

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



### INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA      Tratta MILANO – VERONA  
Lotto funzionale Brescia-Verona

### PROGETTO ESECUTIVO

IV34 – CAVALCAFERROVIA VIA GREZZE – PK 121+563,218

Relazione di calcolo opere provvisionali - Pila 2

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE LAVORI
Consorzio <b>Cepav due</b> Consorzio Cepav due Il Direttore del Consorzio (Ing. T. Tarantà)	Valido per costruzione  Data: _____
Data: <b>06 FEB 2019</b>	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	E	E 2	C L	I V 3 4 A 1	0 0 1	A

PROGETTAZIONE						IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Data	
A	Emissione	Cardella	08.01.19	Becci	08.01.19	08.01.19	IL PROGETTISTA <b>CeAS</b>  Data: 08.01.19
B							
C							

CIG. 751447334A

Stampato dal Service  
di plottaggio ITALFERR S.p.A.  
ALBA S.r.l.

File: INOR11EE2CLIV34A1001A\_02.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL IV 34A 1 001

Rev.  
A

Foglio  
2 di 22

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. CRITERI DI CALCOLO.....</b>	<b>5</b>
<b>4. STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>8</b>
4.1. DESCRIZIONE STRATIGRAFICA .....	8
4.2. CONDIZIONI DELLA FALDA.....	9
4.3. STRATIGRAFIA SUDDIVISA PER PARTI D'OPERA.....	10
4.4. PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....	10
<b>5. SINTESI DELLE TIPOLOGIE ANALIZZATE .....</b>	<b>12</b>
<b>6. STUDIO DI DETTAGLIO.....</b>	<b>15</b>
6.1. GENERALITÀ .....	15
6.2. DESCRIZIONE DEL CALCOLO .....	16
6.3. RISULTATI.....	17
6.3.1. VERIFICHE SLE .....	17
6.3.2. VERIFICHE ELEMENTI STRUTTURALI .....	18
6.3.3. VERIFICHE DI STABILITÀ GEO .....	19
<b>7. RACCOMANDAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>21</b>
<b>8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>22</b>



## 1. PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento e verifica delle opere provvisorie necessarie al sostegno degli scavi per la realizzazione delle fondazioni della pila 2 del cavalcavia ferroviario IV34 che sovrappassa la futura linea AV/AC Milano-Verona nel tratto Brescia-Verona.

Sulla base delle esigenze di cantiere per le singole opere, dei vincoli imposti da interferenze con opere esistenti (in particolare l'autostrada A4 e relativi svincoli e viabilità accessorie), è individuata una tipologia di opera di sostegno, realizzata con palancolati metallici. Verranno utilizzati i seguenti schemi:

- palancolato a mensola previsto lungo un solo lato dello scavo per la costruzione delle fondazioni della pila 2 (altrove lo scavo è realizzato con idonee pendenze).

Per tutti gli interventi non esplicitamente elencati nel presente documento, gli scavi necessari alla costruzione di spalle e pile saranno realizzati con pareti modellate secondo idonee pendenze.

Nel seguito vengono riportate i calcoli e le verifiche strutturali e geotecniche delle strutture costituenti le opere provvisorie in oggetto, nel pieno rispetto delle normative vigenti in materia.

Si precisa che, ai sensi della vigente normativa NTC008, §2.4.1 (nota 1), nel progetto di tali opere, provvisorie con vita utile non superiore a 2 anni, l'azione sismica viene ignorata.

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL IV 34A1 001

Rev.  
A

Foglio  
4 di 22

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.



### 3. CRITERI DI CALCOLO

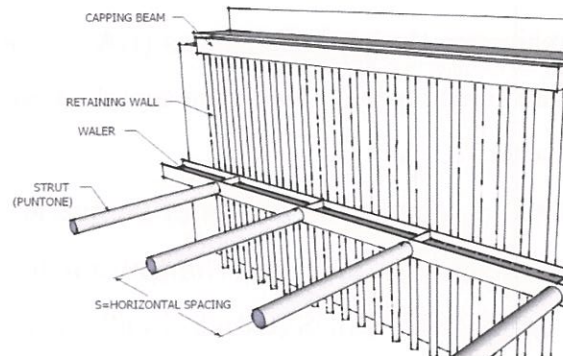
La verifica del comportamento delle palancole sotto le spinte delle terre e dell'acqua è stata condotta con il codice di calcolo PARATIE PLUS™, distribuito da CEAS. S.r.l.

Tale programma analizza, in una condizione di stato piano di deformazione, il comportamento di opere di sostegno flessibili simulando l'interazione terreno-parete con il metodo delle molle non lineari, ampiamente utilizzato nella pratica progettuale. L'analisi, non lineare a causa del comportamento non elastico del terreno oltre che dal continuo modificarsi della configurazione della parete, viene eseguita seguendo in modo realistico la sequenza costruttiva dell'opera.

La resistenza delle molle è descritta in termini di coefficienti di spinta  $K_a$  e  $K_p$  (a loro volta legati all'angolo d'attrito  $\phi$  e all'attrito terra muro  $\delta$ ) e di coesione  $c'$ . A tale comportamento in termini efficaci e valido per terreni granulari oppure per terreni fini a lungo termine, può essere sostituito un legame in termini di sforzi totali adatto a modellare un comportamento di materiali fini in condizioni non drenate. Nel caso in esame si opererà in condizioni drenate.

In presenza di moti di filtrazione (stazionari) indotti da squilibri della freatica nelle diverse regioni interessate dall'opera, oppure in presenza di prelievi per mezzo di pozzi, PARATIE PLUS calcola preventivamente la distribuzione delle pressioni neutre sulla parete tramite schemi semplificati basati sull'ipotesi di flusso mono-dimensionale in prossimità della parete (pensata come elemento impermeabile) oppure attraverso un modello bidimensionale ad elementi finiti che risolve le equazioni di campo in accordo con le condizioni al contorno stabilite dall'utente.

Nel caso di tiranti, vincoli deformabili e puntoni (modellati come elementi elastico), è possibile attribuire, al generico elemento, una cosiddetta trave di ripartizione (waler), vale a dire una trave orizzontale avente una luce pari al passo degli elementi a cui è riferita. Nella figura rappresentata una trave di ripartizione che smista alla parete le azioni dei puntoni, posti a passo S.



**Figura 3-1: elementi strutturali e travi di ripartizione**

Noto il passo  $S$  (Figura 3-1) degli elementi di contrasto, è definita la luce di calcolo della trave di ripartizione. L'utente può definire lo schema statico ipotizzato per la trave di ripartizione, agendo sui parametri  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , che regolano il valore del momento alle estremità della trave.

Sia  $q$  la reazione, per unità di larghezza nel vincolo. La reazione complessiva  $Q$  nel tirante è quindi pari a:

$$Q = q \cdot S$$

Il momento flettente, alle estremità 1 e 2 è pari a, rispettivamente

$$M_{1,2} = \alpha_{1,2} Q \cdot S$$

In campata, nel punto medio tra due appoggi successivi, il momento è pari a

$$M_A = 0.125 \cdot Q \cdot S + 0.5 \cdot (M_1 + M_2)$$

Si può notare quindi che, per modellare una trave in semplice appoggio, basta porre  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ; per modellare una trave con momento negativo pari ad uno schema a doppio incastro si pone  $\alpha_1 = \alpha_2 = - (1/12)$ .

PARATIE PLUS può mettere in conto l'incremento di deformabilità fornito dalla trave di ripartizione al sistema, correggendo la rigidità assiale del vincolo alla luce della deformabilità in campata tra due vincoli successivi. La trave di ripartizione può inoltre essere sottoposta a verifica.

In accordo con quanto richiesto da di NTC08, si considerano le seguenti configurazioni.

- Analisi SLE
- A1+M1+R1 (SLU mirata alla verifica STRU) DA1 C1
- A2+M2+R1 (SLU mirata alla verifica GEO) DA1 C2



Ognuna di queste analisi (chiamate Design Assumptions (DA), secondo una terminologia mutuata da Eurocodice 7) corrisponde ad un calcolo non lineare completo esteso a tutte le fasi in cui è stata pensata la reale sequenza esecutiva.

Per la combinazione DA1 C2, i parametri di resistenza (in questo caso  $\phi$ ) sono opportunamente ridotti in sulla base dei coefficienti  $\gamma_M$  indicati dalla Normativa Italiana. I coefficienti di spinta sono calcolati automaticamente da PARATIE PLUS basandosi sull'angolo di attrito così ridotto.

Al termine del calcolo non lineare, PARATIE PLUS esegue la verifica degli elementi strutturali principali (per la DA1 C1). Evidenzia inoltre i risultati necessari per esprimere un giudizio sul grado di sicurezza relativo allo stato limite GEO ed alla deformabilità della parete (SLE).

Altri dettagli relativi a particolari aspetti della modellazione verranno descritti con riferimento ai singoli casi.

## 4. STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

### 4.1. Descrizione stratigrafica

Le indagini prese in considerazione rivelano una successione stratigrafia complessa, rappresentativa di una zona di transizione tra formazioni più marcatamente granulari caratteristiche delle sezioni con progressive inferiore a 121+000 e formazioni a prevalente componente limo-sabbiosa e limo argillosa, tipiche della formazione glacio-lacustre recente, che contraddistingue la tratta compresa tra l'imbocco Est della galleria Lonato Est ed il Mincio. In linea di massima, ai fini del progetto delle fondazioni dell'opera, è possibile ricondursi ad una stratigrafia in cui, al di sotto di un modestissimo strato di coltivo, s'individuano due formazioni principali, come segue:

1. un primo strato di potenza variabile, costituito da sabbie e ghiaie in matrice limosa, molto addensate (**STRATO 1**)
2. uno strato profondo con prevalente frazione limosa, poco plastico, contenente una frazione argillosa variabile ma di limitata entità, spesso intercalato da lenti più marcatamente granulari, anche di notevole potenza (**STRATO 2**).

È opportuno osservare che tale suddivisione potrebbe apparire a prima vista non del tutto coerente con quanto talvolta desumibile dai singoli sondaggi, specie in relazione allo STRATO 2, che appare talora sostituito da una formazione apparentemente continua e più granulare (cfr. ad esempio IV34\_S001\_2018, a profondità comprese tra 23 e 31 m). Tuttavia, alla luce del complesso delle verticali disponibili, nonché della storia geologica, appare più che giustificato, oltre che prudente, considerare del tutto discontinue e/o sporadiche tali intercalazioni granulari profonde.

Lo spessore del coltivo e/o riporto risulta variabile (vedi **Tabella 4-1**).

**Tabella 4-1**

Prova	Profondità da p.c. (m)	Descrizione
DS152	0.0 – 0.4	Terreno vegetale limo-sabbioso
DS151	0.0 – 0.5	
DS149	0.0 – 0.4	
S27 XA202B167	0.0-2.20	Terreno vegetale
S28 XA202B168	0.0-0.30	
IV34_S001_2018	0.0-0.10	
IV34_S002_2018	0.0-0.10	

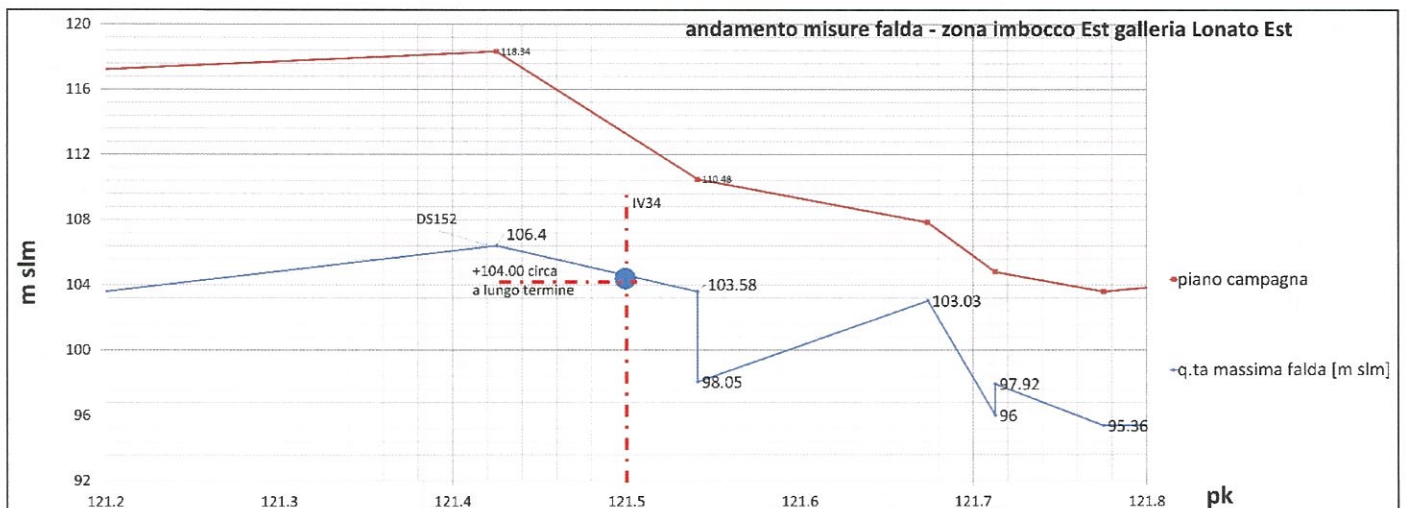


#### 4.2. Condizioni della falda

Nella Tabella 4-2 si riportano le soggiacenze della falda misurate nei sondaggi attrezzati con piezometri (vedi la Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. e Figura 4-1) in prossimità o più prossimi all'opera in oggetto. In virtù delle quote rilevate e considerando anche le possibili fluttuazioni nel corso della vita utile dell'opera, si ritiene di assumere, per il progetto, il livello di falda alla quota di **+104 m slm**. Viceversa, per l'interpretazione dei parametri e per il calcolo delle eventuali opere provvisoriale, potrà essere assunto un livello pari a +96.00 m slm, corrispondente alle misure più ricorrenti negli anni recenti.

**Tabella 4-2**

Sondaggio (Denomin.)	Pk	q.ta falda (m slm)		
		Medio	Massimo	Minimo
DS152	121+425	104.51	106.40	101.209
S27-XA202G167	121+541	100.03	103.58	96.354
S7GL	121+674	102.60	103.03	102.36
S28-XA202G168	121+712	96.57	97.92	95.803
DS149	121+775	95.30	95.36	95.269



**Figura 4-1: storico falda zona imbocco Est gall. Lonato Est**

### 4.3. Stratigrafia suddivisa per parti d'opera

In base a quanto prima riportato, si riassumono nel seguito le ipotesi di stratigrafia particolarizzate alle singole parti d'opera.

Tabella 4-3

	q.ta piano campagna [m slm]	Quota falda di p [m slm]	Soggiacenza [m]	Spessore STRATO 1 [m]
SPALLA A	~106.0÷106.50	+104.00 progetto +96.00 cantiere	2.5	19
PILA 1	~107.0		3	15(stimato)
PILA 2	~108.0		4	11
PILA 3	~110.5		6.5	22
SPALLA B	~113.5		9.5	23

### 4.4. Parametri geotecnici di progetto

La caratterizzazione geotecnica, ai fini della determinazione della capacità portante delle palificate, viene eseguita con riferimento a parametri drenati per lo STRATO 1, e con riferimento a parametri sia drenati che non drenati per quel che concerne lo STRATO 2. In

Tabella 4-4, sono riassunti i valori dei principali parametri geotecnici del terreno stimati sulla base dei risultati delle prove SPT e delle prove di laboratorio ove disponibili.

Tabella 4-4: parametri geotecnici per calcolo fondazioni

Strato 1		Parametri drenati		Parametri non drenati	
	Granulare: Ghiaia e sabbia, tracce di limo	$\phi_k = 37^\circ$		$N_{spt}$ (caratteristico)	
		$\phi_{cv} = 33^\circ$		SPALLA A	>70
	$\gamma_{sat} = 20.5 \text{ kN/m}^3$			PILA 1	>70 (stimato)
				PILA 2	>60
				PILA 3	>50
				SPALLA B	>50
Strato 2		Parametri drenati		Parametri non drenati	
	Limo e argilla	$\phi_k = 30^\circ$		$S_u$ (caratteristico) [kPa]	
	$\gamma_{sat} = 20 \text{ kN/m}^3$			SPALLA A	200
	$e_0 = 0.45 \div 0.60$			PILA 1	150
	$C_c = 0.11$			PILA 2	100
	$C_r = 0.03$			PILA 3	200
				SPALLA B	200



Il calcolo viene eseguito in condizioni a lungo termine, vista la natura dello strato di terreno nel quale la paratia si trova infissa. Quanto all'interazione tra terreno e palancole si assume un angolo di attrito  $\delta$  pari al 50% dell'angolo di attrito del terreno. Le verifiche inoltre vengono eseguite considerando un angolo di attrito del terreno cautelativamente ridotto di 4 gradi, al fine di tenere in considerazione l'eterogeneità della zona e la natura non perfettamente nota del rilevato autostradale. Con tali ipotesi, i coefficienti di spinta attiva e passiva sono calcolati rispettivamente con le formule di Coulomb e Lancellotta (2007). Infine, si assume sempre un coefficiente di spinta a riposo pari a 0.50.

Come si vede dalla Figura 4-2, sulla paratia, oltre al carico sollecitante dovuto al peso del rilevato, viene aggiunto un sovraccarico pari a 20 kPa, corrispondente al carico da traffico veicolare stradale.

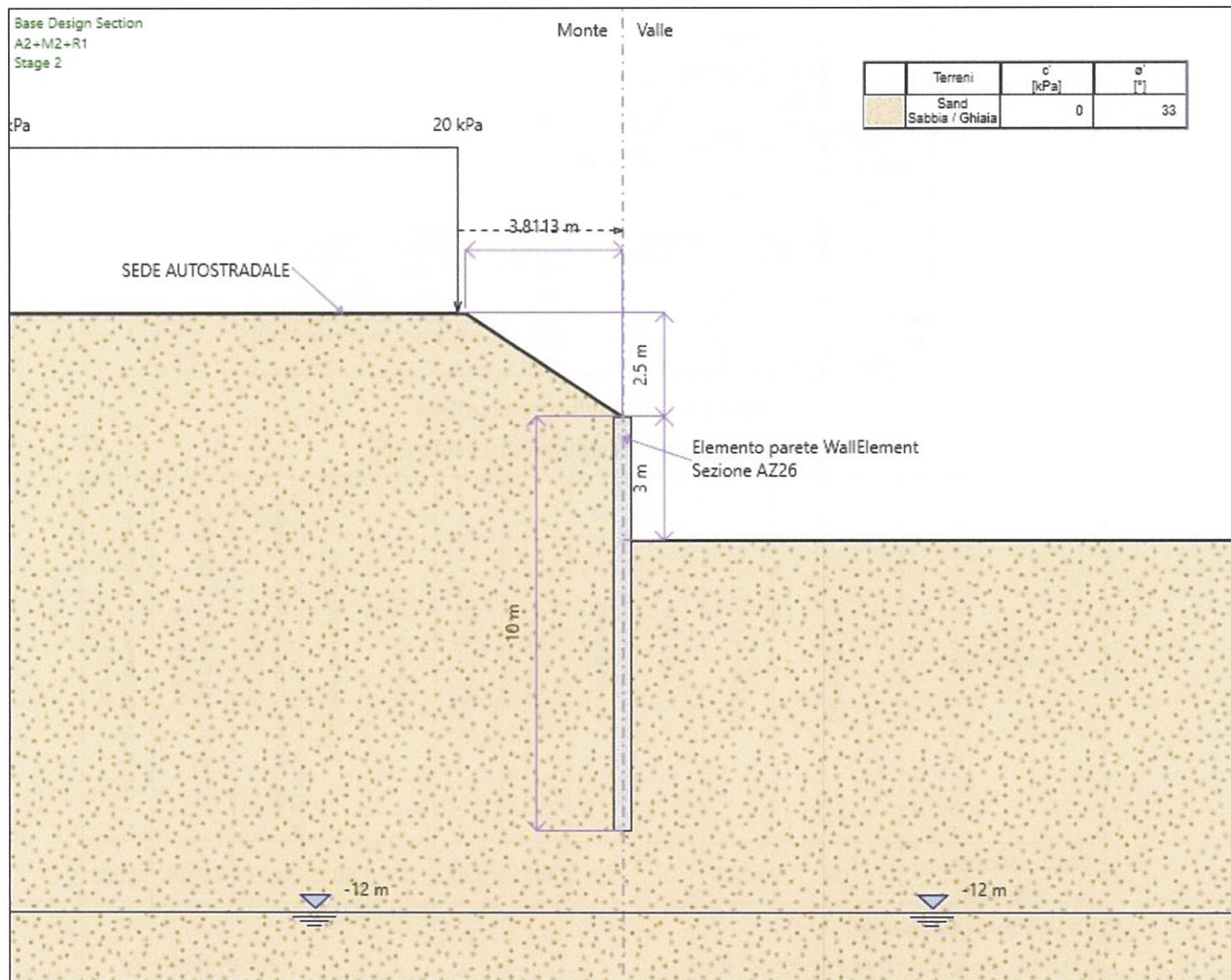


Figura 4-2: sovraccarico equivalente a rilevato

## 5. SINTESI DELLE TIPOLOGIE ANALIZZATE

Alla luce delle necessità evidenziate dal Progettista dell'opera, come già anticipato al Capitolo 1, si prevede l'utilizzo di un palancoato per le opere provvisorie di sostegno.

I parametri che caratterizzano questi casi e i risultati salienti delle analisi e verifiche svolte con Paratie Plus, utilizzando il profilo AZ26 sono riassunti nella Figura 5-1.

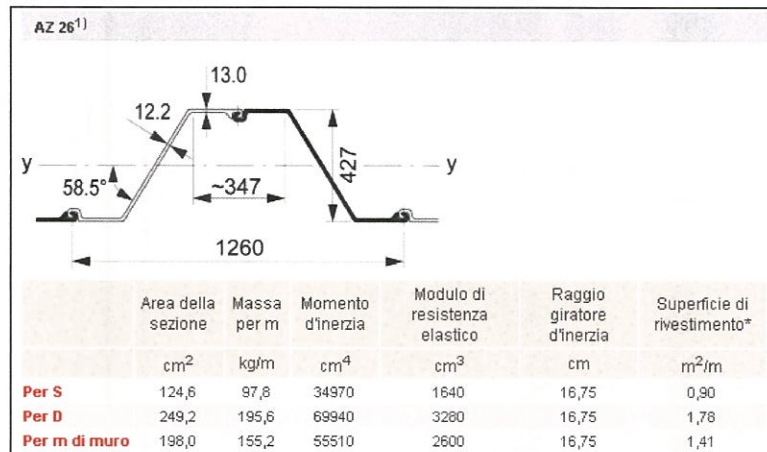


Figura 5-1. Dettaglio profilo AZ-26

Tabella 5-1. Sintesi risultati casi analizzati

Caso (modello Paratie Plus)	STRATIGRAFIA	FALDA (m.s.lm)	H scavo (m)	H rilevato (m)	PROFILO	carico q (Kpa)	H palancola (m)	spostamento max (mm)	rapporto sfruttamento Spinta passiva (A2 M2 R1)	momento max palancola (kNm/m) (A2 M2 R1)	rapporto sfruttamento palancola (A2 M2 R1)
Pila 2 - palancola a mensola	GS	+96.0	3	5.5	AZ26	130	10	56.8	0.43	220.06	0.323
H scavo = altezza dello scavo (m) H rilevato = altezza massima a monte dello scavo (m) q = sovraccarico (kPa) a monte agente sulla palancolata H palancola = lunghezza complessiva della palancolata (m)											
PALANCOLA: materiale Tipo S270GP											

Si osserva quanto segue:

- Il rapporto di sfruttamento, in termini di resistenza richiesta, è  $\ll 1$ . Tuttavia non si ritiene opportuno ridurre la sezione della palancola per due motivi: a) per non eccedere nella deformabilità e b) per agevolare le operazioni di infissione nel tratto di terreno superficiale che potrebbe rivelarsi significativamente addensato: la palancola tipo AZ26 possiede, infatti, una

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL IV 34A1 001

Rev.  
A

Foglio  
14 di 22

rigidezza adeguata a consentire l'inflessione in terreni ghiaiosi sabbiosi (GS) anche molto addensati.

- L'ottenimento di una configurazione equilibrata per la combinazione A2 M2 R1, testimoniato anche dal un rapporto tra la spinta passiva disponibile e la spinta presente nel terreno della parte infissa  $< 1$ , è la prova del soddisfacimento della verifica nei riguardi dello stato limite ultimo GEO.

## 6. STUDIO DI DETTAGLIO

### 6.1. GENERALITÀ

Una parete a mensola viene prevista per la pila 2 (pk 0+304.50m) del cavalcavia ferrovia IV34.

In questo capitolo si presenta il calcolo di dettaglio della tipologia in esame, (i cui risultati salienti sono per altro già sintetizzati nelle tabelle precedenti).

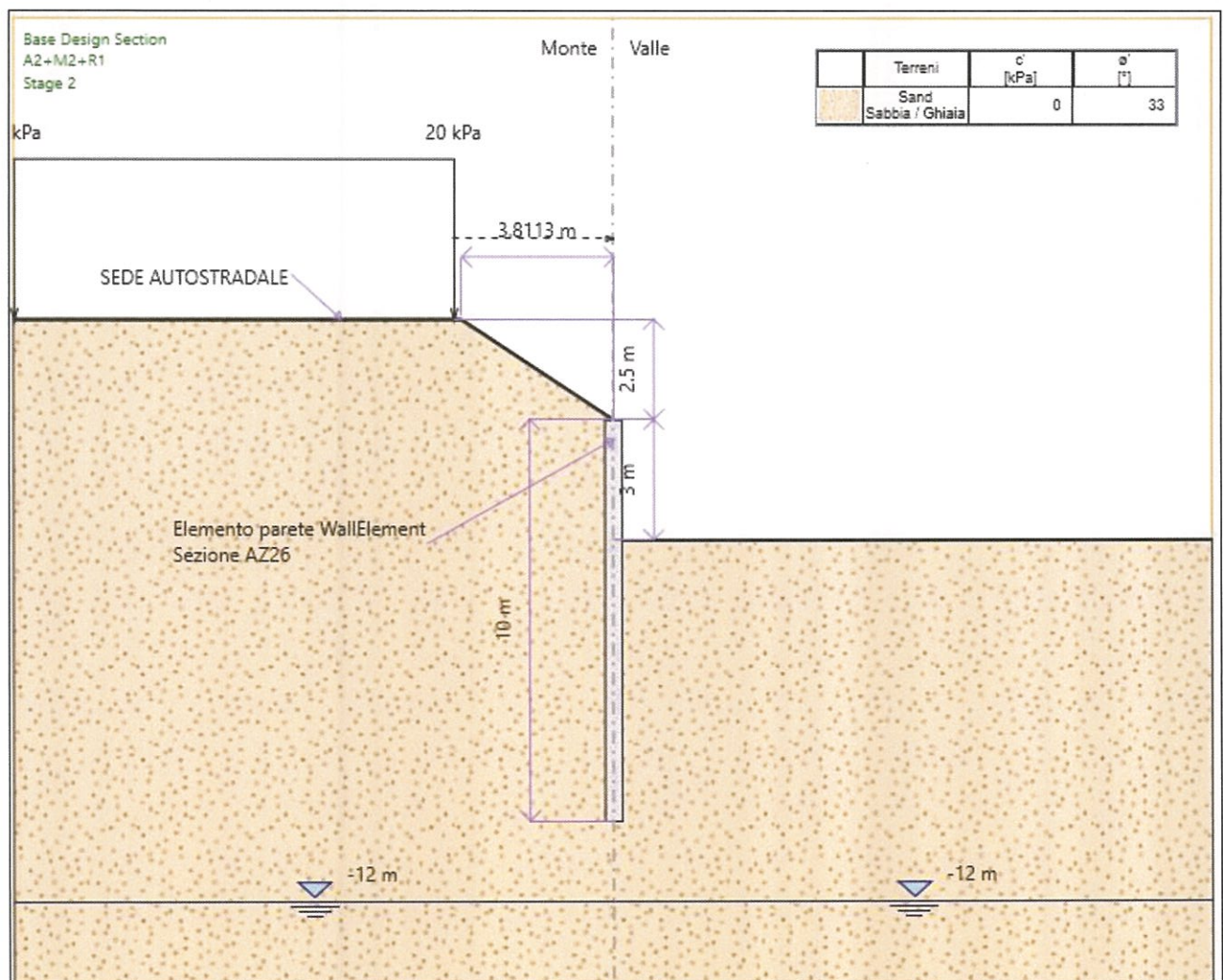


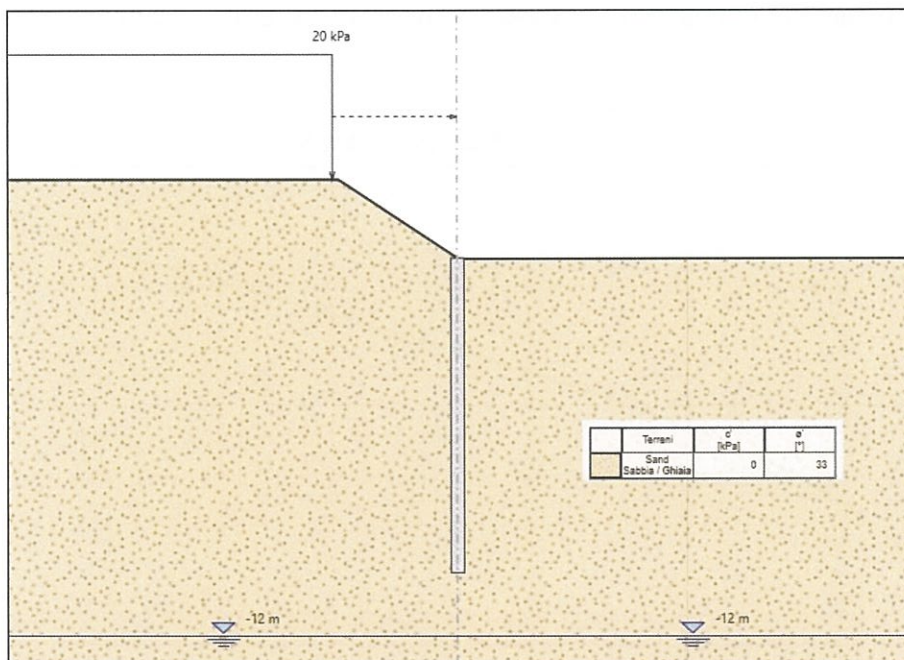
Figura 6-1. Schema palancoato a mensola – pila 2

## 6.2. DESCRIZIONE DEL CALCOLO

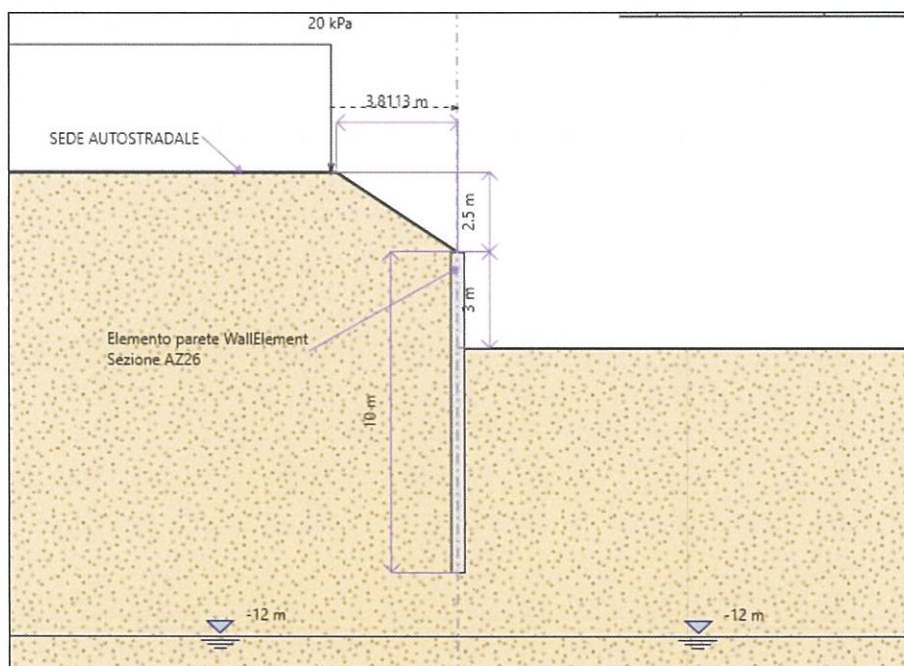
Vengono di seguito riportate le fasi di calcolo considerate per il caso in esame:

### Pila 2 – palancola a mensola:

Fase 1: infissione palancolato



Fase 2: raggiungimento scavo piano di fondazione





### 6.3. RISULTATI

#### 6.3.1. Verifiche SLE

Il calcolo SLE, eseguito mettendo in conto le rigidezze e le resistenze caratteristiche, ha lo scopo essenziale di valutare la deformabilità delle pareti. I cedimenti sono limitati.

Nel particolare, in condizioni SLE, lo spostamento laterale della paratia si approssima ai 19 mm, mentre il cedimento del terreno a piano strada si stima sui 14 mm. Di seguito i risultati su grafico e figura.

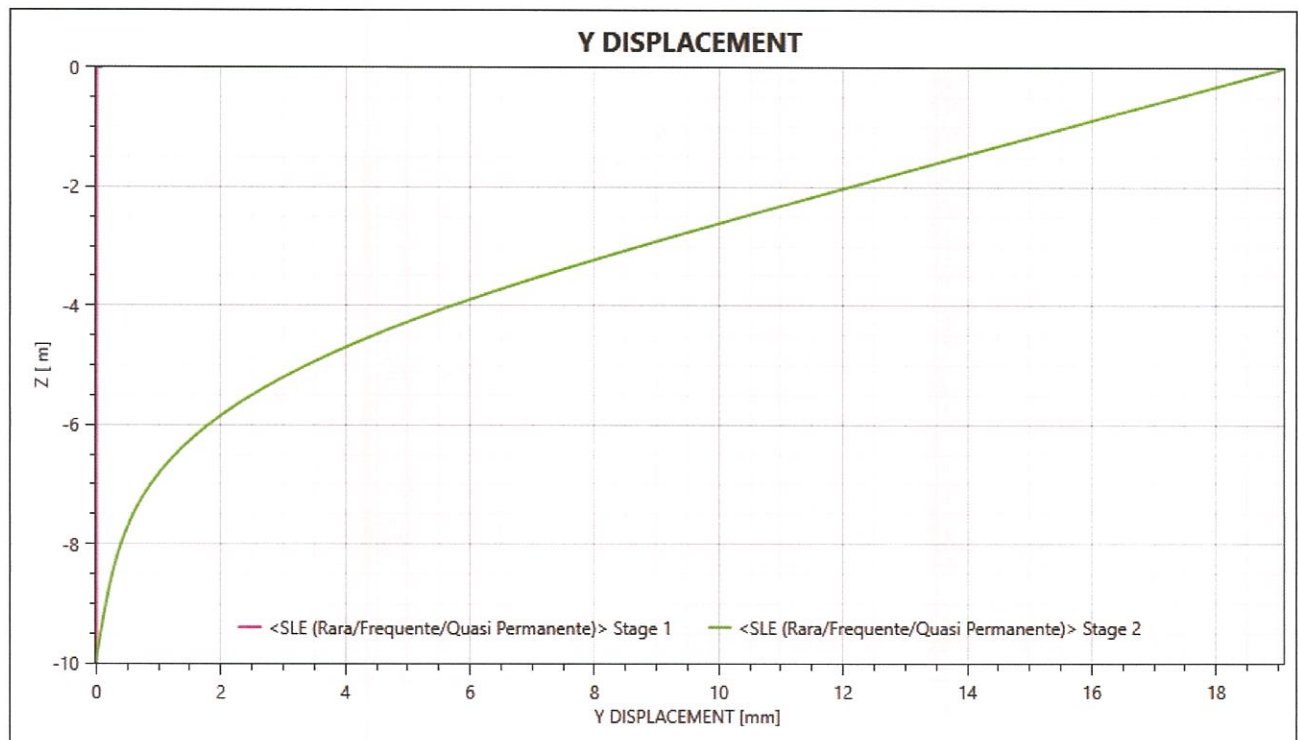


Figura 6-2. Spostamenti laterali paratia – pila 2 (SLE)

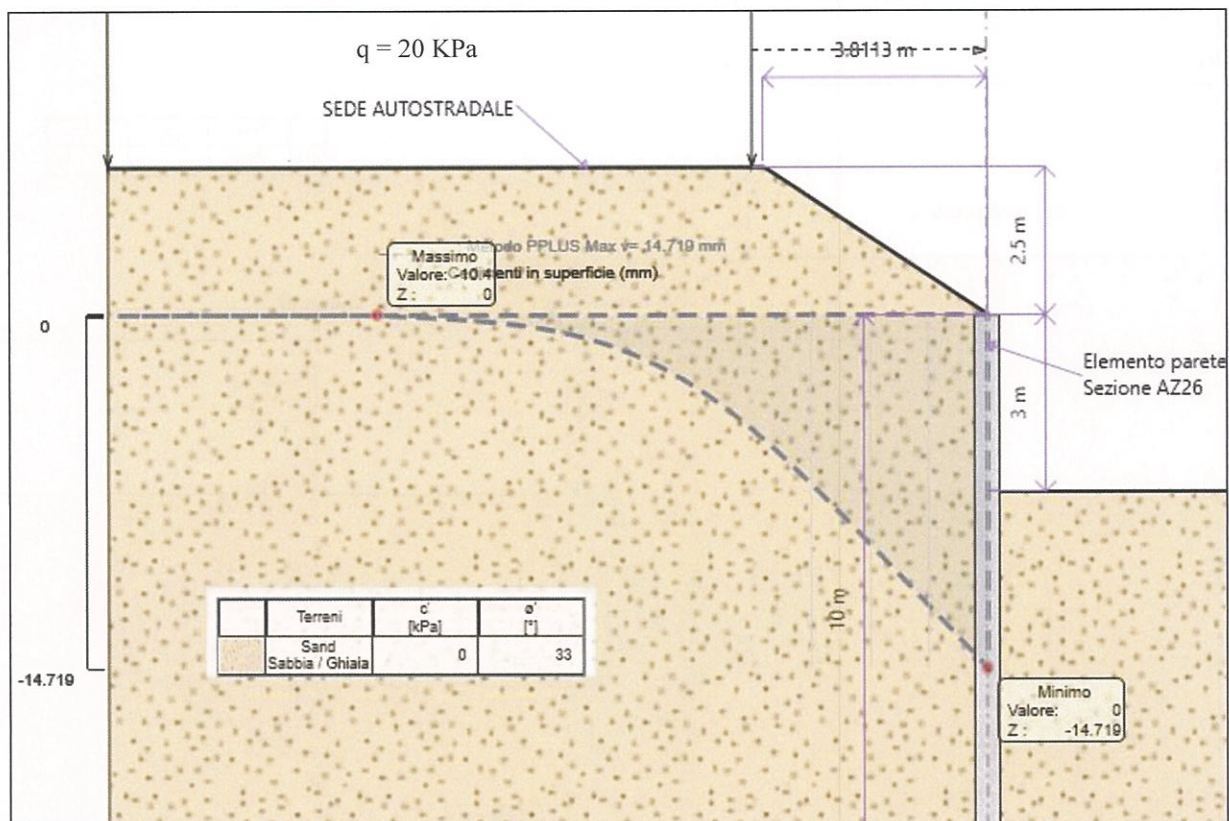


Figura 6-3. cedimenti piano strada (stima) pila 2 (SLE)

### 6.3.2. Verifiche elementi strutturali

#### PALANCOLE

Nella figura seguente (Figura 6-4) si riportano i diagrammi involuppo del momento SLU, sovrapposto al momento resistente disponibile che risulta sempre molto maggiore del momento sollecitante. La verifica della palanca è quindi soddisfatta, come si può notare anche dal diagramma del coefficiente di sfruttamento ( $E_d/R_d$ ) il cui valore massimo è:

- Pila 2 = 0,323

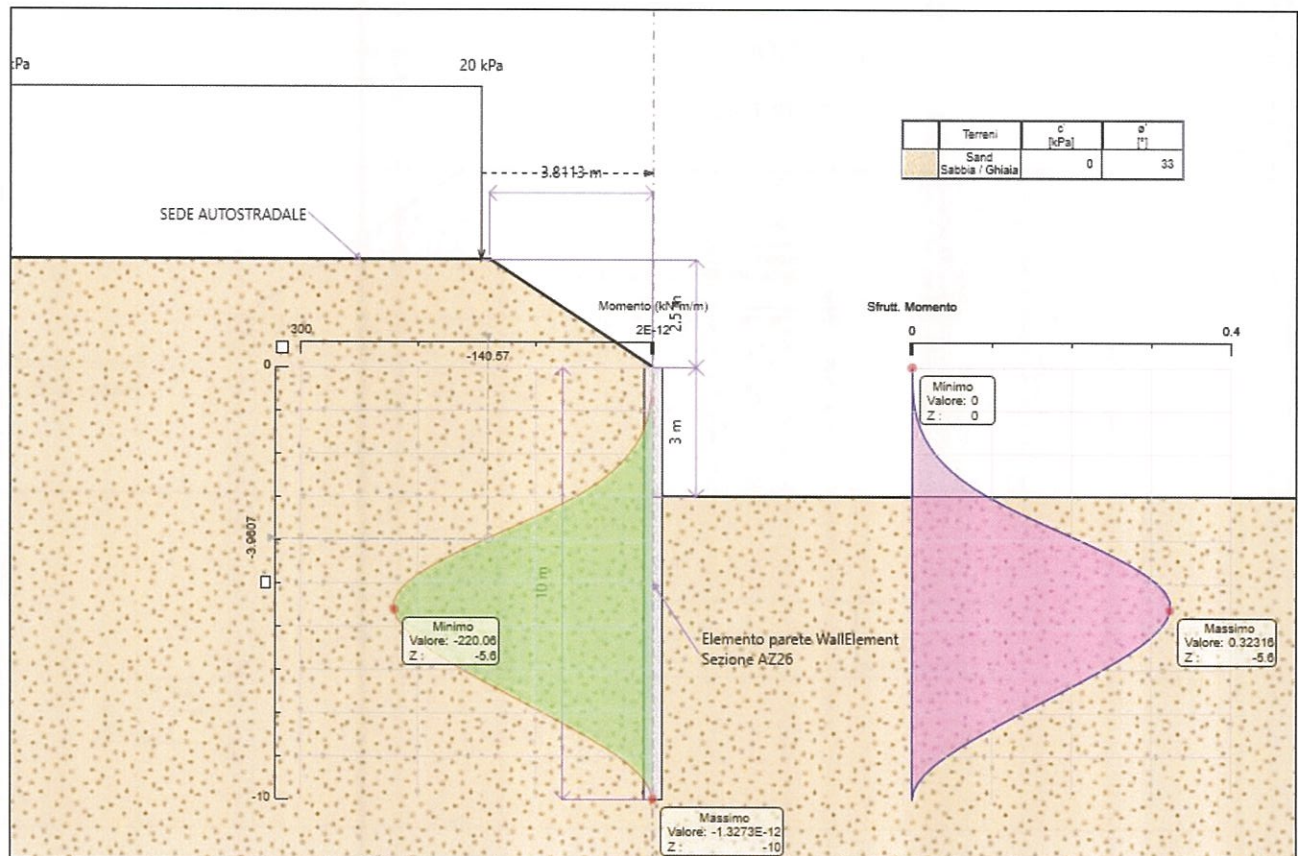


Figura 6-4. Involuppo momento e coefficiente di sfruttamento SLU (A2 M2 R1) – pila 2

### 6.3.3. Verifiche di stabilità GEO

Per quanto riguarda la verifica di stabilità GEO, relativa a stati limite associati a meccanismi di collasso per rottura nel terreno, tale condizione è automaticamente soddisfatta dal raggiungimento di una configurazione equilibrata e compatibile con le resistenze disponibili, per la combinazione A2 M2 R1. Si osserva che al termine dello scavo è stato mobilitato viene mobilitato circa il 43% della spinta passiva disponibile.

Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL IV 34A1 001

Rev.  
A

Foglio  
20 di 22

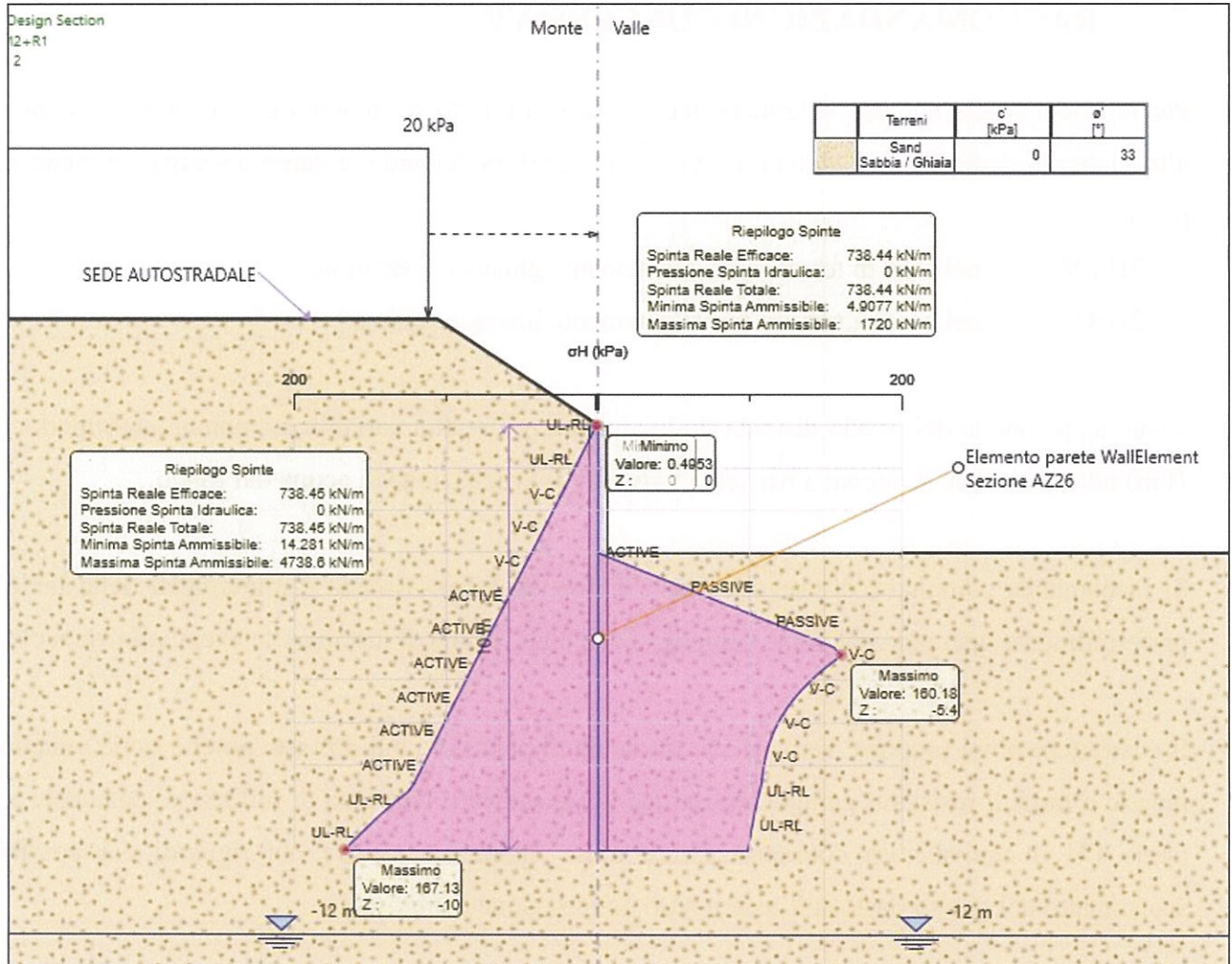


Figura 6-5. Diagramma delle spinte per lo SLU (A2 M2 R1) – pila 2



## 7. RACCOMANDAZIONI CONCLUSIVE

- Per le pile e spalle non esplicitamente menzionate in questo documento oppure non contenute in altri elaborati dedicati, gli eventuali scavi saranno fatti modellando le pareti a scarpa con pendenze pari a:
  - 3H:2V nel caso di terreno prevalentemente ghiaioso e sabbioso
  - 2H:1V nel caso di terreno prevalentemente limoso/argilloso
- Vista la profondità del livello di falda (individuata a profondità variabili ma comunque superiori ai 10m) non si prevede il ricorso a particolari sistemi di evacuazione di acqua dal fondo.
- Si raccomanda comunque di eseguire i pali di fondazioni in assenza di movimenti della falda e, preferibilmente operando dal piano campagna originale, prima di installare le eventuali palancole.
- Il costruttore potrà proporre varianti alla tipologia di palancole qui previste purché siano assicurati inerzie e moduli resistenti paragonabili a quelli qui indicati. Nel caso di utilizzo di palancole a U (serie PU o equivalente) dovranno essere prese opportune misure nei riguardi del possibile scorrimento del giunto posto sull'asse neutro della sezione composta.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
INOR

Lotto  
11

Codifica Documento  
E E2 CL IV 34A1 001

Rev.  
A

Foglio  
22 di 22

## 8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

British Steel (1997) "Piling Handbook" 7<sup>th</sup> ed.

Lancellotta R., (2007) "Lower-bound approach for seismic passive earth resistance",  
*Géotechnique*, Vol. 57, No. 3, pp. 319-321