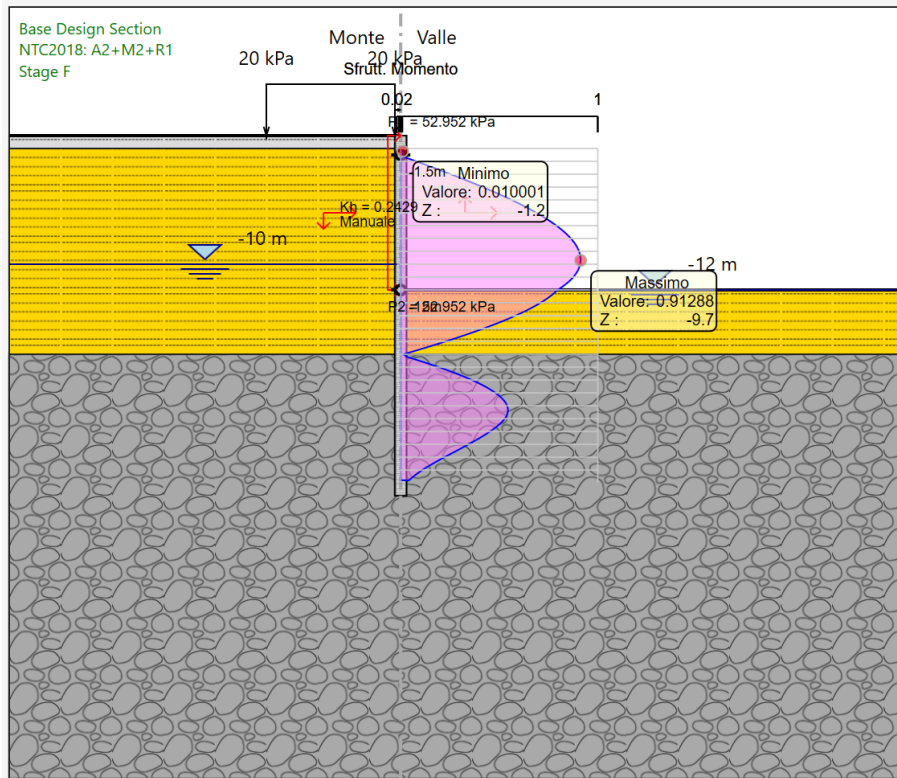












7.3 SEZIONE TRINCEA H_PALI = 20M

Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso z = -1.5m
Fase3	Installazione vincolo (Puntoni provvisori) z = -1.0m
Fase4	Fase secondo ribasso z = -7.5m
Fase5	Installazione vincolo (soletta di fondazione) z = -7.0m
Fase6	Rimozione vincolo (Puntoni provvisori) Z = -1.0m
Fase7	Applicazione mobili e sisma

Materiale armature B450C

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore 0 m

Lunghezza della gabbia 20 m

Quota inferiore -20 m

Armature longitudinali

Layer < 1 / 1 >

Diametro Ø22

Numero per elemento 26

Copriferro asse barra 0.077 m

Armature a taglio

Strato armatura a taglio < 1 / 1 >

Quota superiore 0 m

Lunghezza tratto armato a taglio 20 m

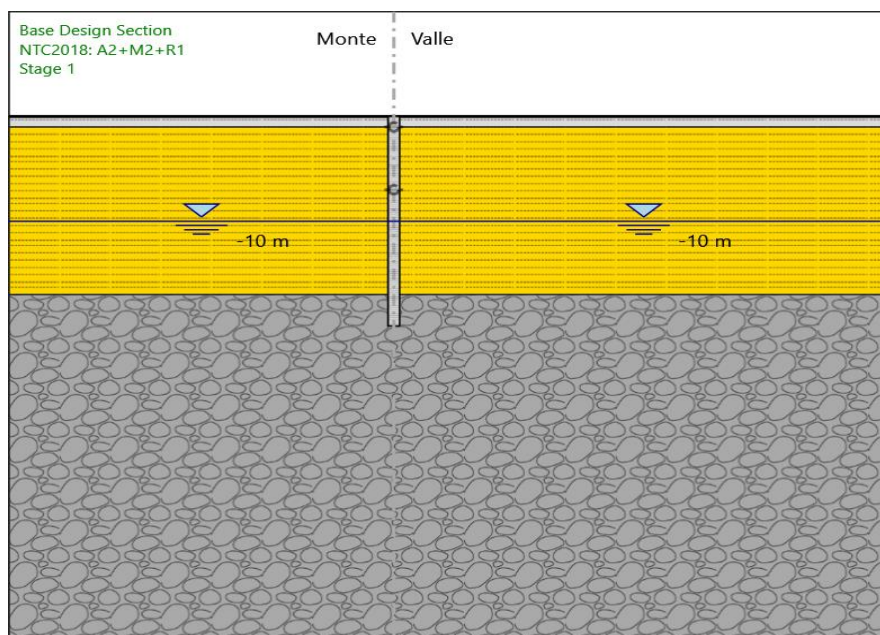
Quota inferiore -20 m

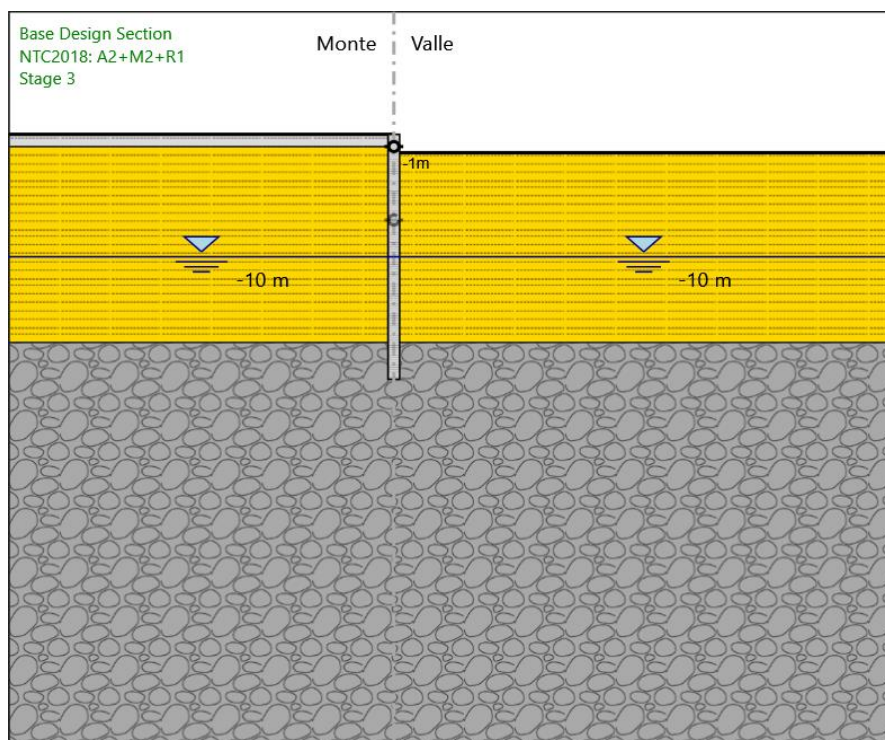
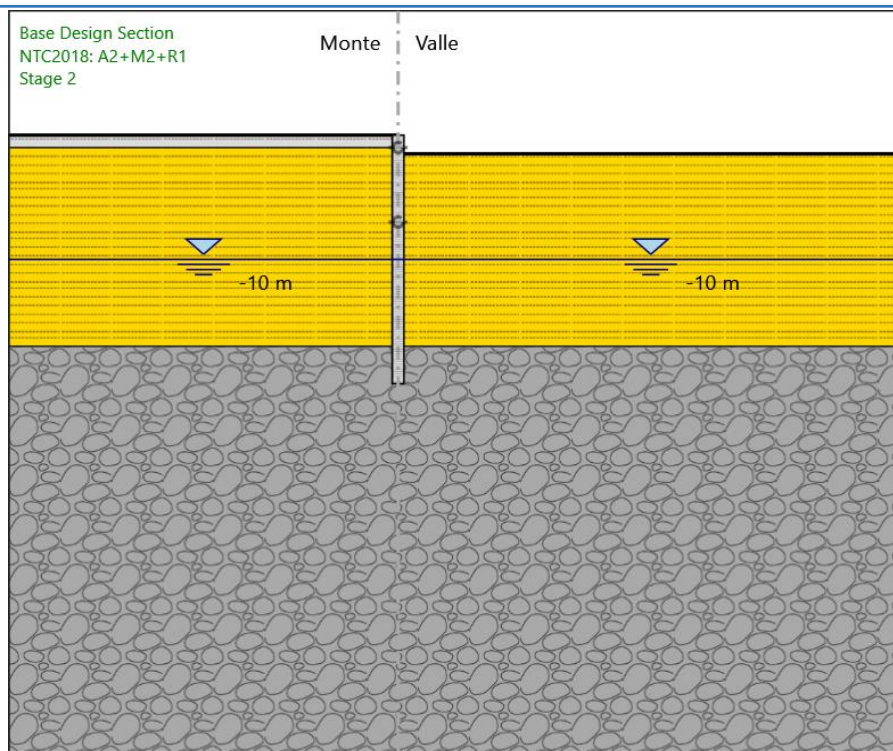
Passo 0.2 m

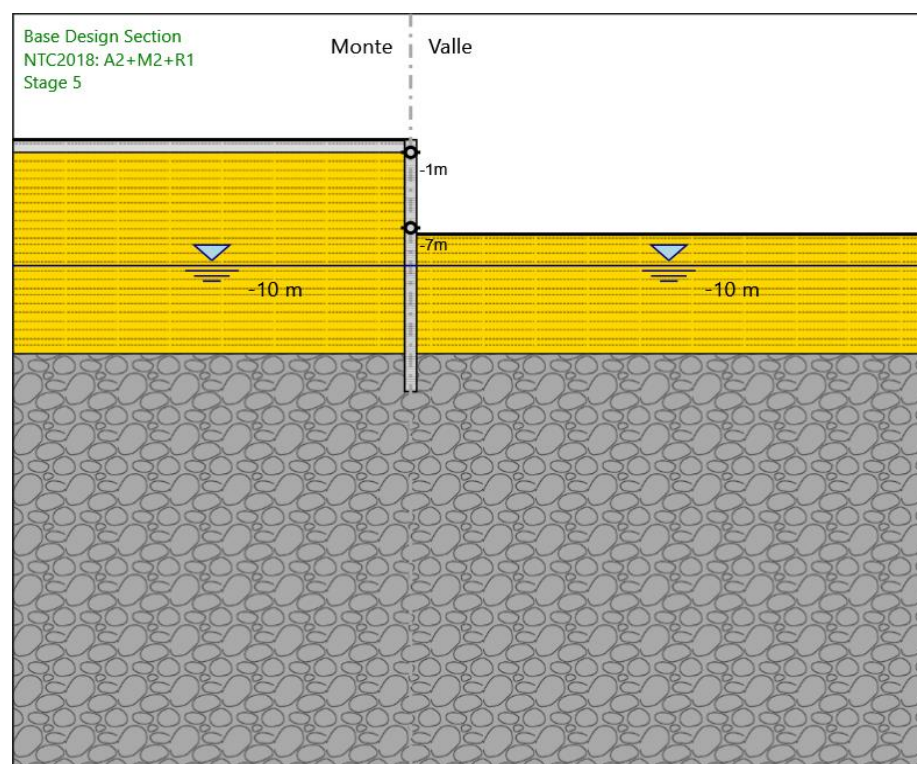
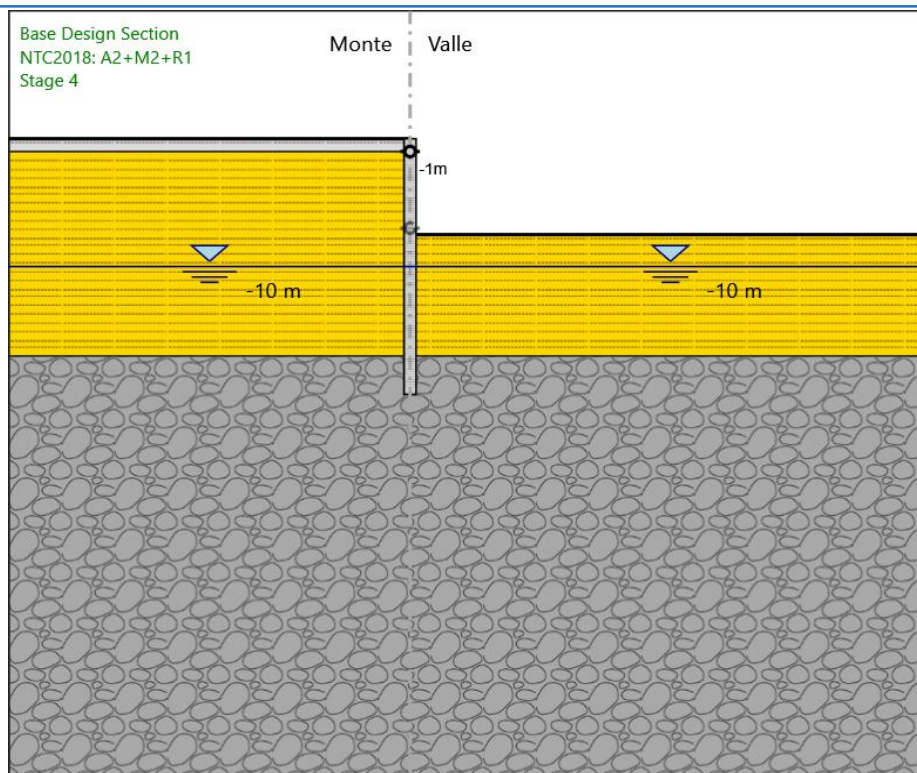
Diametro Ø16

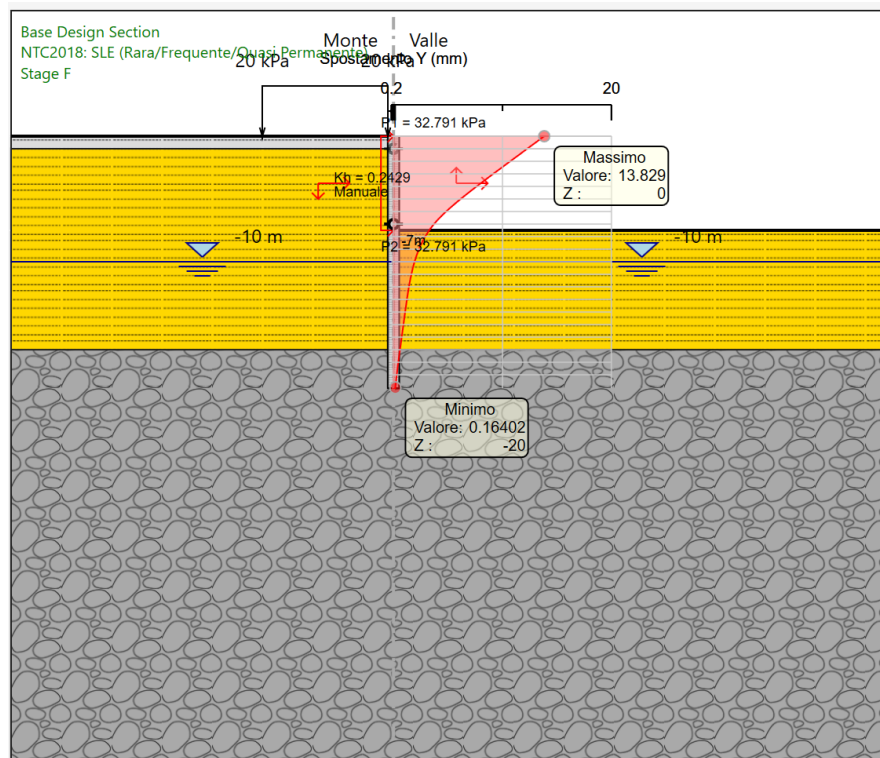
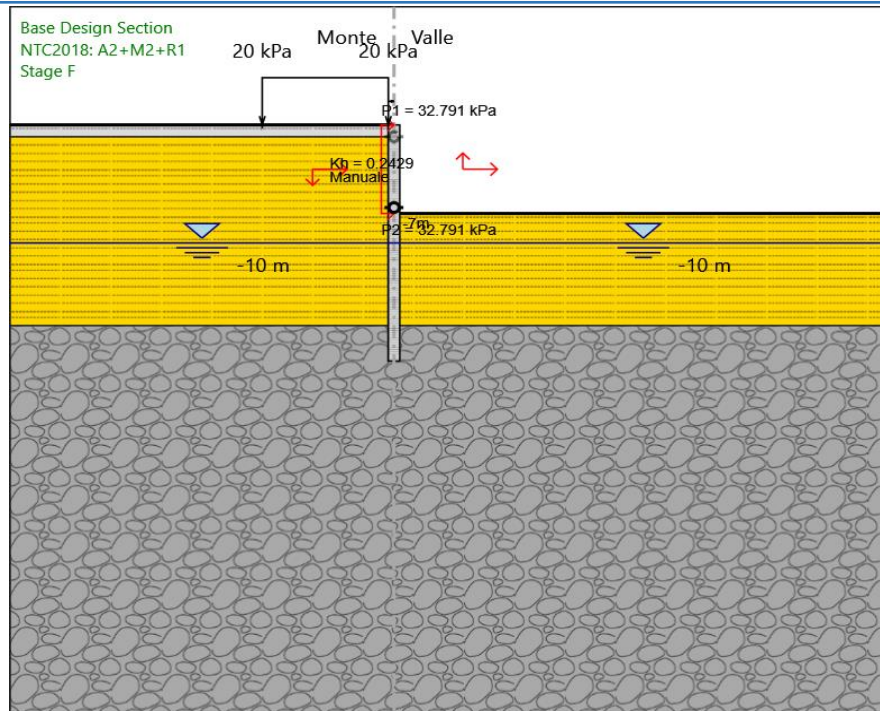
Numero di bracci 2

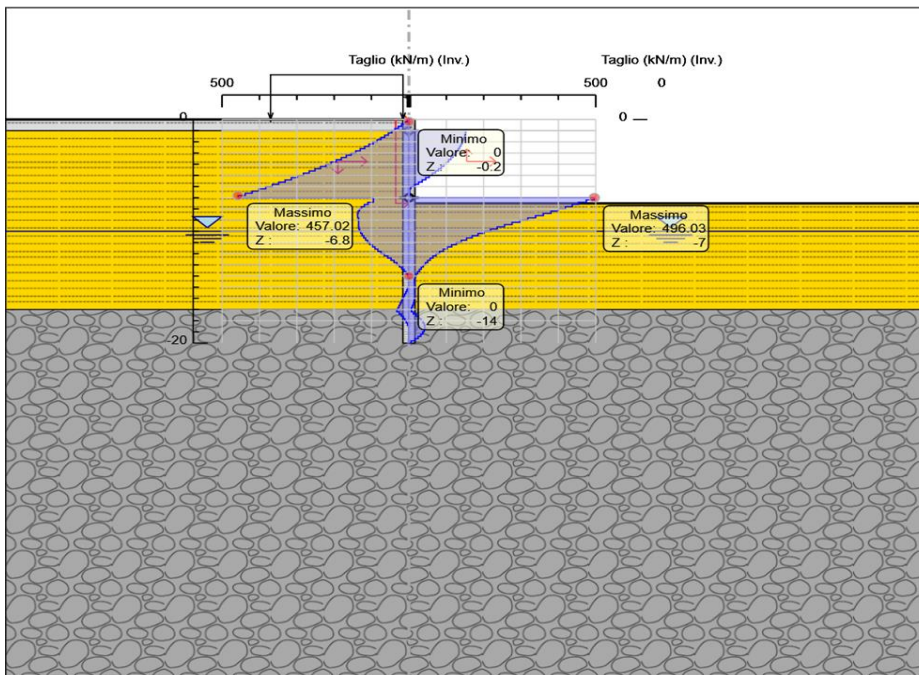
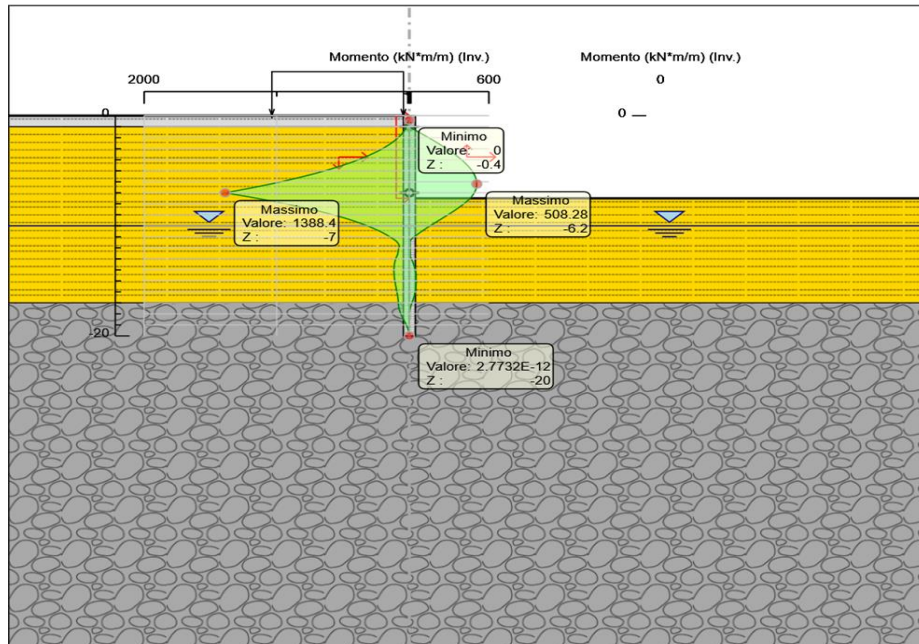
Copriferro netto 0.05 m

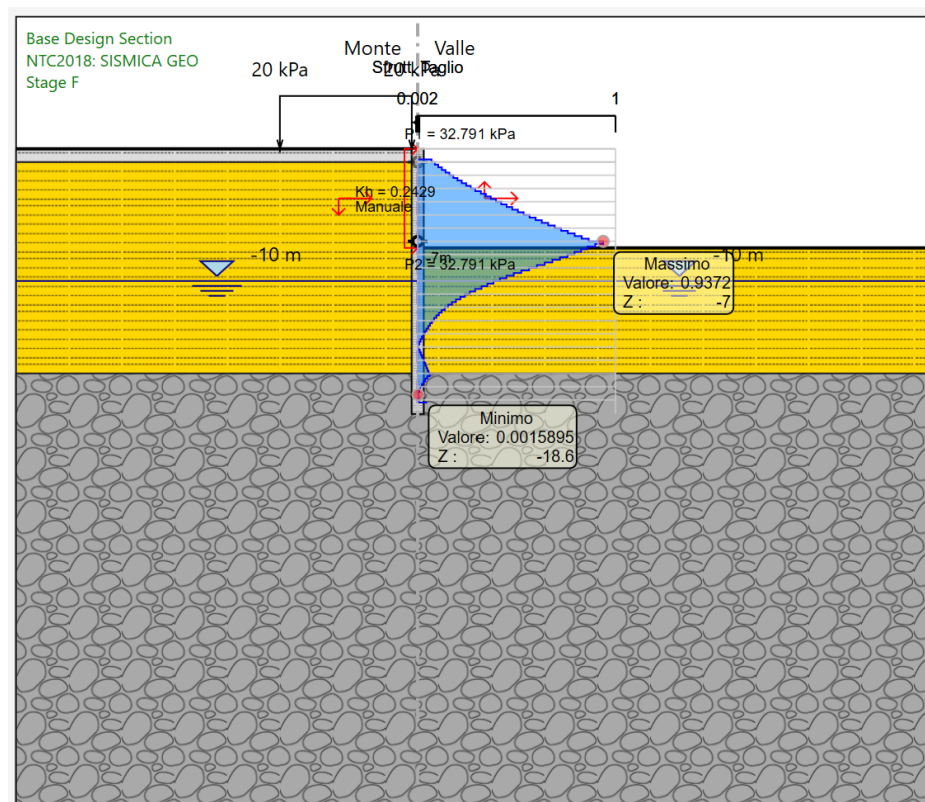
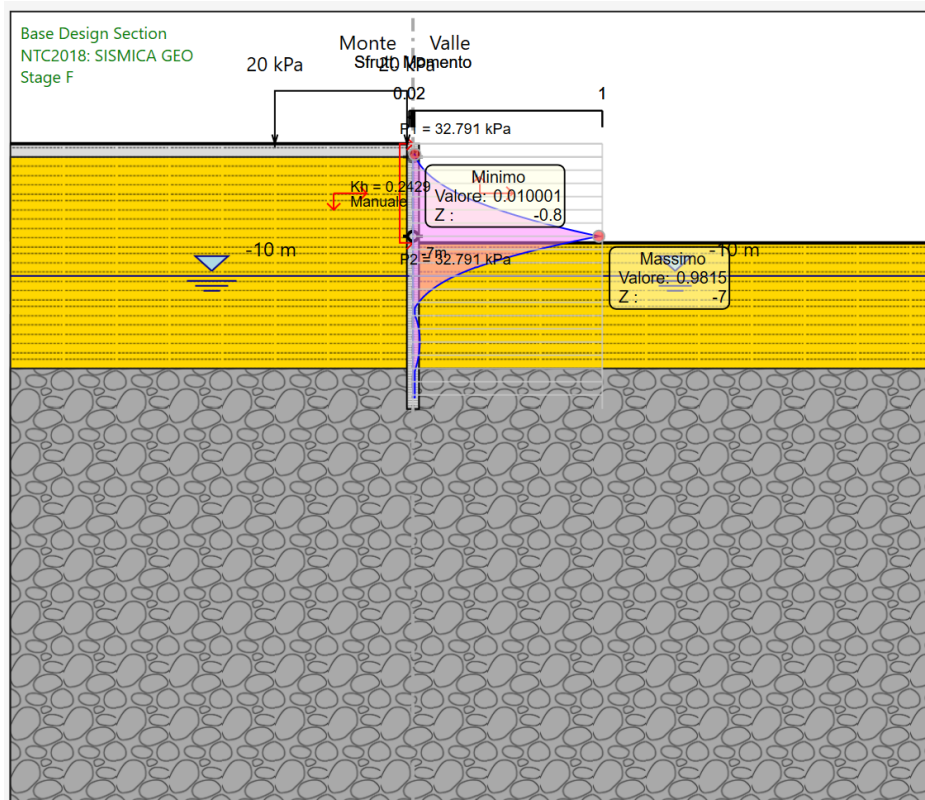












7.4 SEZIONE TRINCEA H_PALI = 17M

Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso z = -6.2m
Fase3	Installazione vincolo (soletta di fondazione) z = -5.7m
Fase4	Applicazione mobili e sisma

Materiale armature B450C

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore 0 m

Lunghezza della gabbia 17 m

Quota inferiore -17 m

Armature longitudinali

Layer < 1 / 1 >

Diametro ø22

Numero per elemento 20

Copriferro asse barra 0.077 m

Armature a taglio

Strato armatura a taglio < 1 / 1 >

Quota superiore 0 m

Lunghezza tratto armato a taglio 17 m

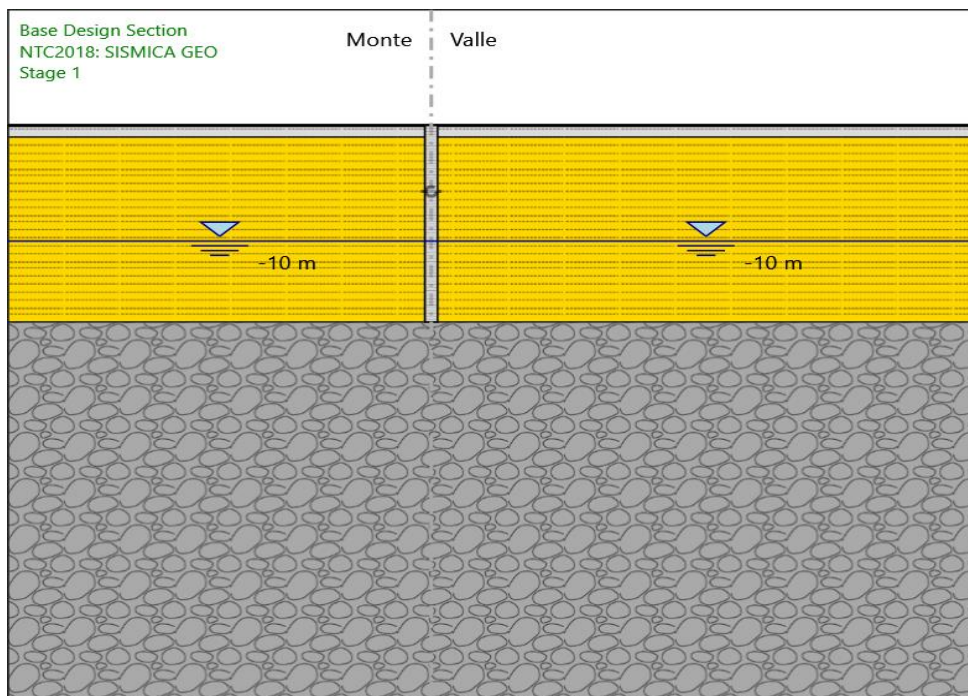
Quota inferiore -17 m

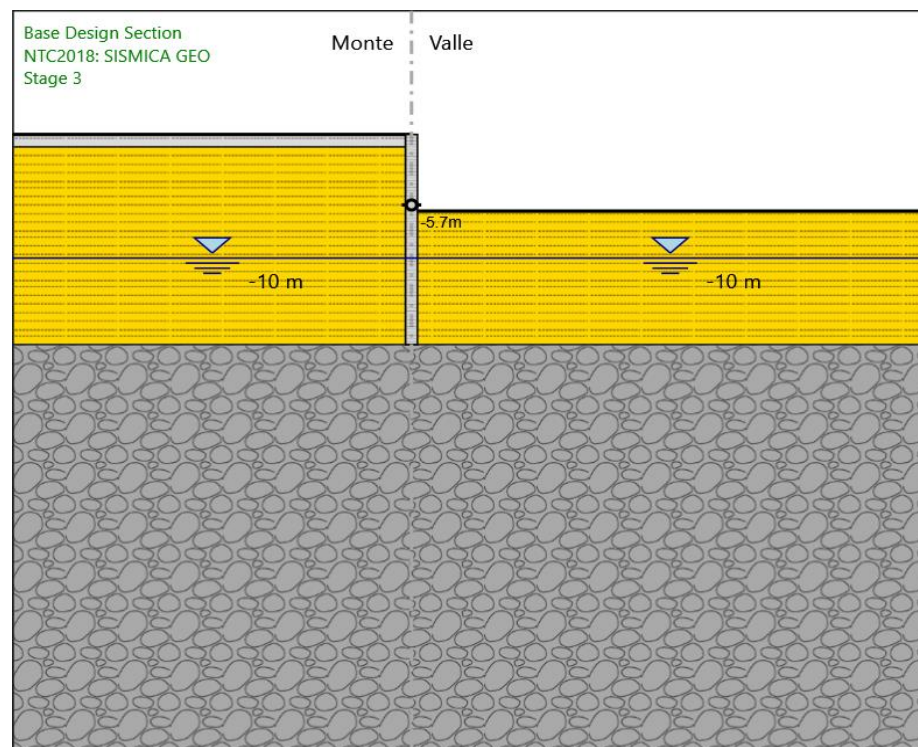
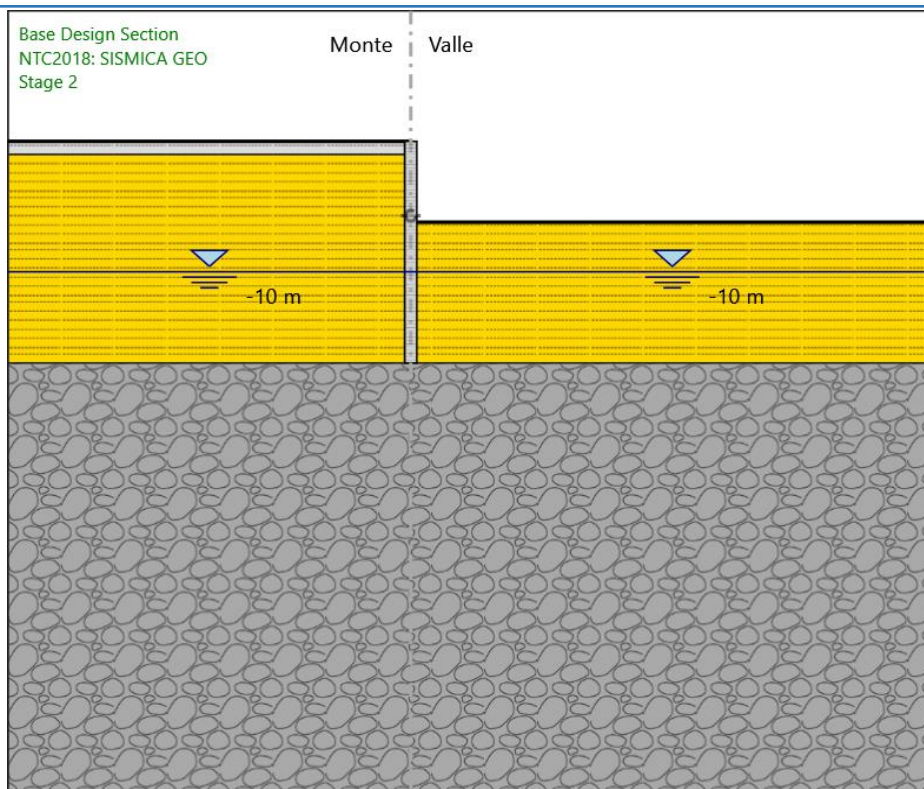
Passo 0.25 m

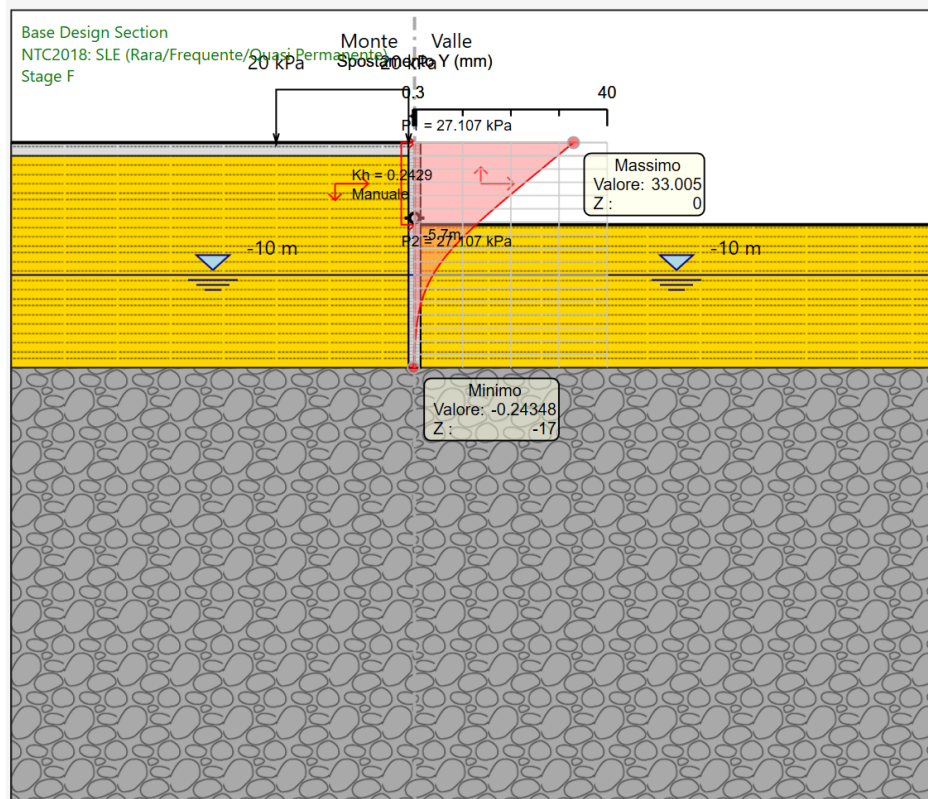
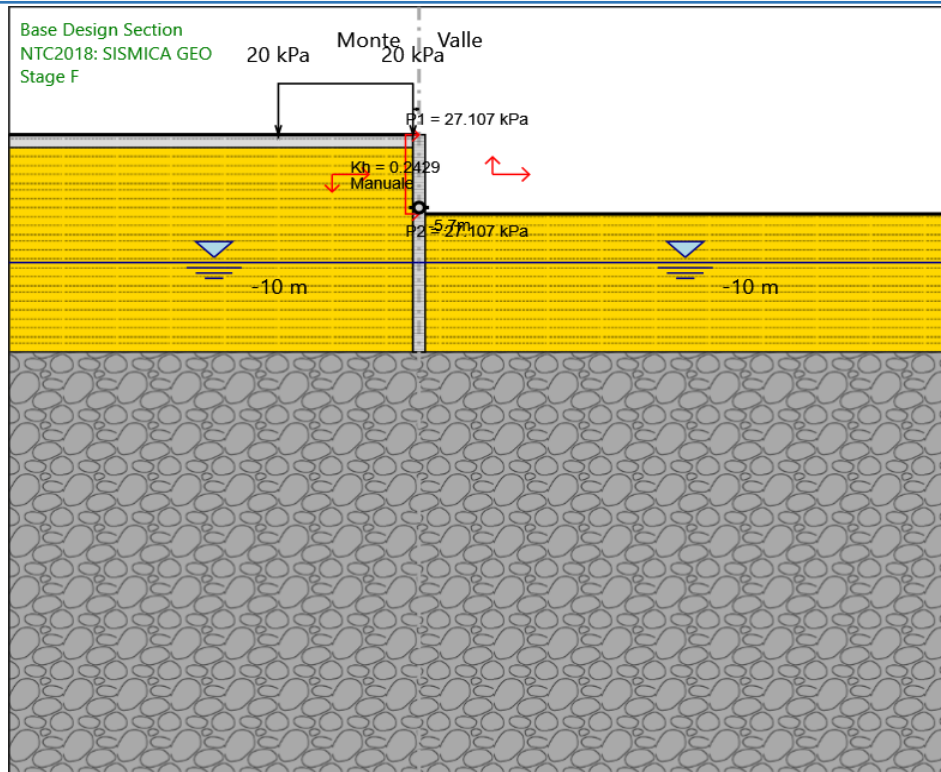
Diametro ø16

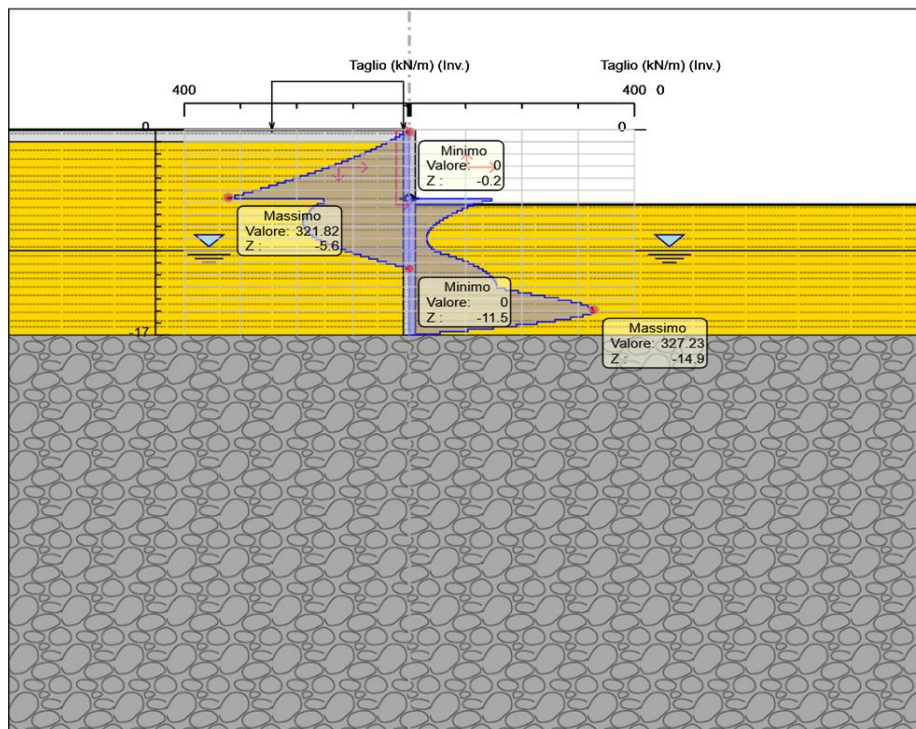
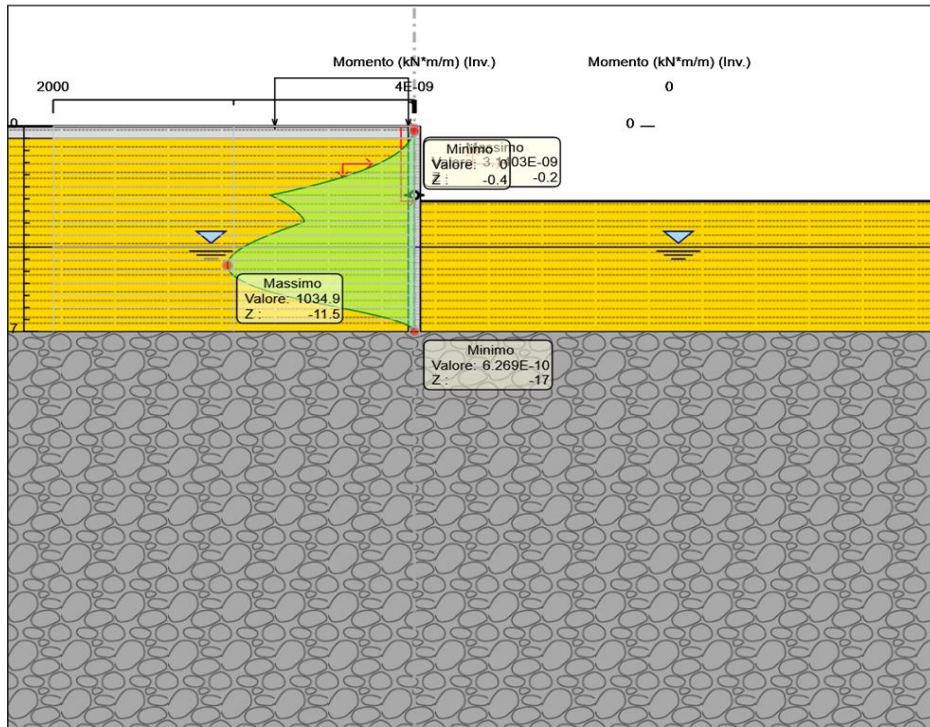
Numero di bracci 2

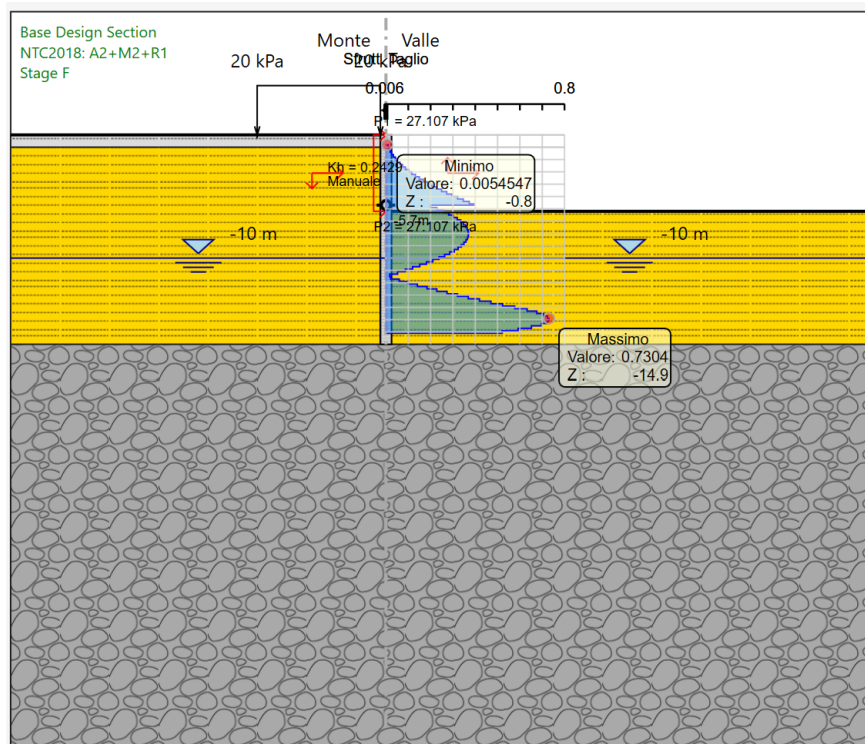
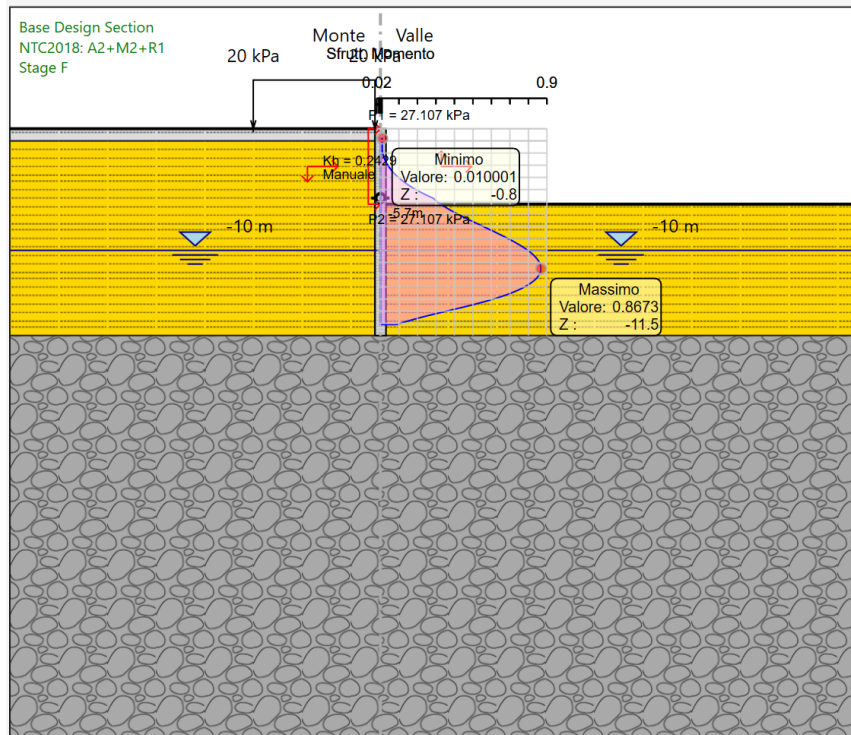
Copriferro netto 0.05 m











7.5 SEZIONE TRINCEA H_PALI = 12M

Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso $z = -4.5\text{m}$
Fase3	Installazione vincolo (soletta di fondazione) $z = -4.0\text{m}$
Fase4	Applicazione mobili e sisma

Materiale armature B450C

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore 0 m

Lunghezza della gabbia 12 m

Quota inferiore -12 m

Armature longitudinali

Layer < 1 / 1 >

Diametro ø20

Numero per elemento 16

Copriferro asse barra 0.074 m

Armature a taglio

Strato armatura a taglio < 1 / 1 >

Quota superiore 0 m

Lunghezza tratto armato a taglio 12 m

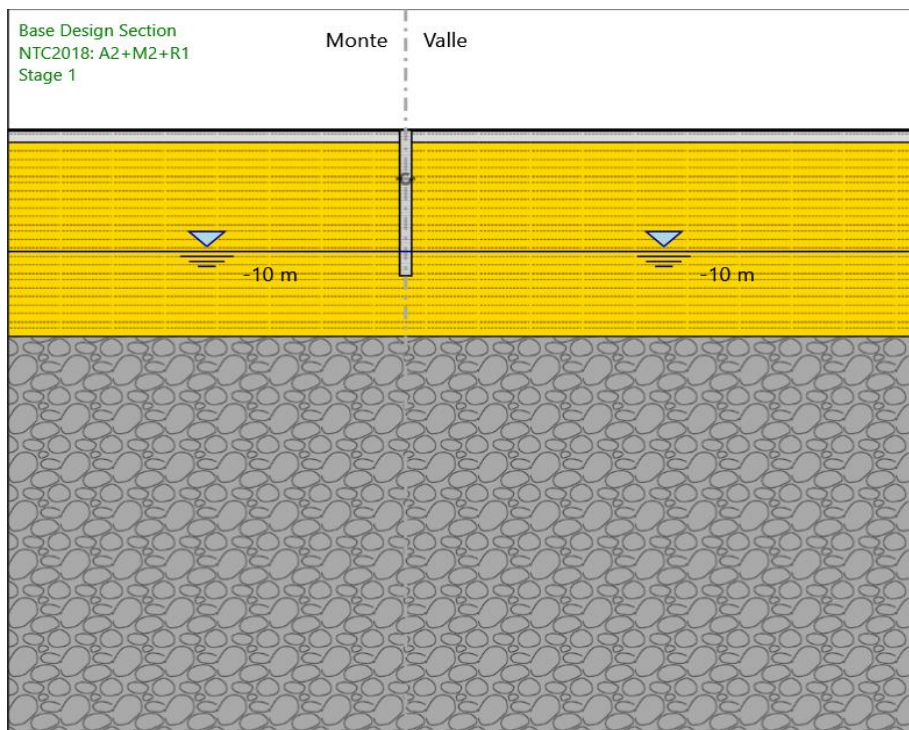
Quota inferiore -12 m

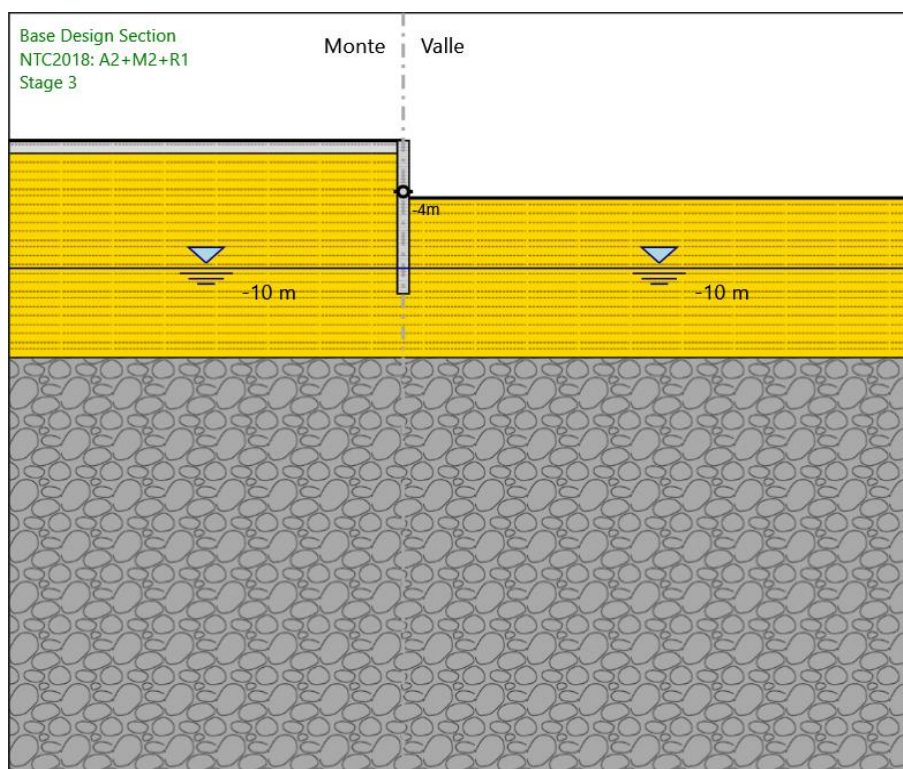
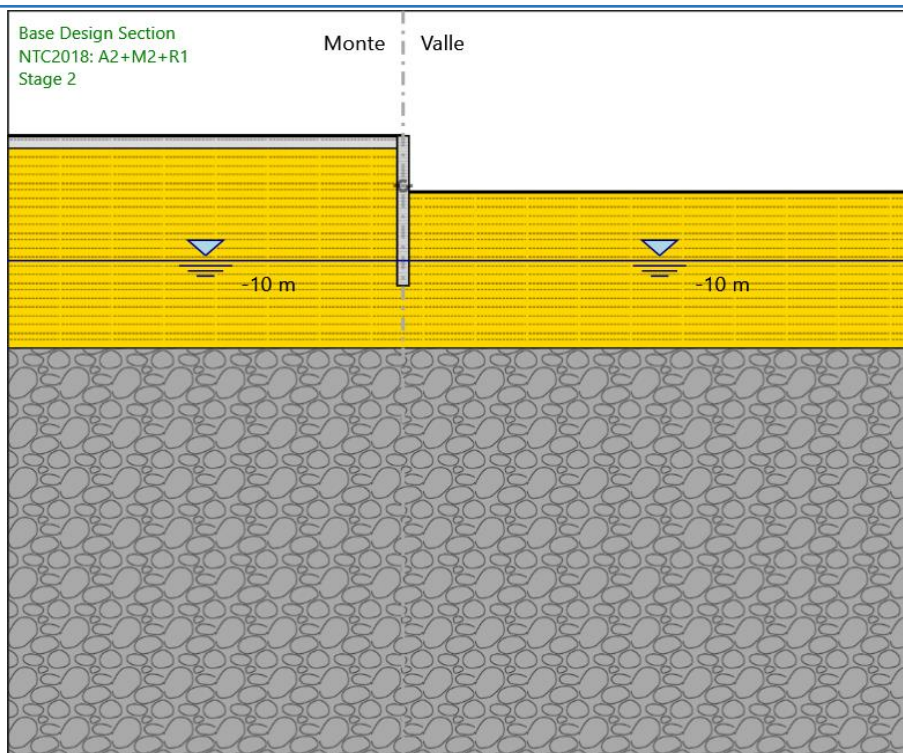
Passo 0.25 m

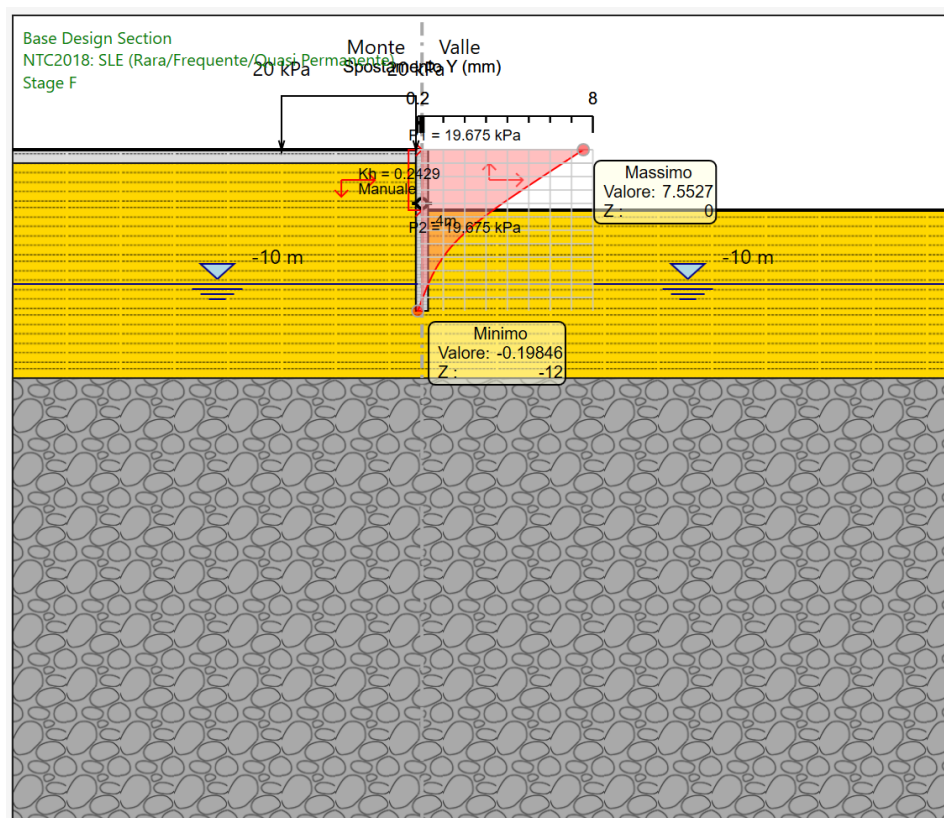
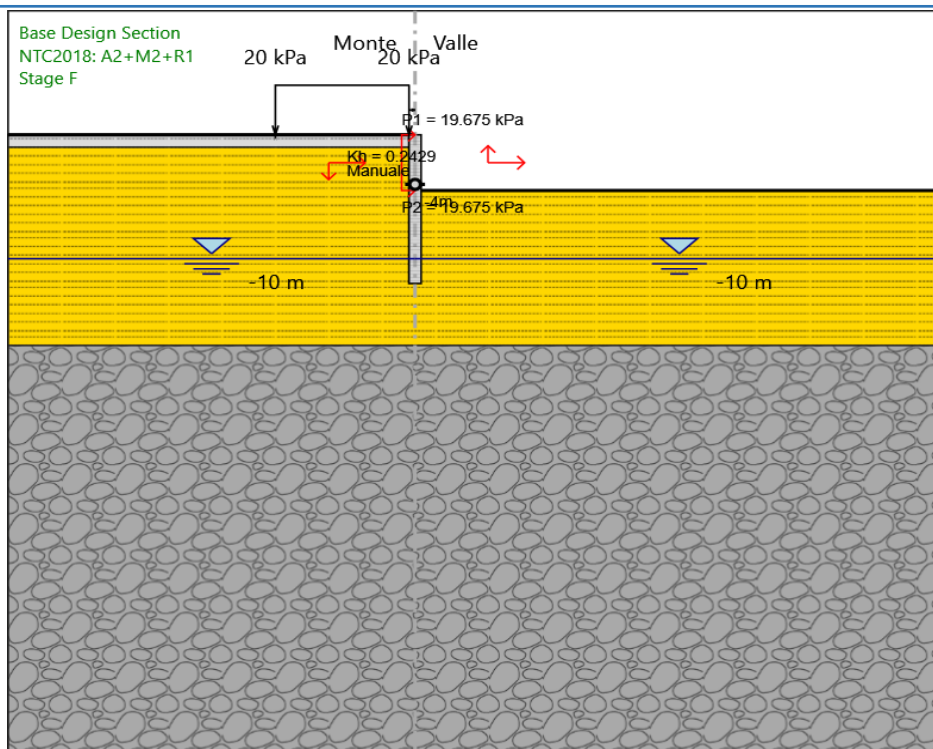
Diametro ø12

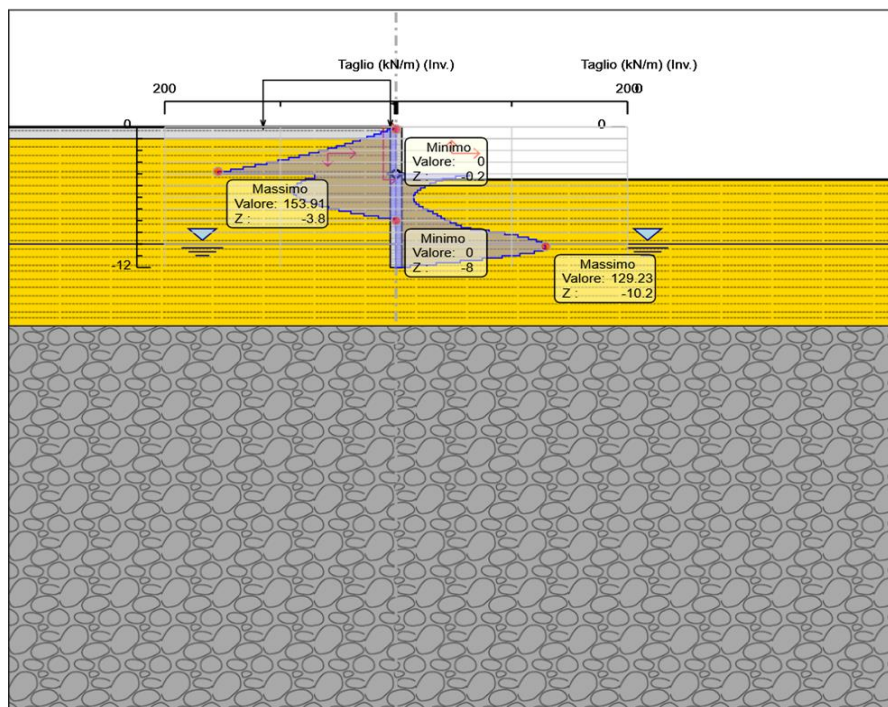
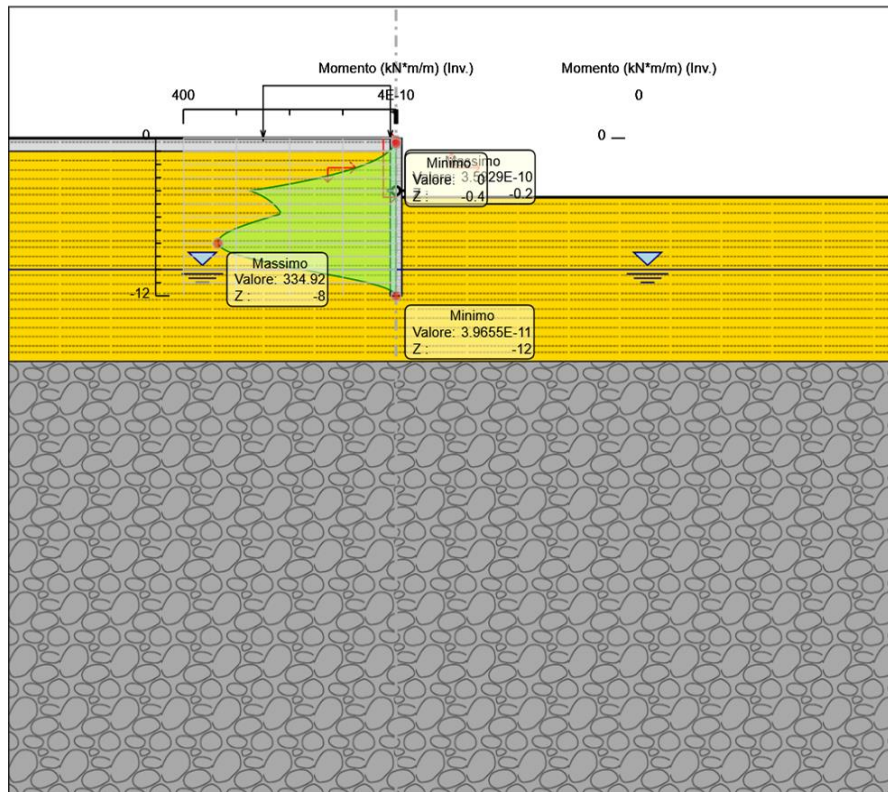
Numero di bracci 2

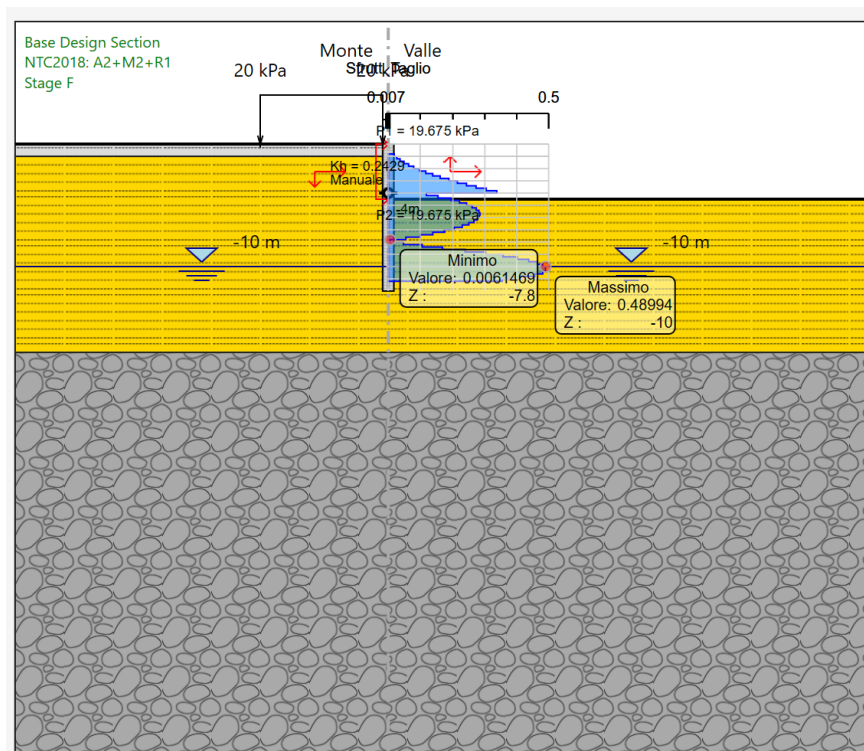
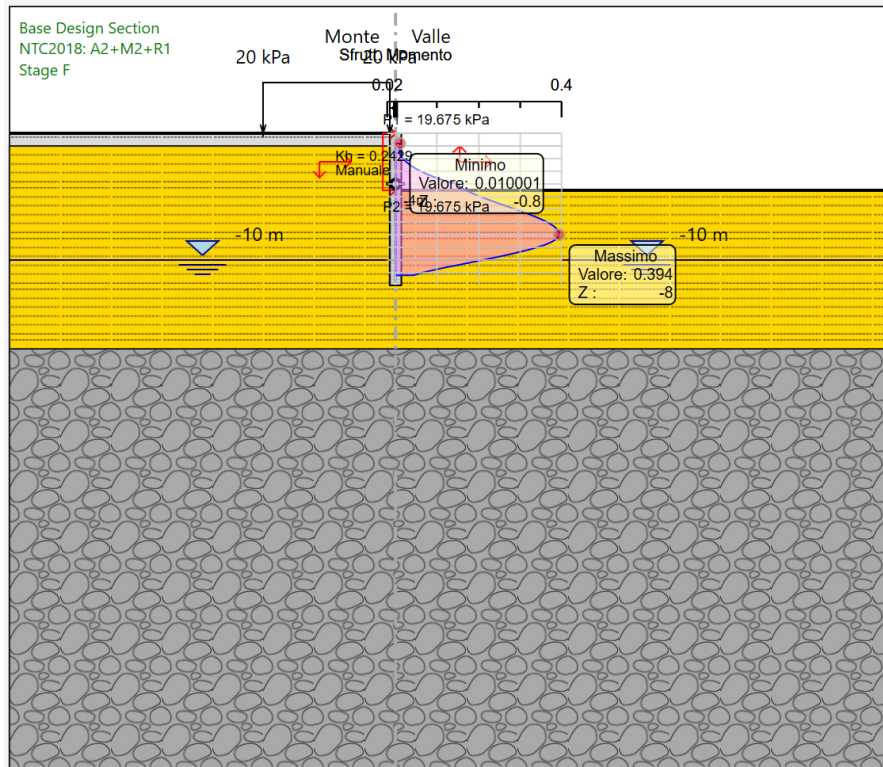
Copriferro netto 0.05 m





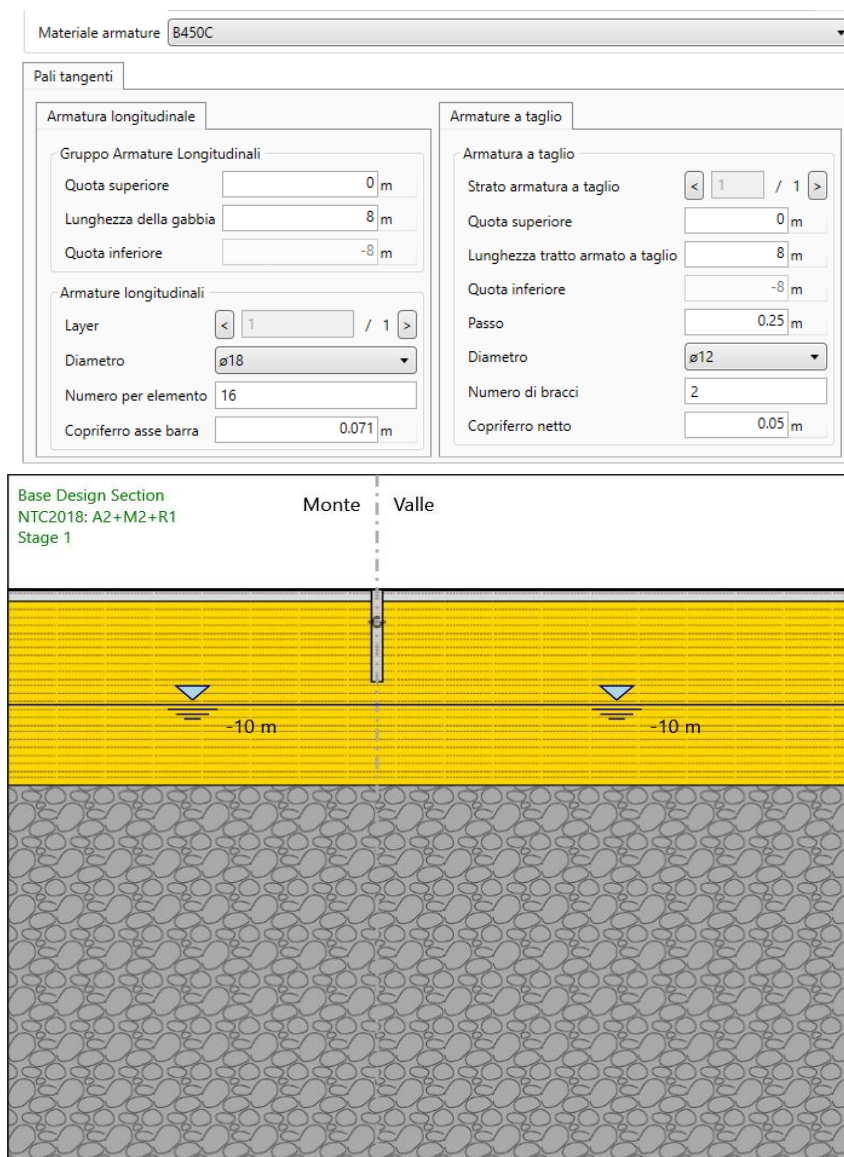


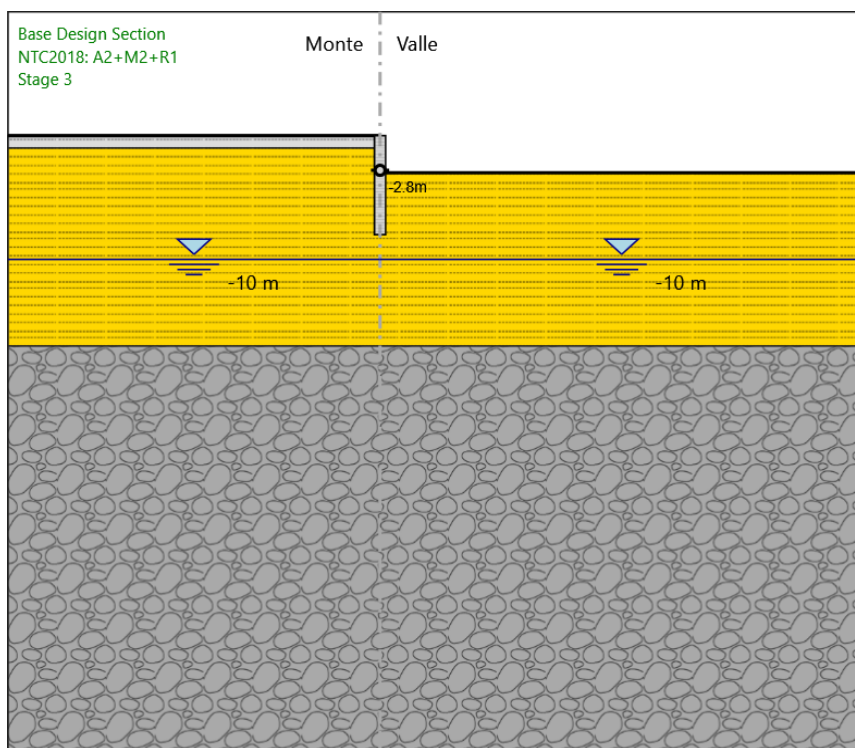
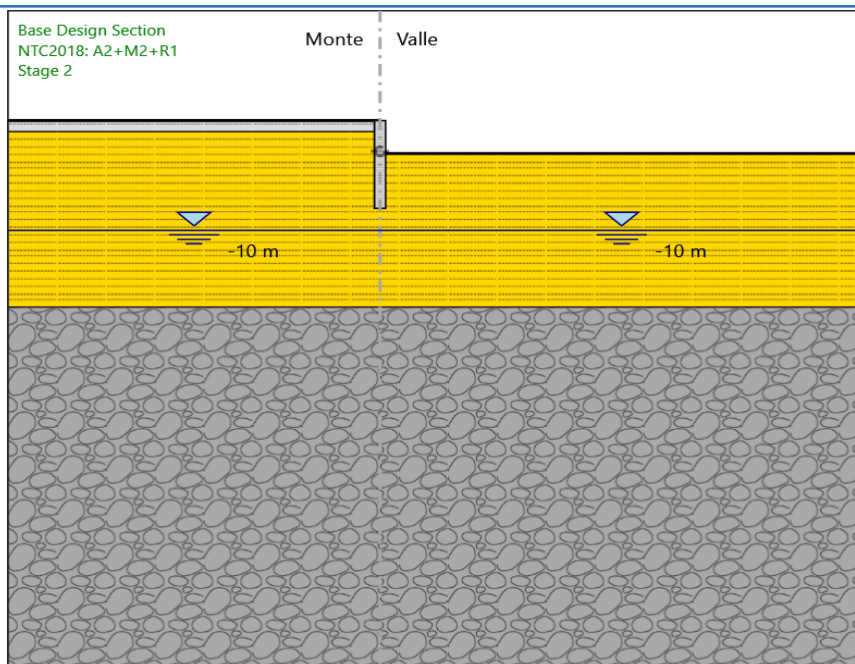


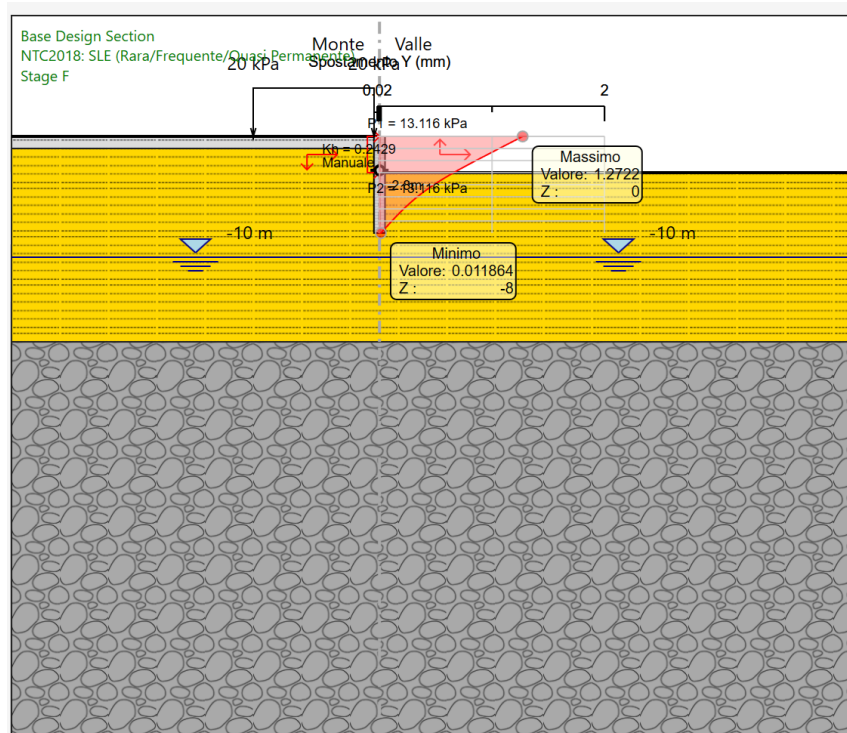
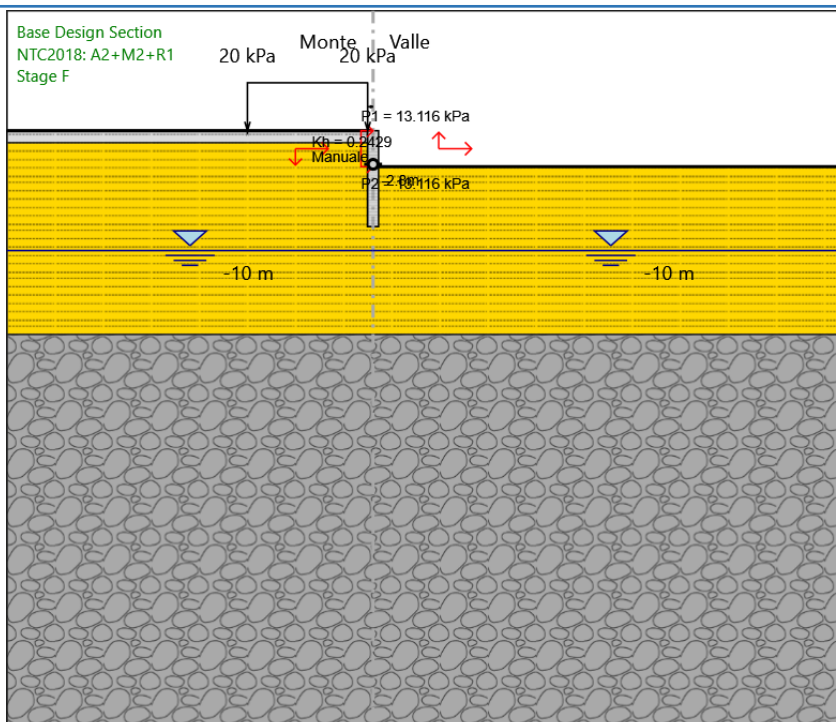


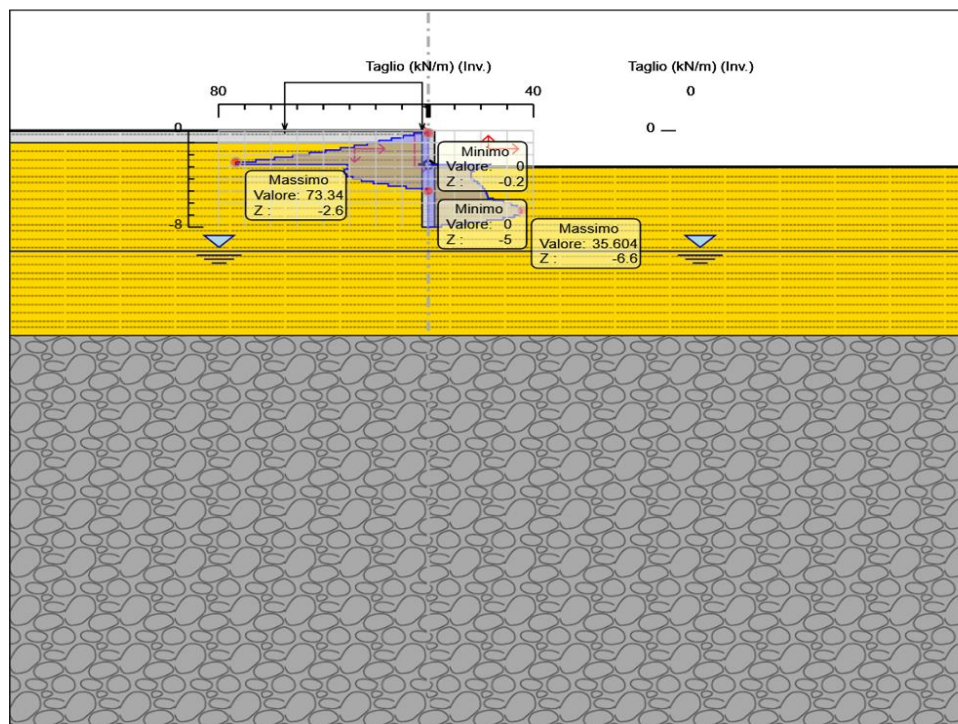
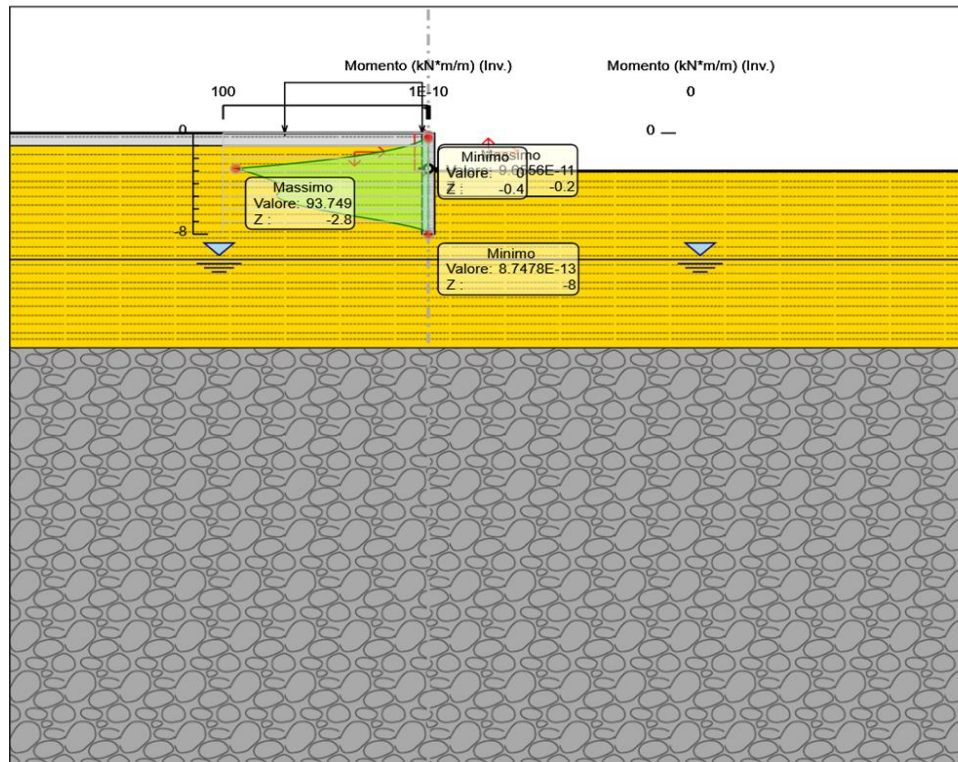
7.6 SEZIONE TRINCEA H_PALI = 8M

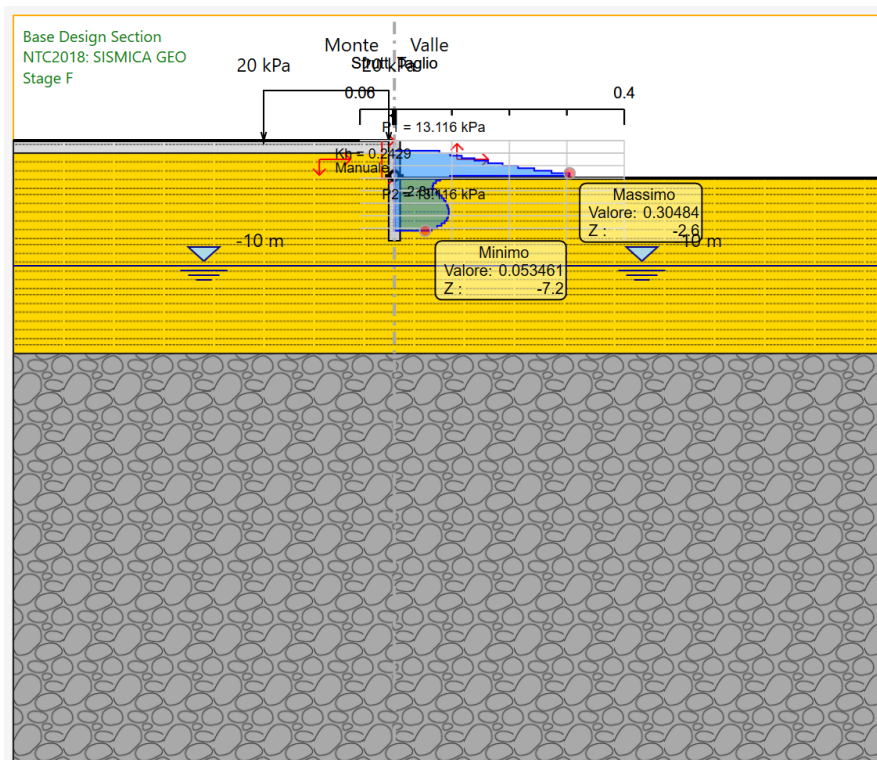
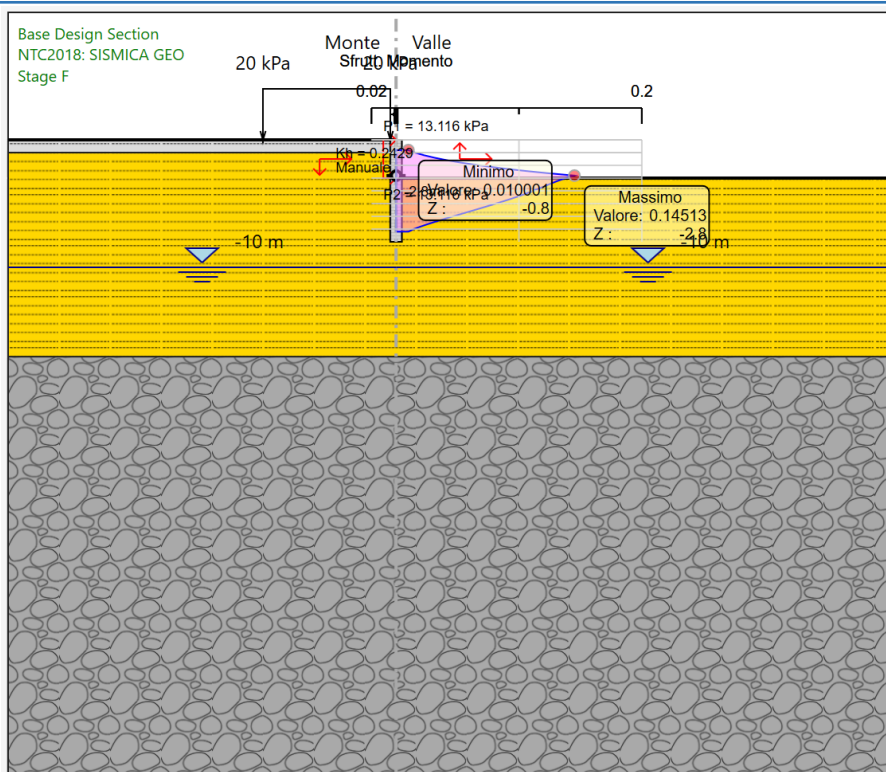
Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso z = -3.0m
Fase3	Installazione vincolo (soletta di fondazione) z = -2.8m
Fase4	Applicazione mobili e sisma





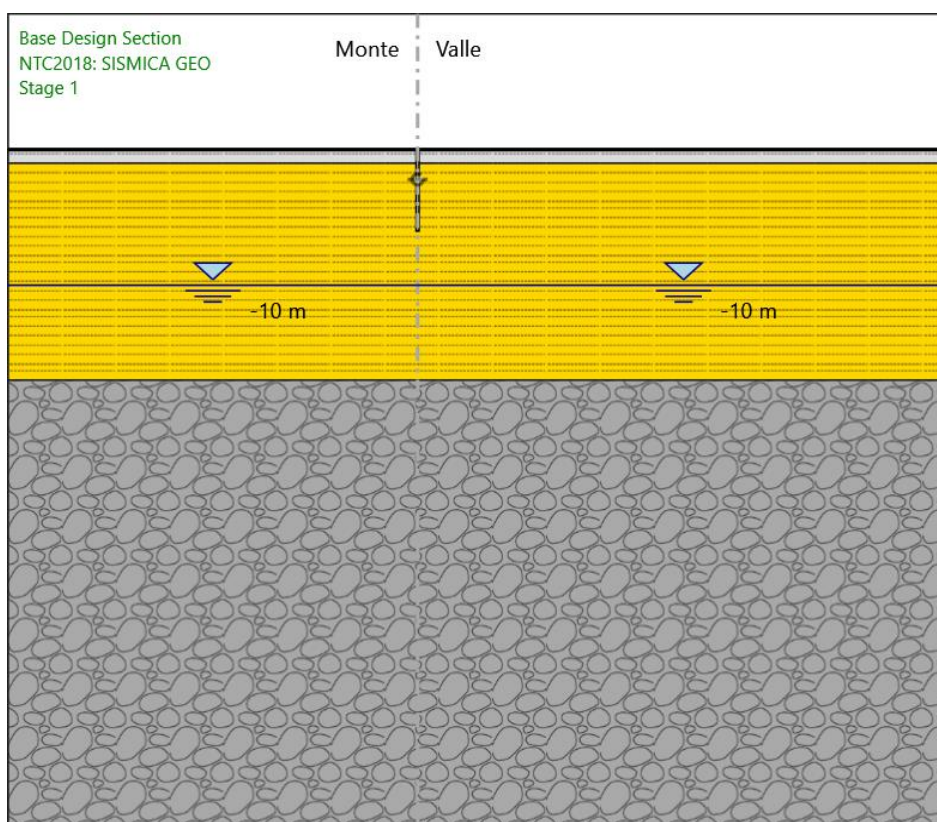


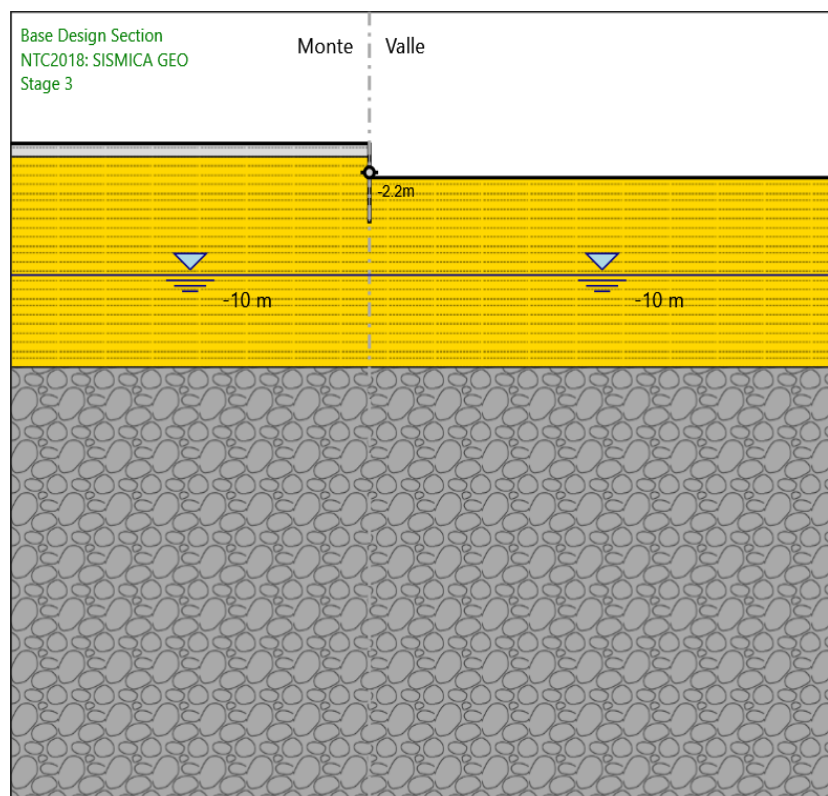
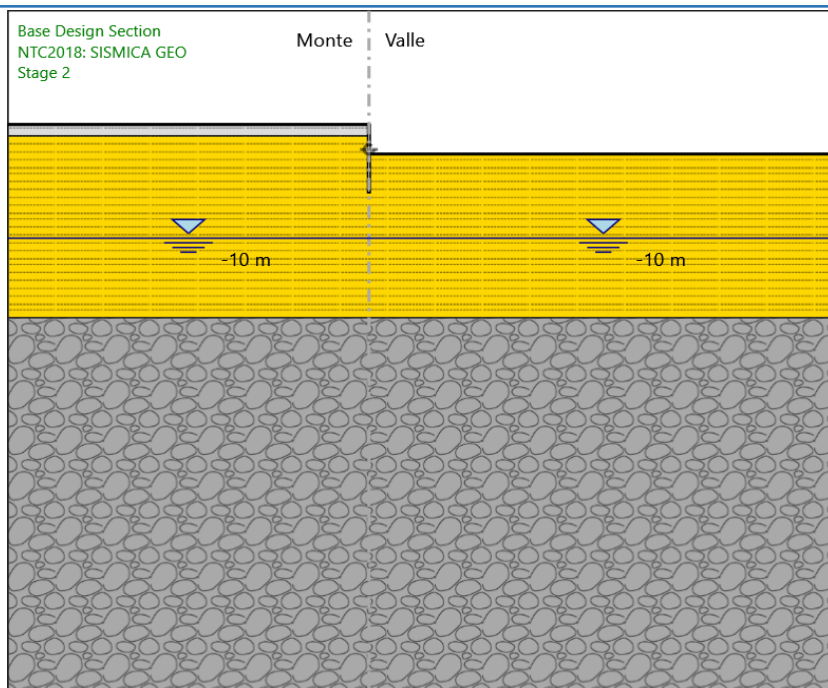


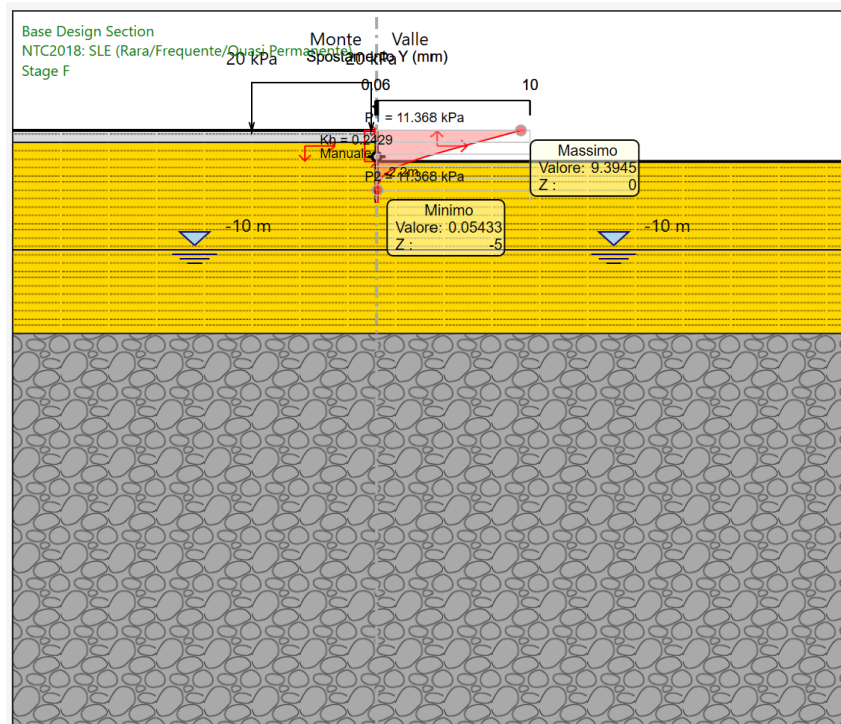
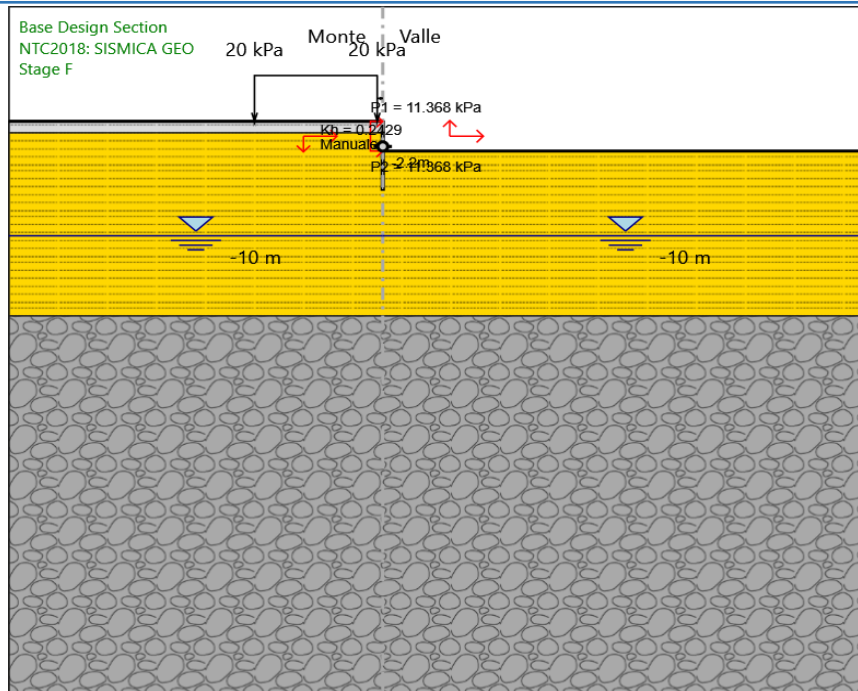


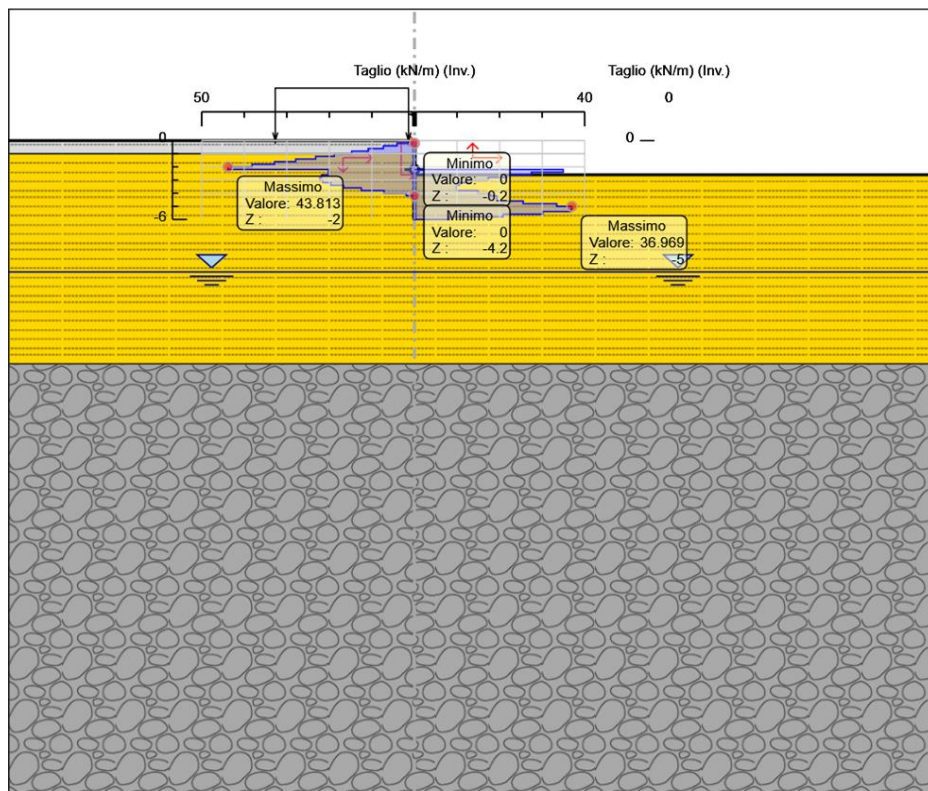
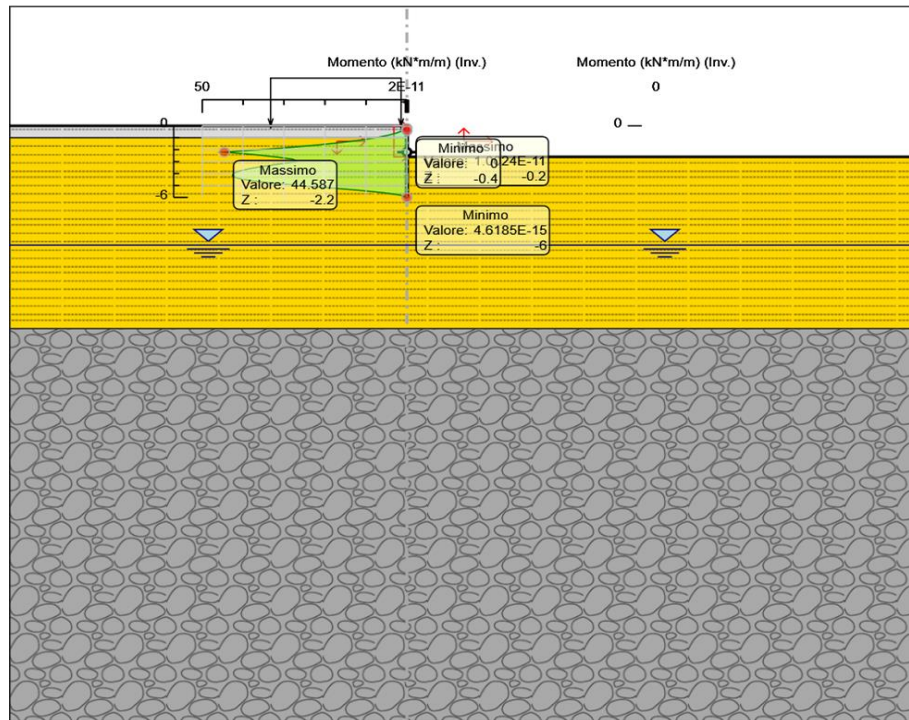
7.7 SEZIONE TRINCEA H_MICROPALI = 6M

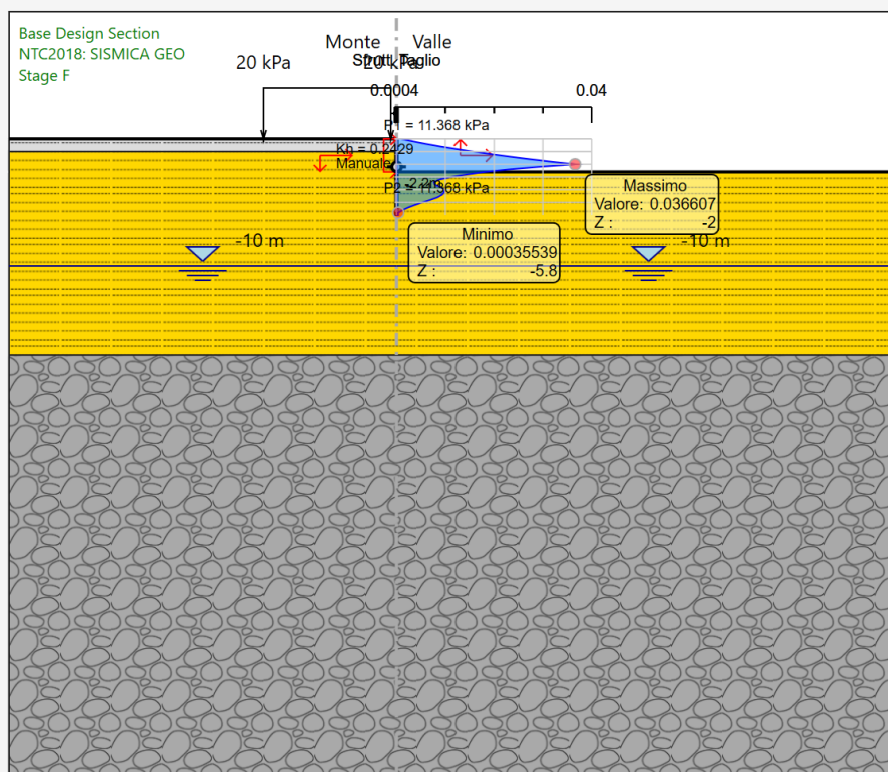
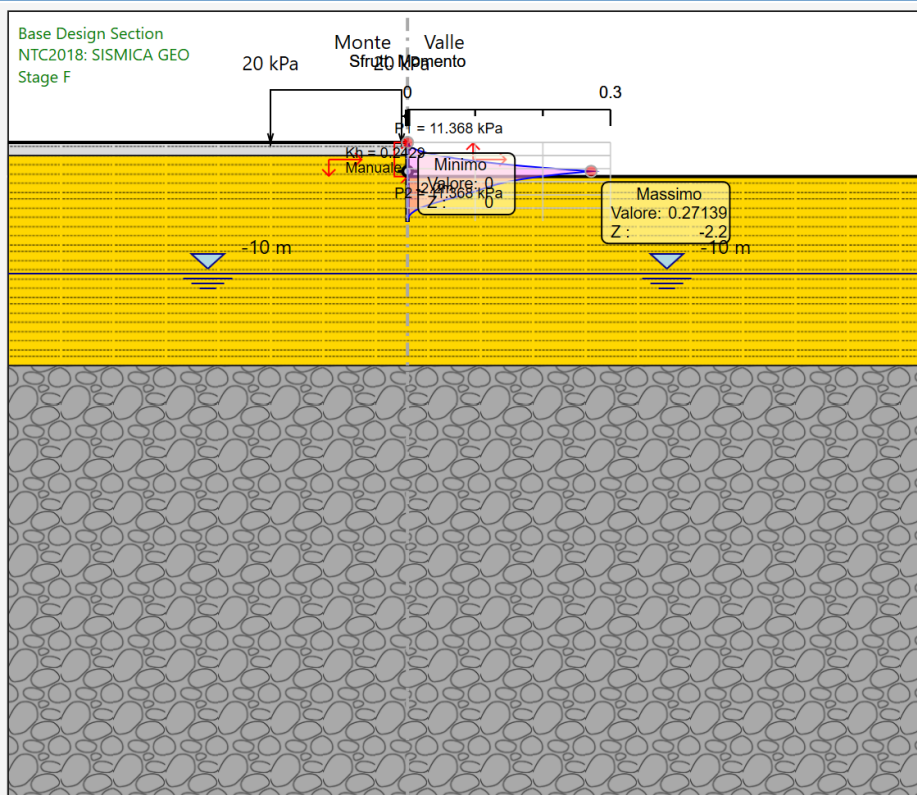
Fase1	Geostatica
Fase2	Fase primo ribasso $z = -2.6\text{m}$
Fase3	Installazione vincolo (soletta di fondazione) $z = -2.2\text{m}$
Fase4	Applicazione mobili e sisma







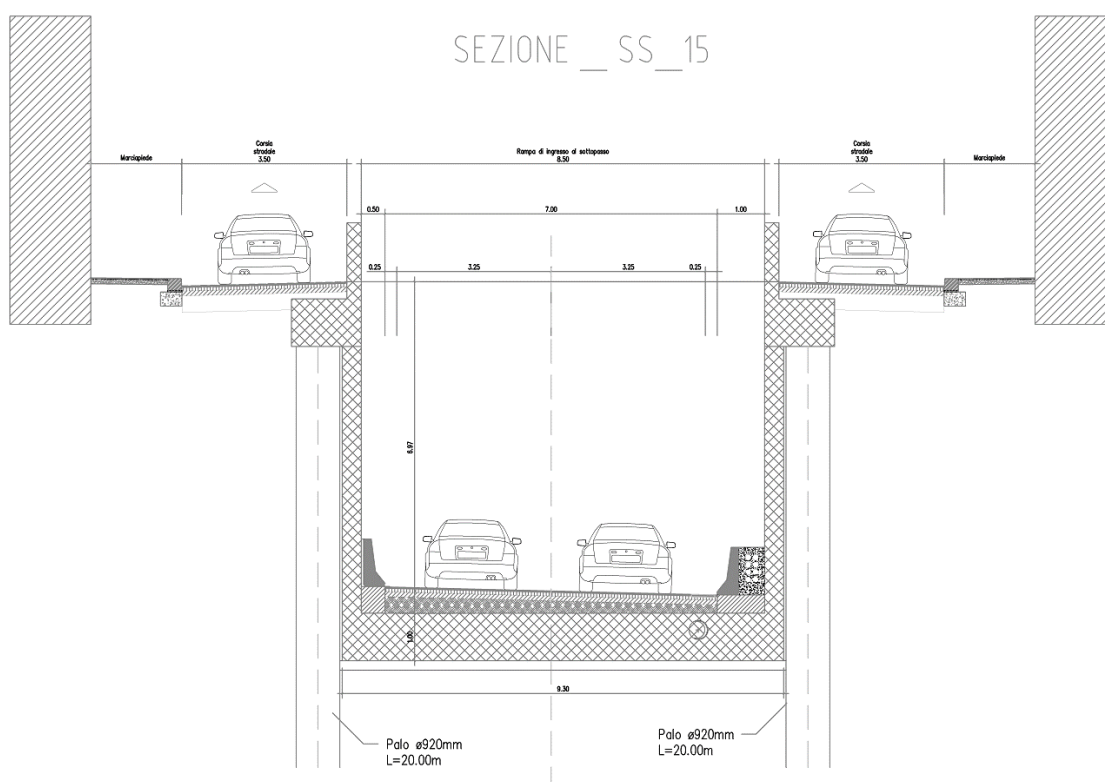




7.8 OPERA IN C.A.

All'interno del sottopasso, è presente una struttura in c.a. composta da una soletta inferiore di spessore pari a 1.00m e da fodere laterali sempre in c.a. con spessore pari a 0.40m sia in corrispondenza delle rampe che in corrispondenza del sottopasso.

Le opere di sostegno laterali sono state dimensionate per tutte le azioni previste in progetto e quindi la struttura interna e soprattutto le fodere laterali non avrebbero funzione portante. Inoltre, essendo la quota della falda posta al di sotto della quota di scavo del sottopasso, non si genera nemmeno la spinta dovuta all'acqua in configurazione di lungo termine. L'unica azione che potrebbe andare ad interferire con le fodere laterali, essendo comunque una struttura rigida ed essendoci il contatto fisico tra pali e struttura interna, è il sisma. Si dimensionano quindi le fodere laterali per il solo effetto del sisma proporzionale al 50% del valore complessivo (si considera che i pali siano sempre in grado di assorbire il 50% del sisma) anche se, come suddetto, i pali laterali sono già stati dimensionati sia per i carichi mobili che per il sisma. Si considera una trave incastrata al piede in corrispondenza della trincea di approccio con maggiore altezza.

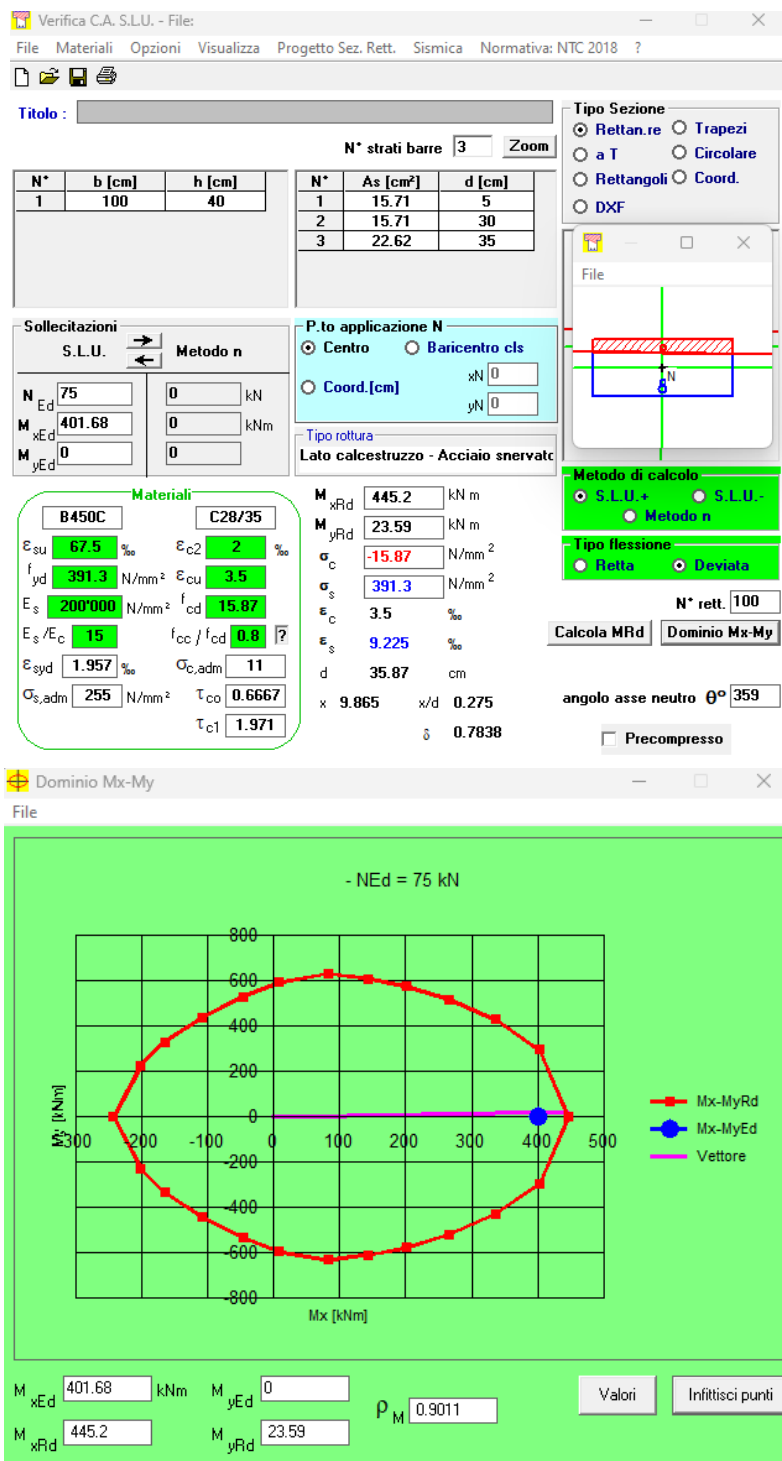


H = 7.00m

$$Q = 32.791 / 2 = 16.39 \text{ kN/ml}$$

$$M_{sd} = 401.68 \text{ kNm/ml}$$

$$T_{sd} = 114.73 \text{ kN/ml}$$



• **Caratteristiche della sezione**

$b_w = 1000$	mm	larghezza	$f_{yk} = 450$	MPa	resist. caratteristica
$h = 400$	mm	altezza	$g_s = 1.15$		coeff. sicurezza
$c = 50$	mm	copriferro	$f_{yd} = 391.3$	MPa	resist. di calcolo
$f_{ck} = 28$	MPa	resist. caratteristica	Armatura longitudinale tesa:		
$g_c = 1.50$		coeff. sicurezza	$A_{sl,1} = 5$	Ø	24 = 22.62 cm ²
$a_{cc} = 0.85$		coeff. riduttivo	$A_{sl,2} = 5$	Ø	20 = 15.71 cm ²
$d = 350$	mm	altezza utile	$A_{sl,3} = 0$	Ø	0 = 0.00 cm ²
$f_{cd} = 15.87$	MPa	resist. di calcolo			38.33 cm ²

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

$N_{ed} = 0.0$ kN $V_{ed} = 114.73$ kN

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

$k = 1 + (200/d)^{1/2} < 2$	$k = 1.756$	< 2
$n_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	$n_{min} = 0.431$	
$r_1 = A_{sl}/(b_w \times d) < 0.02$	$r_1 = 0.011$	< 0.02
$\sigma_{cp} = N_{ed}/A_c < 0.2 f_{cd}$	$\sigma_{cp} = 0.00$	MPa $< 0.2 f_{cd}$

$$(0,18 \times k \times (100 \times r_1 \times f_{ck})^{1/3} / g_c + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 230.8 \text{ kN}$$

$$(n_{min} + 0,15 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d = 150.8 \text{ kN} \quad V_{Rd} = 230.8 \text{ kN}$$

la sezione è verificata in assenza di armature per il taglio